



FABRICIO RIOS MENDES AGUIAR

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO
FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

LAVRAS – MG

2022

FABRICIO RIOS MENDES AGUIAR

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO
DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

LAVRAS-MG
2022

FABRICIO RIOS MENDES AGUIAR

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO
DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
SPACIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF WATER SUPPLY NETWORKS
HYDRAULIC OPERATION**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel

APROVADA em 08 de setembro de 2022

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi – UFLA

Mádilo Lages Vieira Passos – UFLA

Mateus Alexandre da Silva – UFLA

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador

LAVRAS – MG

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente meus pais Silvio Aguiar e Maria Beatriz Rios Mendes Aguiar, pelo apoio incondicional e incentivo sempre prestado na realização dos meus sonhos, superando quaisquer obstáculos que vierem aparecer;

Ao Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldí pelo conhecimento oferecido, empenho em me ajudar e ensinar durante anos, guiando a concretização deste trabalho. Minha admiração pelo seu comprometimento e atenção que tornaram o período de elaboração desse mais proveitoso.

A todos os meus amigos e companheiros que compartilhei esses anos de graduação, serei eternamente grato e os levarei para vida toda.

Ao NEHIDRO (Núcleo de Estudos de Hidráulica e Hidrologia) pela oportunidade de me desenvolver pessoal e academicamente durante os anos finais de graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

“Se tens de lidar com água, consulta primeiro a experiência, e depois a razão.”
Leonardo da Vinci (1452 – 1519)

RESUMO

A rede de abastecimento de água é um dos componentes de maior custo de um sistema de abastecimento de água, e o detalhamento e refinamento de seu dimensionamento é crucial para que não haja adversidades no abastecimento de água futuro. Diante deste problema, torna-se imprescindível o conhecimento do funcionamento hidráulico destas ante à cenários de consumo baseados em sua na variabilidade espacial e temporal. Desta forma, o intuito com este trabalho foi realizar simulações hidráulicas com o auxílio dos softwares EPANET 2.0 e Sistema UFC, com a finalidade de simular o funcionamento hidráulico em diferentes condições. Para tal, submeteu-se uma rede mista fictícia a quatro diferentes variações temporais que interferem no consumo base de água: diário, semanal, verão e inverno; e a diferentes materiais com que a rede pode ser concebida: PVC PBA novo, PVC PBA com 10 anos de uso, PVC + FoFo novo, PVC + FoFo com 10 anos de uso e PVC + FoFo com 10 anos de uso acrescido de crescimento populacional, todos adaptados às condições brasileiras. Por fim, efetuou-se análises estatísticas para os cenários simulados, analisando a perda de carga unitárias nas tubulações e as pressões nodais. De acordo com as comparações em pares, nota-se que não necessariamente a maior perda de carga resulta em uma menor pressão, e que, analisando o consumo pela variabilidade temporal, tem-se variações semelhantes para cenários concebidos em materiais distintos. Dessa forma, este trabalho detalha a preconização do uso de PVC PBA em redes de abastecimento, diante viabilidade técnica e econômica.

Palavras-chave: Hidráulica de Sistemas Urbanos; Abastecimento de água; EPANET 2.0; Sistema UFC.

ABSTRACT

The water supply network is one of the most expensive components of a water supply system and the detailing and refinement of the dimensioning is essential so that there are no adversities in the future water supply. Faced with this problem, it is essential to know the hydraulic operation of these in the face of consumption scenarios based on their spatial and temporal variability. Thus, the objective of this work was to perform hydraulic simulations with the aid of EPANET 2.0 and Sistema UFC software, in order to simulate hydraulic operation under different conditions. For this, a fictitious mixed network was subjected to four different temporal variations that interfere in the base water consumption: hourly, weekly, summer and winter; and in different materials that the net can be designed: new PVC PBA, PVC PBA with 10 year of use, new PVC + FoFo, PVC + FoFo with 10 year of use and PVC + FoFo with 10 year of use plus population growth, all adapted to Brazilian conditions. Finally, statistical analyzes were performed for the simulated scenarios, analyzing the unit pressure drop in the pipes and the nodal pressures. According to the pairwise comparisons, it is noted that the greater pressure loss does not necessarily result in less pressure, and that, analyzing consumption by temporal variability, there are similar variations for scenarios designed in different materials. In this way, this work details the recommendation of the use of PVC PBA in supply networks, given the technical and economic viability.

Palavras-chave: Hydraulics of Urban Systems; Water supply; EPANET 2.0; Sistema UFC.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
1.1.	Objetivos	9
1.1.1.	Objetivo Geral.....	9
1.1.2.	Objetivo específico	9
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1.	Concepção dos sistemas de abastecimento	10
2.2.	Consumo de água	12
2.3.	Reservatórios e redes de distribuição	16
2.4.	Hidráulica aplicada aos sistemas de abastecimento de água.....	20
2.5.	O modelo EPANET e Sistema UFC	26
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1.	Área de estudo e concepção da rede de abastecimento de água.....	28
3.2.	Critérios de Projeto.....	30
3.3.	Cenários avaliados.....	30
3.3.1.	Variação Diária do Consumo.....	32
3.3.2.	Variação Semanal do Consumo	32
3.3.3.	Variação Sazonal do Consumo	33
3.4.	Utilização dos softwares.....	34
3.5.	Análise Estatística	36
4.	Resultados e Discussões	36
4.1.	Cenário de variação diária de consumo.....	41
4.2.	Cenário de variação sazonal de consumo.....	43
4.3.	Cenário de variação semanal de consumo.....	44
5.	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Como estruturas da engenharia necessárias para distribuir água para consumo humano, os sistemas de abastecimento de água são compostos, habitualmente, pelas unidades de captação, tratamento, estações elevatórias, adutoras, reservatórios e redes de distribuição. As redes costumam ser a parte mais onerosa do projeto, dessa forma, é importante se ter uma atenção maior a este tópico, visto que sua manutenção e operação rotineira é bastante limitada. Para isso, é necessário entender a demanda da população relacionando com a variação temporal, submetendo a rede em cenários críticos para que não haja adversidades futuras como o aumento da rugosidade interna das tubulações.

Diante cenário, o consumo base de água pode variar em função do tempo, das condições climáticas e do crescimento populacional. Assim, diferentes padrões de consumo moldam temporalmente o funcionamento hidráulico de uma rede de abastecimento.

Posto isto, é fundamental entender a influência do planejamento de uma rede de abastecimento e sua relação com a variabilidade temporal e variáveis que determinam seu comportamento hidráulico. Durante a etapa de concepção e dimensionamento, é interessante a modelagem e simulação de cenários relativos às características do composto de tubulações com intuito de atingir um ponto ótimo de equilíbrio entre um projeto que é viável técnica e economicamente, atendendo às condições futuras.

Para essa finalidade, alguns recursos tecnológicos são fundamentais para averiguar o desempenho hidráulico destes sistemas. O primeiro é o software gratuito EPANET 2.0 (U.S Environmental Protection Agency, 2000), cuja função é realizar simulações hidráulicas em redes, incluindo a inserção de padrões de consumo de água, possibilitando conhecer como se comporta o abastecimento de água submetido a determinadas demandas. Já o Sistema UFC (LACH, 2017), gratuito para fins acadêmicos, é um conjunto de softwares formulados em várias linguagens de programação, que realiza todas as funções referentes ao traçado e otimização do dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água.

Com isso, teve-se como objetivo com este trabalho, estudar a variabilidade espacial e temporal do comportamento hidráulico de uma rede de abastecimento de água potável fictícia do tipo mista, valendo-se de softwares auxiliares e testes estatísticos para a análise comparativa entre perda de carga e pressões da rede em diferentes cenários.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Estudar a variabilidade espacial e temporal do comportamento hidráulico de uma rede de abastecimento de água potável fictícia do tipo mista, valendo-se de softwares auxiliares e testes estatísticos para a análise comparativa entre perda de carga e pressões da rede em diferentes cenários.

1.1.2. Objetivo específico

- Modelar e simular os cenários de funcionamento hidráulico da rede de abastecimento estudada, de acordo a variabilidade temporal estabelecida por cenários de crescimento populacional e envelhecimento das tubulações em PVC PBA e/ou FoFo que compõe a rede, sendo as avaliações realizadas nas horas do dia e dias da semana e levando em conta a sazonalidade (estações de Verão e Inverno);
- Comparar o efeito das fontes de variação estabelecidas em cada cenário sobre a variabilidade temporal das perdas de carga e pressões na rede de abastecimento, por meio do uso de testes estatísticos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Concepção dos sistemas de abastecimento

Os recursos hídricos, vitais para a sociedade, só se tornam efetivamente úteis ao homem à medida que estes forem adequadamente controlados, contidos ou transportados, de acordo com uma ou mais finalidades específicas. Desta forma, o aproveitamento deste recurso natural implica, forçosamente, na implantação de obras hidráulicas, que podem ser dos mais diversos tipos, possuindo também, evidentemente, objetivos bastante diversificados (BAPTISTA; LARA, 2010).

Uma rede de distribuição de água é um sistema de tubulações que fornece água, com qualidade e em quantidade adequadas, para os consumidores. O layout e execução das redes devem ser cuidadosamente planejados para garantir uma água higienicamente segura. Desta forma, a quantidade de água e sua qualidade não devem ser comprometidas pelo sistema de infraestrutura (HAMILTON; CHARALAMBOUS; WYETH, 2021).

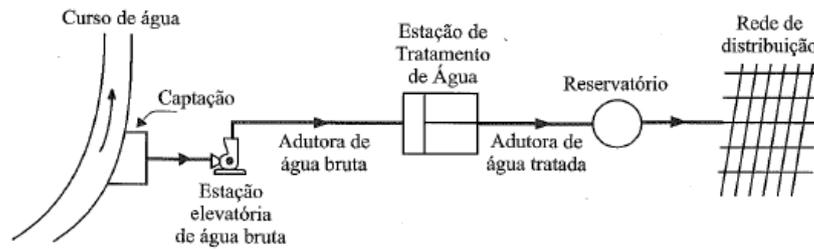
O conceito de abastecimento de água, enquanto serviço necessário à vida das pessoas e das comunidades, insere-se no conceito mais amplo de saneamento, entendido, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), como controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu bem-estar físico, mental ou social. Logo, saneamento compreende um conjunto de ações sobre o meio ambiente no qual vivem as populações, visando a garantir a elas condições de salubridade que projetam a sua saúde, ou seja, seu bem-estar físico, mental ou social (HELLER, 2006).

De acordo com a NBR 12211 (ABNT, 1992), “Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento”, para a concepção de sistemas públicos de abastecimento de água são necessários estudos de arranjos sob os pontos de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado, para a escolha da concepção básica. Esta por sua vez, deve ser escolhida em função dos estudos sociais, econômicos, técnicos, financeiros e ambientais.

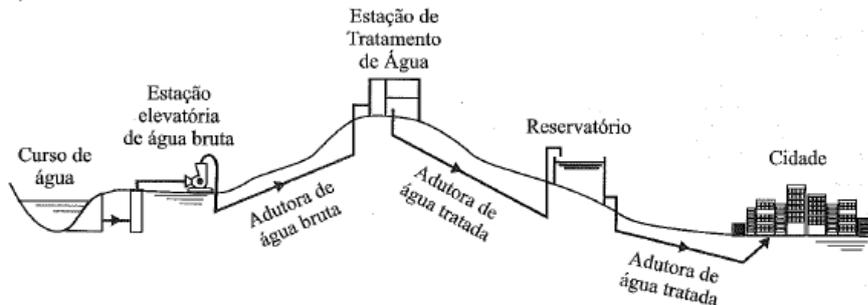
Os sistemas de abastecimento de água são formados, de uma maneira geral, pelas seguintes partes ou unidades: mananciais, estruturas de captação de água com suas estações elevatórias de bombeamento, adutoras, estações de tratamento de água (ETAs), reservatórios, redes de tubulações de distribuições prediais (GOMES, 2021), como no exemplo que pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Sistema de abastecimento de água com captação em curso de água.

a) Planta



b) Perfil

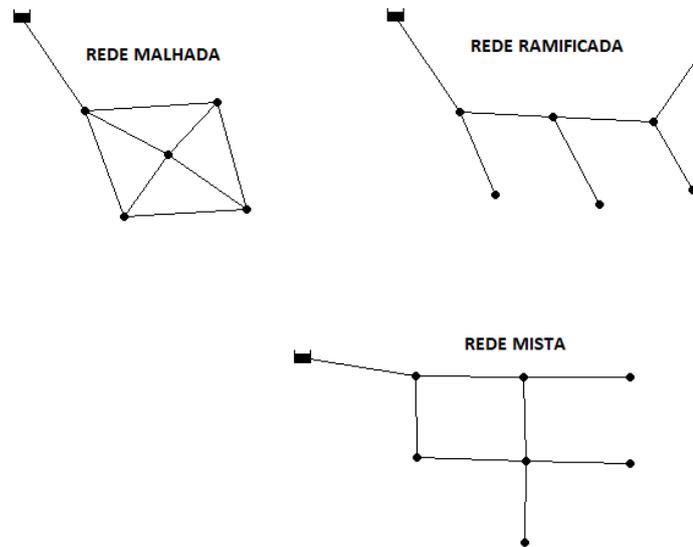


Fonte: (TSUTIYA, 2006)

Já o traçado e dimensionamento da rede de distribuição, depende do porte da cidade a ser abastecida, bem como as características viárias e topográficas. De modo geral, qualquer que seja o desenho da rede, esta é constituída por condutos que são classificados como: condutos principais ou condutos troncos e condutos secundários. Os condutos principais são aqueles de maior diâmetro que têm por finalidade abastecer os condutos secundários, enquanto estes, de menor diâmetro, têm a função de abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema (VILLAR, 2016).

Neste sentido, as redes são classificadas em: ramificada, malhada e mista (Figura 2). A rede é ramificada quando abastecimento se faz a partir de uma tubulação tronco, alimentada por um reservatório ou através de uma estação elevatória, e a distribuição da água é feita diretamente para os condutos secundários, sendo conhecido o sentido da vazão em qualquer trecho. Já as redes malhadas são constituídas por tubulações principais que formam anéis ou blocos de modo que, pode-se abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho, permitindo uma maior flexibilidade em satisfazer a demanda e manutenção da rede, com o mínimo de interrupção no fornecimento de água. Por fim, as redes mistas consistem na associação de redes ramificadas com as redes malhadas (TSUTIYA, 2006).

Figura 2 – Traçados de redes de distribuição.



Fonte (O Autor, 2021).

2.2. Consumo de água

Uma instalação para abastecimento de água deve estar preparada para suprir um conjunto amplo e diferenciado de demandas e, diferentemente do que alguns julgam, não apenas as eferentes ao uso domiciliar, embora essas devam ter caráter prioritário. Este conceito é muito importante na concepção e no projeto dessas instalações, pois a correta identificação da demanda é determinante para o dimensionamento racional de cada uma de suas estruturas de tratamento, reservação e distribuição de água. Assim, devem ser estimadas todas as demandas a serem satisfeitas pelas instalações, considerando o período futuro de alcance do sistema e não apenas a realidade presente, e observadas as vazões corretas em cada uma de suas unidades (HELLER, 2010).

A quantidade de água utilizada em residências afeta diretamente a qualidade de vida dos moradores. O valor previsto do consumo de água agregado familiar pode ser usado com um índice de referência para a tomada de decisão sobre o abastecimento de água, e como base para expressar o planejamento de abastecimento de água, drenagem e o planejamento econômico nacional (Wang et al. 2021b).

As parcelas utilizadas de água podem ser classificadas em retirada, consumo e retorno. A retirada refere-se à água total captada para um uso, como para abastecimento urbano, por exemplo. O retorno refere-se à parte da água retirada para um determinado uso que retorna aos

corpos hídricos, como, por exemplo, esgotos decorrentes do uso da água para abastecimento urbano. O consumo refere-se à água retirada que não retorna diretamente aos corpos hídricos, isto é, a diferença entre a retirada e o retorno (ANA, 2020).

O per capita domiciliar é o consumo referente aos usos domésticos, medidos pelo hidrômetro residencial. Esse consumo engloba todos os usos citados no quadro abaixo, além dos usos para a rega de jardins, para lavagens de pátios, garagens, entre outros. Em termos gerais, o consumo per capita médio domiciliar varia entre 100 e 200 L/hab/dia (Quadro 1), sendo maior quanto mais elevado for o padrão de vida da população abastecida (GOMES, 2021).

Quadro 1 – Estimativa média dos consumos domésticos no Brasil.

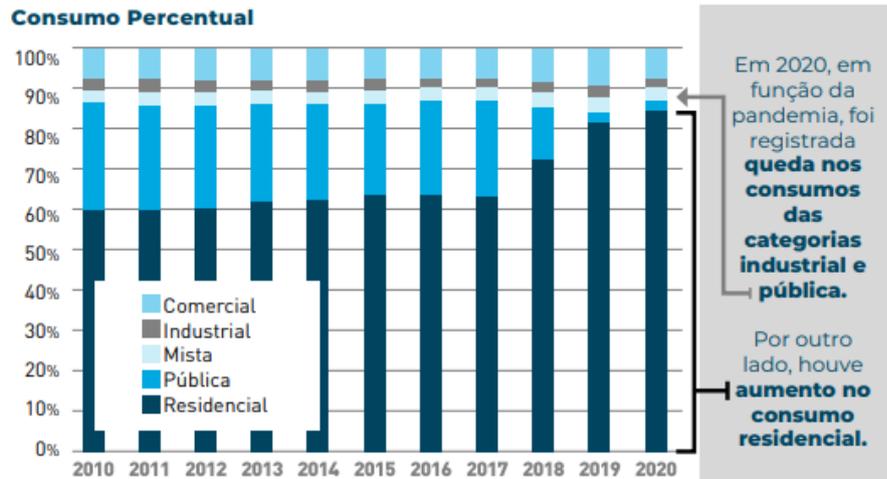
Tipo de uso doméstico	L/hab.dia
Bebida e cozinha	10 – 20
Lavagem de roupa	10 – 20
Banhos e lavagens de mãos	25 – 55
Instalações sanitárias	15 – 25
Outros usos	15 – 30
Perdas e desperdícios no domicílio	25 – 50
Total	100 – 200

Fonte: GOMES (2021)

Alguns fatores podem intervir no consumo per capita: o nível socioeconômico da população, quanto maior o padrão de vida, maior o consumo de água (uso de máquinas de lavar, rega de jardins, piscinas); o clima, em que regiões mais quentes e secas possuem um consumo de água elevado (sempre levando em consideração a disponibilidade hídrica na região); Porte e as características topográficas da região, relacionada à população e as atividades industriais que exigem um consumo de água, além do relevo, que podem exigir maiores pressões na rede, ocasionando uma maior perda de água (GOMES, 2021).

Em 2020, apesar de campanhas de mídia pelo consumo racional, a permanência das pessoas em suas casas na maior parte do tempo em razão do isolamento social causado pela pandemia provocou o aumento per capita do consumo de água dos habitantes da metrópole. Por outro lado, também em razão da pandemia, foram registradas quedas no consumo das categorias industrial e comercial, como ilustrados na Figura 3 (SABESP, 2020).

Figura 3 – Consumo percentual de água no Brasil.



Fonte: SABESP (2020)

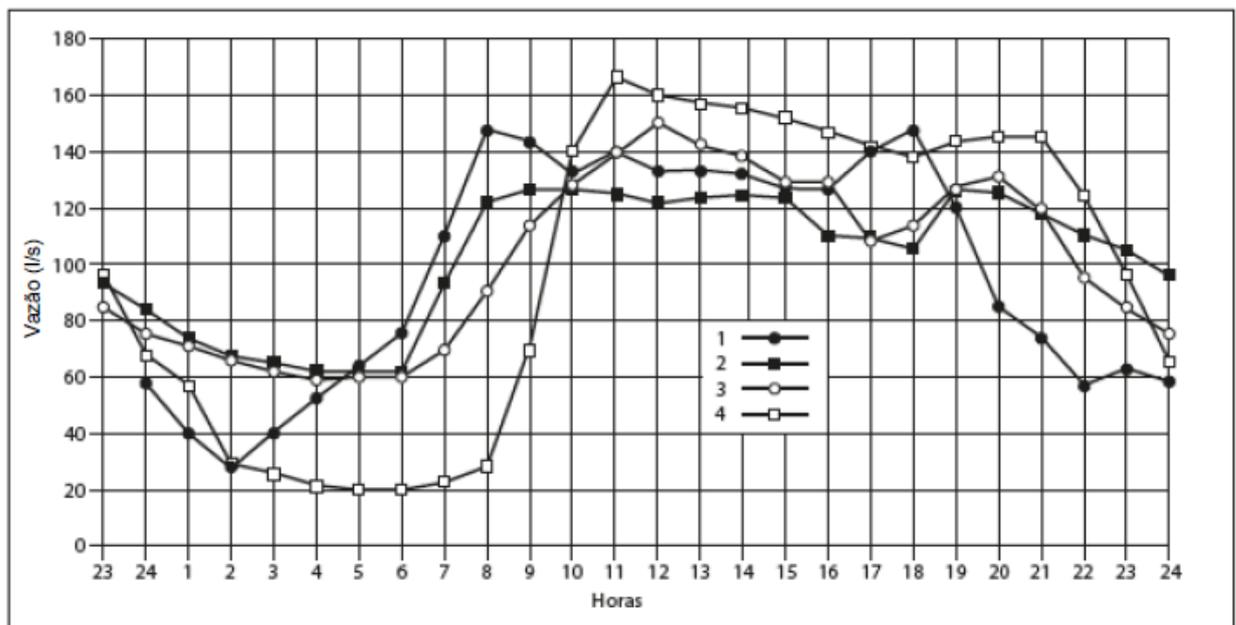
De acordo com Azevedo Netto e Fernández (2015), no Brasil, um consumo per capita médio normalmente adotado nos planos diretores e projetos tem sido de 200 L/hab.dia. O “consumo efetivo” ou “demanda” (sem perdas) verificado em várias cidades é em média 25% menor que esse valor (150 L/hab.dia). Em alguns estados têm sido adotado o valor mínimo de 135 L/hab.dia para a demanda.

O consumo médio per capita de água no Brasil é de 152,1 L/hab.dia. Este índice apresentado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) - Água e Esgoto 2020 representa uma redução de 1,2% em relação aos 153,9 L/hab.dia de 2019 (SNIS, 2021).

O consumo interno informado por vários países não é necessariamente comparável, principalmente porque não há garantia de que os números citados sejam produzidos na mesma base. Nos EUA, o consumo interno típico (excluindo refrigeração) é de 180 a 230 litros per capita por dia, mas pode-se esperar uma redução gradual com o aumento da instalação de vasos sanitários de baixa descarga e taxas reduzidas de consumo por outros acessórios (RATNAYAKA, 2009).

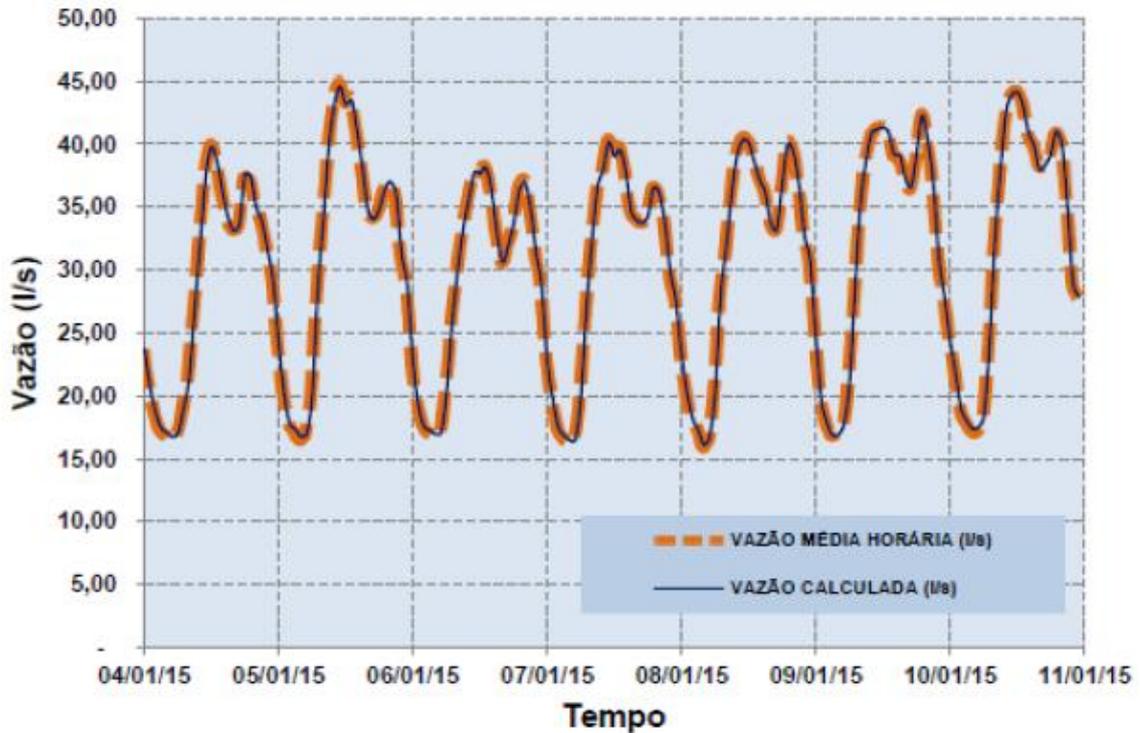
Diante desse contexto, são apresentadas a variação horária do consumo de água ao longo do dia em quatro cidades brasileiras (Figura 4) e a variação semanal do consumo na cidade de Franca – SP (Figura 5).

Figura 4 – Histograma do consumo horário de água, mostrando a variação ao longo do dia em quatro regiões brasileiras.



Série 1: Campinas, SP, out. 1945; Série 2: Setor de São Paulo, SP, 19 dez. 1952; Série 3: Vila Velha, ES, 11 out. 2005; Série 4: Serra, ES, 20 out. 2005. Fonte: Azevedo Netto e Fernández (2015).

Figura 5 – Variação do consumo semanal de água no município de Franca – SP.



Fonte: Guidi (2016).

2.3. Reservatórios e redes de distribuição

Em consonância com a norma ABNT NBR 12217:1994, que dispõe sobre projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público, o reservatório é o elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição (ABNT, 1994).

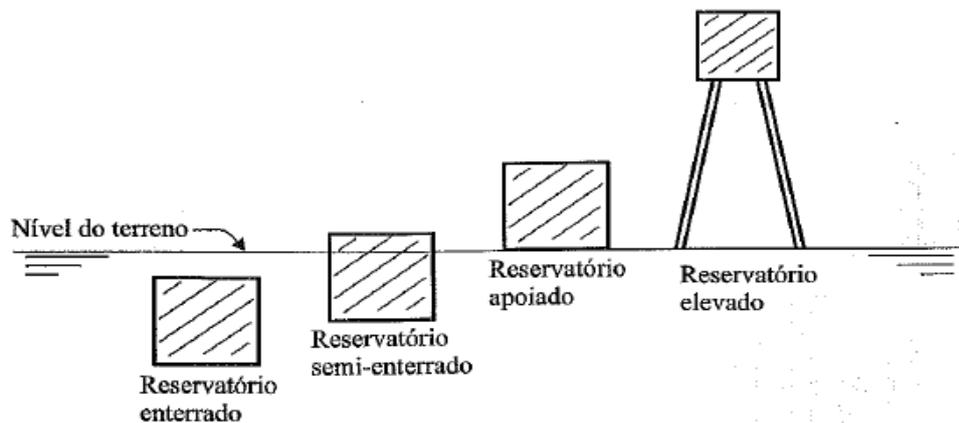
Os reservatórios de distribuição de água constituem em elementos importantes em sistemas de abastecimento de água, pois além de atenderem às diversas finalidades, são elementos visíveis e de maior destaque no sistema de distribuição de água (TSUTIYA, 2006).

As funções dos reservatórios de distribuição são: regularizar as diferenças entre o abastecimento e o consumo máximo diário (reserva de equilíbrio), promover condições de abastecimento contínuo durante períodos curtos de paralisação do abastecimento (reserva de emergência), armazenar água para combater incêndio e condicionar as pressões disponíveis nas redes de distribuição (GOMES, 2021).

Reservatórios também se destinam para realização da compensação entre a vazão de produção – oriunda da captação-adução-tratamento que, geralmente é fixa e tem poucas variações – e as vazões de consumo, variáveis ao longo das horas do dia e ao longo dos dias do

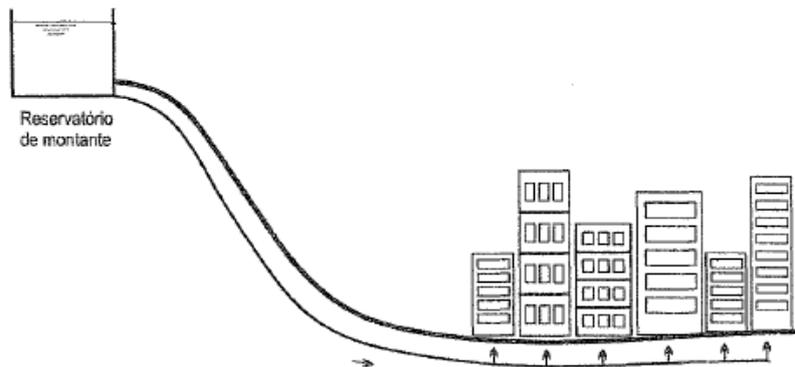
ano. Podem assumir diferentes formas, em função de sua posição do terreno (apoiado, elevado, semienterrado, enterrado) e de sua posição em relação à rede de distribuição (de montante ou de jusante) (HELLER, 2010). Os posicionamentos dos reservatórios em referência ao solo e à rede de distribuição podem ser vistos nas Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 – Posições dos reservatórios em relação ao terreno.



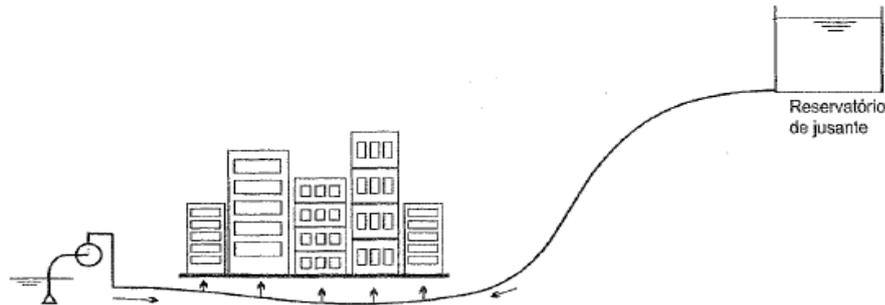
Fonte: Tsutiya (2006).

Figura 7 – Desenho esquemático de um reservatório de montante.



Fonte: Heller (2010, p. 588), adaptado pelo autor.

Figura 8 – Desenho esquemático de um reservatório de jusante.



Fonte: Adaptado de Heller (2010).

A escolha do material de estrutura do reservatório, deve ser feito após estudo técnico e econômico que leve em consideração as condições da fundação, a disponibilidade do material da região e a agressividade da água a armazenar e a do ar atmosférico. Dessa forma, podem ser construídos de diversos materiais, tais como: concreto armado, aço, poliéster armado com fibras de vidro, outros materiais, como madeira, borracha, alvenaria, entre outros (HELLER, 2010).

De acordo com Gomes (2021), as redes de distribuição são formadas pelo conjunto de tubulações, conexões e peças especiais, destinadas a conduzir água em quantidade, qualidade e pressão suficientes, para o abastecimento dos diversos pontos de consumo, que podem ser para o uso doméstico, industrial e público. As interligações entre as tubulações da rede de distribuição ao interior dos estabelecimentos ou economias consumidoras de água (casas, edifícios, prédios comerciais, fábricas, hospitais, entre outros) são realizadas mediante as ligações prediais.

A rede de distribuição é, em geral, o componente de maior custo do sistema de abastecimento de água, compreendendo, cerca de 50% a 75% do custo total de todas as obras no abastecimento (TSUTIYA, 2006).

Pela norma ABNT, NBR 12218/2017 são estipulados os limites máximos pressão estática e de velocidade respectivamente de 500 kPa (50 mca) e 3,5 m/s, já os limites mínimos se baseiam em 100 kPa e 0,60 m/s. Quanto aos diâmetros das tubulações, o valor mínimo é de 50 mm. Para tubulações superiores a 300 mm, devem ser previstos condutos secundários de distribuição (ABNT, 2017).

Partindo da determinação dos quantitativos envolvidos para a implantação de rede de distribuição de água dupla (assentadas nos dois passeios existentes da via pública), aplicou-se

os custos estabelecidos pelo SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices, de 2015, apresentados na Tabela 2, deste modo estimou-se os custos de serviços e materiais, respectivamente, em função do diâmetro nominal da rede (SARDINHA; SILVA JUNIOR, 2020).

Tabela 1 – Estimativa dos custos envolvidos na implantação das redes de distribuição de água nos dois passeios em função do Diâmetro Nominal (DN) da rede.

Tipo de custo	Custos	DN 50	DN 75	DN 100
Material	Tubulação PVC (m)	R\$ 111,24	R\$ 209,16	R\$ 375,72
	Anéis de borracha (un.)	R\$ 2,72	R\$ 8,96	R\$ 7,00
	Pasta Lubrificante (g)	R\$ 0,64	R\$ 1,04	R\$ 1,26
	Sub-total (R\$ por 6m)	R\$ 114,60	R\$ 219,16	R\$ 383,98
	Relação entre o custo do material e o custo total (%)	32,90%	47%	59,50%
Serviços	Locação da rede de distribuição de água (m)	R\$ 8,52	R\$ 8,52	R\$ 8,52
	Volume escavado (m ³)	R\$ 29,04	R\$ 30,10	R\$ 30,96
	Regularização e compactação do fundo da vala (m ²)	R\$ 38,30	R\$ 38,30	R\$ 38,30
	Assentamento da tubulação	R\$ 20,64	R\$ 27,60	R\$ 34,44
	Volume de aterro com apiloamento manual - VACM (m ³)	R\$ 108,34	R\$ 114,42	R\$ 120,50
	Volume de aterro com apiloamento mecânica - VACM (m ³)	R\$ 28,22	R\$ 28,22	R\$ 28,22
	Sub-total (R\$ por 6m)	R\$ 233,04	R\$ 247,16	R\$ 260,94
	Relação entre o custo do material e o custo total (%)	67,10%	53%	40,50%
Custo Total	Por 6m (R\$)	R\$ 347,64	R\$ 466,32	R\$ 644,92
	Linear (R\$/m)	R\$ 57,94	R\$ 77,72	R\$ 107,49

Fonte: Sardinha e Silva Júnior (2020).

Os valores nas atas de registro de preço vigente na Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) para o PVC DN 300 mm é R\$ 239,67/m de tubo enquanto para o tubo de Ferro Fundido K7 é de R\$ 264/m de tubo. Na tabela de custos unitários para obras e serviços de

engenharia sem desoneração e com encargos complementares da mesma companhia o valor do assentamento para tubo plástico DN 300 mm é de R\$ 5,07/m de tubo e de R\$ 10,44/m de tubo para o tubo de ferro fundido de mesmo DN. Portanto para colocar um tubo polimérico no fundo da vala o valor total (tubo + assentamento) é de R\$ 1.468,80 e para o tubo metálico é de R\$ 1.646,64, sendo, portanto, cerca de 10% mais barato (Magalhães e Azevedo, 2016).

De acordo com Silva, Thebaldi e Novais (2019), para um loteamento com uma área destinada à habitação de 4,2 ha, o custo de implantação da rede de distribuição ramificada para um consumo per capita de água de 150 L/hab.dia e 350 L/hab.dia foi de R\$ 83.425,73 e R\$ 85.785,39, respectivamente,

2.4. Hidráulica aplicada aos sistemas de abastecimento de água

Cada rede de distribuição de água é composta por uma configuração única de tubulações interligadas, tanques de armazenamento, estações de bombeamento e válvulas, que é submetida a demandas altamente variáveis que não podem ser previstas com grande grau de certeza. Além disso, deve ser operada de forma a não violar quaisquer restrições de padrões de serviço relativas à continuidade do fornecimento de água, manutenção de uma pressão mínima de operação, entre outros, bem como restrições como o galgamento de tanques de armazenamento. Além disso, espera-se que a equipe operacional também minimize o custo de energia incorrido pelo bombeamento, tendo em conta uma tarifa estruturada que pode mudar com a hora do dia, da semana, do mês e do ano (RAO, 2007).

Diz-se que o escoamento de água em uma tubulação é permanente quando suas características físicas (velocidade, pressão, temperatura e massa específica) permanecem invariáveis com o tempo, em qualquer ponto da massa fluida. Caso essas características variem com o tempo, o escoamento é denominado não permanente ou transiente. O escoamento permanente pode ser, por sua vez, uniforme ou variado, conforme a velocidade permaneça constante ou não ao longo das trajetórias das partículas do fluido (GOMES, 2021).

É possível conhecer o regime de fluxo em uma tubulação por meio de um parâmetro adimensional, denominado número de Reynolds (Re), que se obtém mediante a relação da Equação 1.

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \quad (1)$$

em que:

V = velocidade média do fluxo (m/s);

D = diâmetro interno da tubulação (m); e

ν = viscosidade cinemática do líquido (m²/s).

Ao avaliar o tipo de escoamento por meio do número de Reynolds, predetermina-se que para valores menores que 2000, o escoamento é considerado laminar, entre 2000 e 4000, o escoamento é considerado em transição e acima de 4000 o escoamento é caracterizado como turbulento (SILVA et al., 2017).

Pode-se afirmar que a água é praticamente incompressível às pressões que está submetida em tubulações de abastecimento de água, dessa forma, a equação da continuidade estabelece que, para um escoamento permanente a vazão (Q) – volume de água por unidade de tempo – mantém-se constante ao longo de um conduto. Portanto, para qualquer seção do conduto verifica-se na Equação 2 (GOMES, 2021).

$$Q = A \cdot V = \text{cte} \quad (2)$$

onde:

Q = vazão (m³/s);

A = área da seção transversal da tubulação (m²); e

V = velocidade média de escoamento da água (m/s).

Nos nós de derivação também se cumpre a equação da continuidade, verificando-se que a soma de vazões admitidas no nó é igual à soma das que saem ($Q = \sum Q_i$).

A equação de Bernoulli é um caso particular da primeira lei da Termodinâmica. Esta lei estabelece que a mudança de energia interna de um sistema é igual a soma da energia adicionada ao fluido com o trabalho realizado pelo fluido (BAPTISTA; LARA, 2010). Uma forma geral de expressar esta lei para o caso de um escoamento entre duas seções de um fluido incompressível em regime permanente é apresentada pela Equação 3.

$$\left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} \right) = H_m + hf \quad (3)$$

na qual:

Z = energia ou carga de posição;

$\frac{P}{\gamma}$ = energia ou carga de pressão;

$\alpha \frac{V^2}{2g}$ = energia ou carga de velocidade;

H_m = energia aplicada ou retirada por alguma máquina; e

hf = perda de energia mecânica ou perda de carga.

Baptista (2010) e Porto (2006), informa que se adota $\alpha = 2,0$ a não ser em trabalhos que exijam muita precisão ou onde requerem razões fortes para supor variações das velocidades nas seções. Para os objetivos práticos da Hidráulica, a equação de energia aplicada a duas seções de um escoamento permanente onde não existe máquina, é denominada equação de Bernoulli para fluidos reais, normalmente escrita da seguinte forma (Equação 4) para os condutos forçados:

$$\left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) = \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) + hf \quad (4)$$

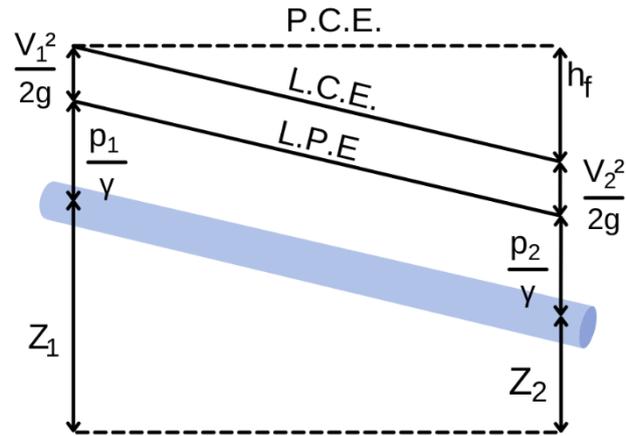
onde as parcelas:

$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma}$ representa a energia potencial, determinando a linha piezométrica efetiva (L.P.E.), representando o nível que o líquido atingiria;

$\frac{V^2}{2g}$ corresponde à energia cinética, que somada à potencial, ter-se-ia a linha de carga efetiva (L.C.E.), simbolizando a energia hidráulica total possuída pelo líquido; e

hf somado à parcela anterior, tem-se o plano de carga efetivo (P.C.E.).

Figura 9: Representação gráfica da equação de Bernoulli.



Fonte: O autor (2022).

Do ponto de vista prático, as leis de distribuição de velocidade, em qualquer tipo de regime, permitem o cálculo da resistência oferecida ao fluido pela superfície sólida que o cerca. Tanto no escoamento forçado quanto no livre, tal resistência se traduz em perda de energia, sendo então parâmetro fundamental nos problemas de transporte de líquidos. O fator de atrito torna-se o elemento básico na análise dos vários tipos de problemas em escoamentos (PORTO, 2006).

As tubulações estão sujeitas ao fenômeno do envelhecimento. Em geral, após algum tempo, as tubulações vão se tornando mais rugosas, por diversos motivos, especialmente os ferrosos (ferro dúctil e aço) sem revestimento permanente, por causa dos efeitos da corrosão ou de incrustações nas paredes internas. Mas todas as tubulações, de quaisquer materiais, enterradas ou não, costumam apresentar variações com o tempo, inclusive desalinhamentos, ovalizações, entre outros (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

A fórmula empírica para perda de carga que possui melhor aceitação prática devido ao seu significado físico e consistência dimensional é a de Darcy-Weisbach, a qual melhor se ajusta aos resultados experimentais. Nessa fórmula, intervém todos os parâmetros básicos dos quais depende a perda de carga contínua (GOMES, 2021). Também é conhecida como fórmula universal da perda de carga e se expressa pela Equação 5.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5)$$

em que:

h_f = Perda de carga ao longo do conduto (mca);

L = Comprimento da tubulação (m);

D = Diâmetro interno da tubulação (m); e

g = Aceleração da gravidade(m/s²);

f = Fator de atrito.

Combinando a Equação 5 com a Equação 2, a equação de Darcy-Weisbach passa a ter a seguinte forma, representado pela Equação 6.

$$h_f = \frac{8f}{\pi^2 g} L \frac{Q^2}{D^5} \quad (6)$$

Por fim, para a determinação das pressões estáticas disponíveis a montante e a jusante na rede, Azevedo Netto e Fernández (2015) apresentam uma equação, Equação 7, que relaciona cota piezométrica e cota do terreno:

$$P = CP - CT \quad (7)$$

onde:

P = pressão disponível (m);

CP = cota piezométrica (m); e

CT = cota do terreno (m).

De acordo com Azevedo Netto e Fernández (2015), no dimensionamento das redes ramificadas ou das redes malhadas sujeitas ao seccionamento, para efeito de cálculo, considera-se uma vazão específica por metro de canalização. Em um determinado sistema de distribuição, a vazão a ser distribuída, expressa em L/s por metros de canalização, será dada pela Equação 8 e suas variáveis estabelecidas pela norma NBR 12218/2017.

$$qm = \frac{nk_1k_2q}{86400} \quad (8)$$

qm = Vazão de distribuição ao longo da canalização, na hora de maior consumo, do dia de maior demanda (l/s por metro de canalização).

k_1 = Coeficiente relativo aos dias de maior consumo (valor usual de 1,2).

k_2 = Coeficiente correspondente à hora de maior demanda (valor comum de 1,5).

q = Quota de água a ser distribuída por habitante, expressa em litros por 24 horas.

n = número médio de pessoas a serem abastecidas por metro de canalização.

Em um setor, o valor do número médio de pessoas a serem abastecidas, por metro de canalização, pode ser calculado por meio da Equação 9.

$$n = \frac{P_{abs}}{E_{rede}} \quad (9)$$

Em que:

P_{abs} = população a ser abastecida pela rede; e

E_{rede} = extensão da rede no setor (m).

Nas grandes cidades consideram-se vários setores com valores diversos de n : zonas residenciais de grande densidade de população, zonas comerciais, industriais, entre outros. Em São Paulo/SP, são adotadas vazões que variam desde 0,004 até 0,012 l/s por metro de distribuidor. Para as cidades do interior, os valores das vazões específicas, frequentemente, são inferiores aos indicados (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Conhecendo-se os consumos de água e suas variações, a população a ser abastecida e sua distribuição, pode-se determinar a demanda de água por área de atendimento (litros por segundo, por km²). As demandas específicas (vazão por área de atendimento) servirão de base para o cálculo das dotações (vazões) dos pontos de consumo ou nós dos grandes anéis das redes de abastecimento. As tubulações das redes, que abastecem diretamente as ligações domiciliares, terão suas vazões estimadas em função da demanda específica obtida segundo o número de habitantes por metro linear de canalização (GOMES, 2021).

Azevedo Netto e Fernández (2015) destacam a necessidade da identificação do nó em posição mais desfavorável na rede, ou assim suposto, estabelece-se para ele uma pressão um pouco superior à mínima (100 kPa = 10,197 mca), a qual será somada à cota do terreno, resultando, assim, a cota piezométrica do nó. A obtenção das cotas do terreno é dada por meio da análise das plantas altimétricas da região, determinando assim a altitude dos nós em trechos a montante e jusante.

2.5. O modelo EPANET e Sistema UFC

Desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), o EPANET é um modelo automatizado de simulação que auxilia na compreensão dos comportamentos hidráulicos de um sistema de conduto forçado de distribuição de água destinada ao consumo humano, permitindo simular diversas condições operacionais e a qualidade da água dos sistemas de distribuição durante um determinado período de funcionamento. (LENHS-UFPB, 2009).

O EPANET proporciona valores de vazão em cada trecho, da pressão, consumo base e cota em cada nó, o diâmetro das tubulações, o nível da altura da água de cada reservatório e da concentração de elementos químicos presente na rede durante o período de simulação, sendo subdividido em múltiplos intervalos de tempo. Além disso, consegue simular a idade da água e o rastreamento da origem de água em qualquer ponto da rede (GOMES, 2021).

A versão nacional foi traduzida e adaptada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS, da Universidade Federal da Paraíba – UFPB e funciona nos sistemas operacionais Microsoft® Windows 98 e em suas versões mais recentes. O LENHS adicionou também a extensão LENHSNET, método de dimensionamento econômico de sistemas de distribuição de água (OGAWA, 2015).

O Sistema UFC é um conjunto de softwares escritos em diversas linguagens de programação, que realizam todas as tarefas referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico otimizado de redes de abastecimento de água, adutoras, redes de coleta de esgoto sanitário, redes de Microdrenagem Urbana e Simulação Hidrológica e Hidráulica de Sistemas de Macro e microdrenagem (LACH, 2017).

De acordo com Gabriel (2018), o Sistema UFC é um agrupamento de softwares formulados em várias linguagens de programação, que realizam todas as funções referentes ao traçado e dimensionamento hidráulico de redes de abastecimento de água, adutoras e redes de esgoto sanitário. Concebido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC) da Universidade Federal do Ceará, tem por finalidade a criação de um arquivo de entrada para um programa de simulação hidráulica, o EPANET. O Sistema UFC é constituído por sete módulos, onde cada um corresponde a uma atividade, estes são:

- UFC2 - Módulo de desenho de redes e/ou adutoras de água no AutoCAD e interface AutoCAD/EPANET;
- UFC3 - Módulo de inserção de conexões, numeração dos nós e trechos e elaboração dos quantitativos em redes de distribuição de água;

- UFC4 - Módulo de dimensionamento de redes de abastecimento de água;
- UFC5 - Módulo de seleção de bombas hidráulicas;
- UFC7 - Módulo para análise e simulação computacional do golpe de aríete em adutoras;
- UFC8 - Módulo de dimensionamento de redes de microdrenagem urbana;
- UFC9 - Módulo para traçado e dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto sanitário e estações elevatórias de esgoto.

O módulo UFC2, programado em AutoLISP – linguagem de programação do AutoCAD, é aquele em que a rede e os seus elementos devem ser traçados; ao ser executado, este módulo carrega uma palheta no AutoCAD com os ícones disponíveis para desenho dos elementos da rede a ser modelada, como: tubulação da rede, reservatórios (tipos circular e retangular), *booster*, poço profundo, estação de bombeamento, manancial, registro, válvula controladora de pressão, conexões, demanda especial, arquivo da demanda, aspersor, adutora e gerador de arquivos do EPANET (CASTRO, 2022).

O UFC4 realiza o dimensionamento de redes por dois métodos distintos: o primeiro é o dimensionamento pela pressão mínima, máxima e velocidade máxima e o segundo é a otimização por algoritmo genético, onde se busca um menor diâmetro possível que atenda os valores de vazão e pressão estabelecidos, garantindo um menor custo (CASTRO, 2022).

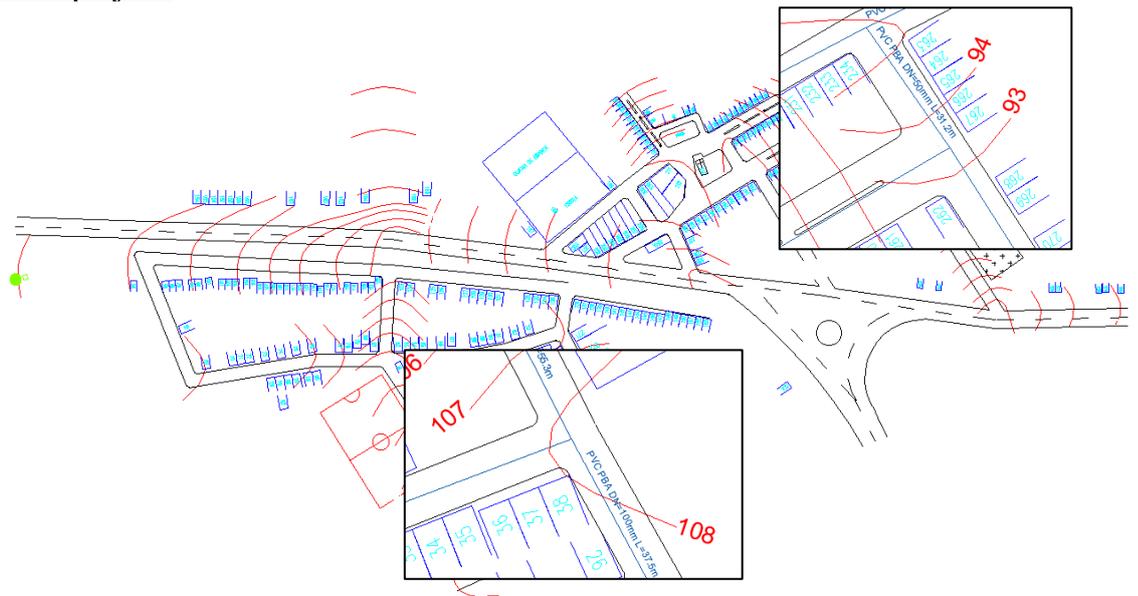
Contudo, mesmo com o desenvolvimento de software para modelagem hidráulica, o projeto de redes de abastecimento de água continua dependendo da experiência de um engenheiro. Para evitar esta dependência e as incertezas que envolvem o processo deste projeto, o modelo hidráulico foi associado com técnicas de otimização para obter um projeto de rede com o menor custo (MEIRELLES LIMA; BRENTAN; LUVIZOTTO, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo e concepção da rede de abastecimento de água

O loteamento está inserido em uma topografia em que a variação entre o ponto de maior e menor cota é de aproximadamente em 15 metros do empreendimento, como pode ser verificado nas curvas de nível apresentadas na Figura 10.

Figura 10 – Concepção do traçado juntamente com as curvas de níveis, enaltecendo a maior e a menor cota do projeto.

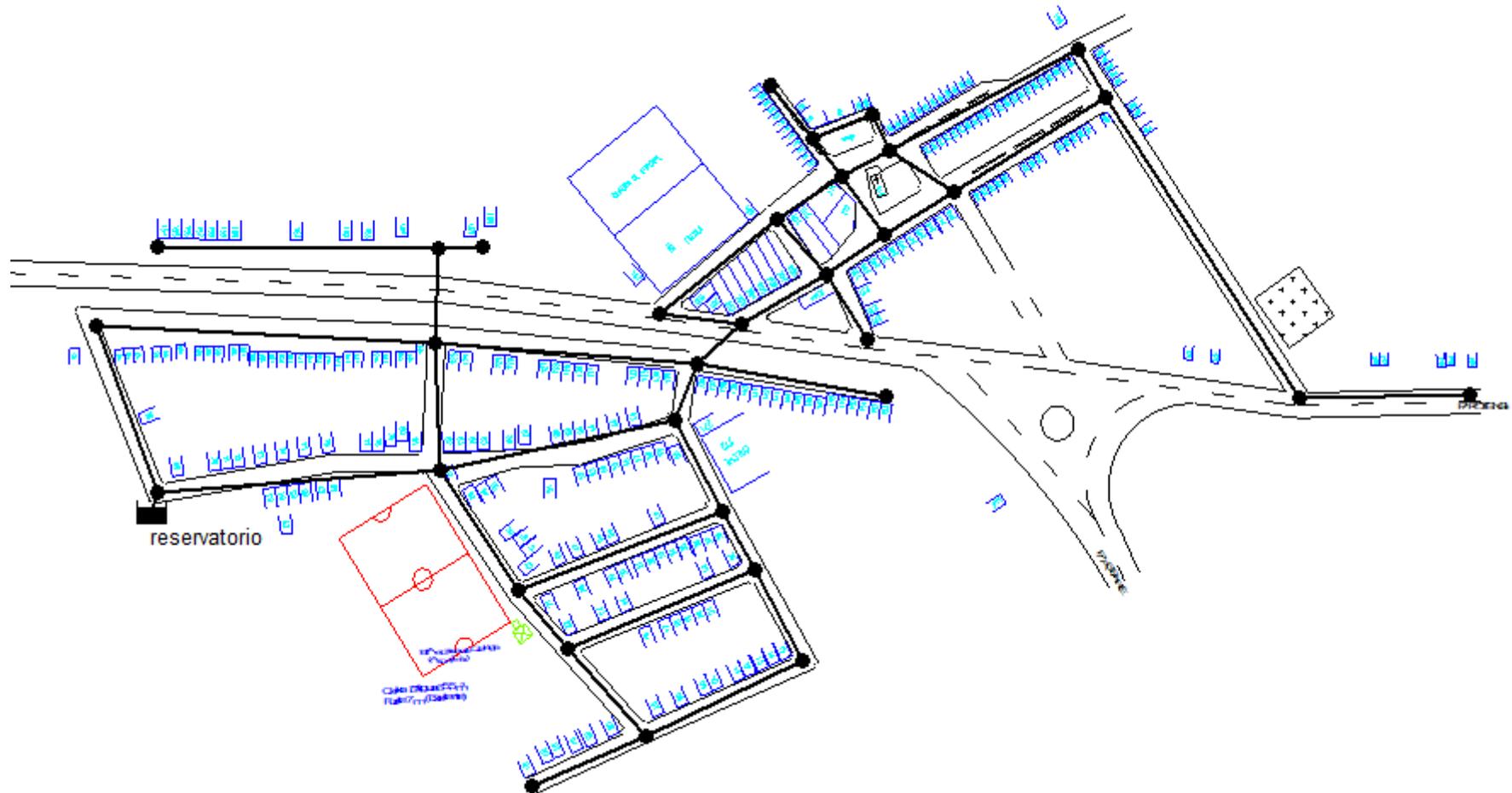


Fonte: O autor (2022).

A rede mista foi concebida para o abastecimento de água para 2 loteamentos: o primeiro possui 5 quadras e 4 pontas secas. Já o segundo é representado por 4 quadras e 3 pontas secas. Dotou-se a quantidade de 750 residências, com a taxa de ocupação média de 3 habitantes por casa (IBGE, 2016).

Desta forma, a população de projeto tem um horizonte de 2250 habitantes para os dois loteamentos. São 34 nós e 43 tubulações presentes no empreendimento, de acordo com a Figura 11, com diâmetros nominais que variam de 50 mm até 150 mm, e coeficiente de rugosidade “e” variando de acordo com o material e o envelhecimento das tubulações.

Figura 11 – Concepção do traçado da rede de abastecimento de água mista estudada.



Fonte: O autor (2022).

3.2. Critérios de Projeto

Os dois loteamentos são abastecidos por uma mesma adutora. Alocou-se um reservatório elevado tipo torre, de carga constante que tem por finalidade fornecer água aos dois loteamentos.

Assim, foi analisada a rede de distribuição de água do tipo mista do loteamento de montante. Os critérios de projeto foram adotados em conformidade com a norma NBR 12218 (ABNT, 2017), a qual define aspectos gerais e específicos para um projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público:

- Contribuição per capita (QPC) = 300 L/hab.dia;
- Coeficientes de reforço:
 - Coeficiente do dia de maior consumo (K_1) = 1,2;
 - Coeficiente da hora de maior consumo (K_2) = 1,5;
- Pressão estática máxima = 500 kPa, aproximadamente 50 mca de carga;
- Pressão dinâmica mínima = 100 kPa, aproximadamente 10 mca de carga;
- Velocidade máxima de escoamento igual a 3,0 m/s e mínima de 0,6 m/s.

Posteriormente, inseriu-se o reservatório na cota mais elevada para auxiliar no estabelecimento de pressões dinâmicas dentro dos limites normativos. Neste trabalho o reservatório foi posto em uma cota de 119 metros, necessitando ainda de 12 metros de altura do fundo do reservatório até o nível do terreno.

3.3. Cenários avaliados

Realizou-se cinco simulações: a) uma em rede concebida apenas em PVC BPA; b) ferro fundido no conduto tronco e PVC PBA nas tubulações secundárias, c) considerando o envelhecimento em 10 anos do PVC PBA em toda rede; d) considerando o envelhecimento em 10 anos o ferro fundido no conduto tronco e PVC PBA nas tubulações secundárias e; e) estimando um aumento populacional e envelhecimento de 10 anos, com base no cenário modelado em “b”.

Com relação aos coeficientes de rugosidade absoluta adotados, para uso da Fórmula de Darcy-Weisbach de estimativa da perda de carga, foram considerados: 0,005 mm para PVC novo, 0,02 mm para PVC com 10 anos de uso, 0,0175 mm para Ferro

fundido dúctil PB com revestimento permanente novos; e 0,0325 mm para o mesmo material com 10 anos de uso, conforme sugerido em Azevedo Netto e Fernandez (2015).

Para o cenário “e”, de crescimento populacional, utilizou-se como base o crescimento estimado da população brasileira de 2020 para 2021 de 0,74% (IBGE, 2021), assim, em um horizonte de 10 anos, ter-se-ia uma população de 2442 habitantes consumidores de água.

Todos os cenários foram simulados ainda, ao se considerar variação temporal do consumo de água: i) nas horas do dia, ii) dias da semana e; iii) sazonal (estações de Verão e Inverno).

Com o intuito de facilitar a comparação entre todos os cenários, criou-se um quadro na qual foi inserida todos os cenários simulados neste estudo (Quadro 2).

Quadro 2 – Cenários elencados e passíveis de comparações.

Cenário	Sazonalidade			
	Diário (i)	Semanal (ii)	Inverno (iii)	Verão (iv)
(a) PVC	a - i	a - ii	a - iii	a - iv
(b) PVC 10 anos	b - i	b - ii	b - iii	b - iv
(c) PVC + FoFo	c - i	c - ii	c - iii	c - iv
(d) PVC + FoFo 10 anos	d - i	d - ii	d - iii	d - iv
(e) PVC + FoFo 10 anos com crescimento populacional	e - i	e - ii	e - iii	e - iv

Fonte: O autor (2022).

Esses cenários foram estabelecidos com base em valores de referência para vazão presentes na literatura nacional. Conforme informado em Figura 4 e 5, os dados sobre o consumo de água durante as horas do dia e dia da semana foram inseridos nos softwares EPANET 2.0 Brasil (*U.S Environmental Protection Agency*, 2000) e Sistema UFC (LACH, 2017), sendo transformados em fatores multiplicativos diários, semanais e sazonais.

Com os padrões temporais definidos, foram realizadas vinte simulações, uma para cada cenário de variação de consumo, com o intuito de analisar o comportamento hidráulico da rede em estudo em cada situação, comparando-as.

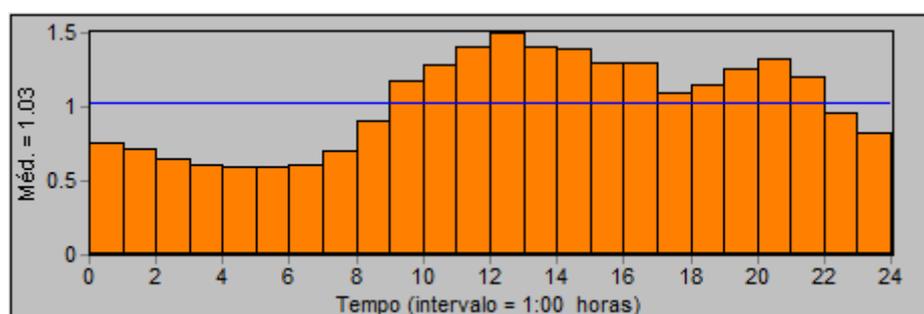
É importante ressaltar que em função da otimização realizada pelo Sistema UFC 4, a distribuição dos diâmetros nas redes constituídas apenas por PVC foi diferente da

distribuição definida para as redes em que se teve o Ferro Fundido como material da linha principal e PVC nas linhas secundárias de distribuição de água.

3.3.1. Variação Diária do Consumo

Com o intuito de prever uma demanda diária de água no EPANET 2.0, utilizou-se um histograma de consumo de água presente em Azevedo Netto e Fernández (2015), representada pela série 3 da Figura 4. Com isso, o padrão temporal para o cenário diário pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Série temporal para variação horária do consumo.



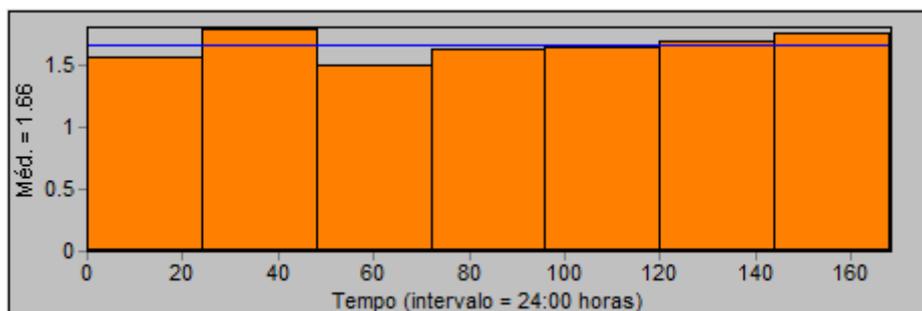
Fonte: O autor (2022), adaptado de Azevedo Netto e Fernández (2015).

3.3.2. Variação Semanal do Consumo

No que se refere à variação semanal da demanda de água, adotou-se como base o gráfico apresentado pela Figura 5, desenvolvido por Guidi (2016), em que salienta a variação do consumo semanal da cidade de Franca – SP.

Fica evidente pela Figura 5 que no dia 06/01/15, terça-feira, resultou em um menor valor máximo para vazão dentre todos os dias da semana. Diante desse cenário, adotou-se terça-feira como padrão unitário, com fator multiplicativo igual a 1,5, da hora de maior consumo; e os fatores dos outros dias da semana foram obtidos pela divisão do valor máximo diário em análise pelo valor máximo unitário. É importante destacar que o fator multiplicativo de 1,5 supracitado (K_2), relaciona-se ao horário de 12h (meio-dia) do padrão temporal diário apresentado na Figura 4. Por este horário expor o consumo máximo horário de um dia, utiliza-se de tal como referência para todos os dias restantes da semana, uma vez que se cria um cenário mais crítico para análise de comportamento hidráulico da rede, sendo exposto pela Figura 13.

Figura 13 – Padrão temporal para variação semanal do consumo.



Fonte: O autor (2022), adaptado de Guidi (2016).

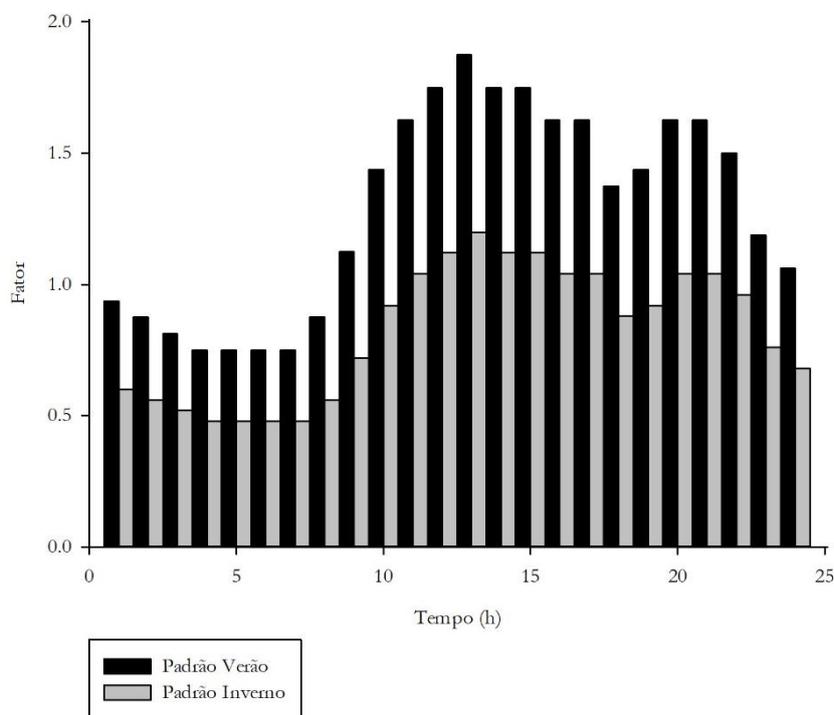
Na Figura 13, o horário definido como 0 é à meia noite de domingo, finalizando-se o padrão na última hora de sábado.

3.3.3. Variação Sazonal do Consumo

De acordo com Guimarães, Carvalho e Silva (2007) as variações climáticas (temperatura e precipitação) promovem uma variação mensal do consumo. Quanto mais quente e seco for o clima maior é o consumo verificado. O consumo médio do inverno é aproximadamente 80% da média diária anual e do verão 125% desta média.

Baseado nos valores percentuais supracitados, adotou-se um consumo médio de 125% para o verão e 80% para o inverno, relativo à média diária anual apresentada no item 2.3.1. Dessa forma, os padrões temporais determinados para cada uma das estações são expostos na Figura 14, para a estação de Verão e Inverno.

Figura 14 – Padrão temporal para variação sazonal do consumo de água no Verão e Inverno, nas horas do dia.



Fonte: Adaptado de Guimarães, Carvalho e Silva (2007).

Nota-se que os dois padrões preenchem apenas um período de um dia (24 horas). Essa redução pode ser feita justamente porque o comportamento hidráulico diário da rede se repetirá durante todo o período de cada estação.

3.4. Utilização dos softwares

Para a simulação hidráulica foi necessário, primeiramente, criou-se o esboço da rede, seguindo o arruamento fictício dos loteamentos com um traçado no software de desenho assistido por computador, AutoCAD e o exportando-o para o EPANET 2.0 Brasil, como exposto na Figura 11.

Antes mesmo de iniciar a concepção de qualquer rede, foi necessária a definição dos parâmetros das variáveis de pré-projeto que foram utilizados nos cálculos hidráulicos. Dessa forma, definiu-se: a unidade de vazão que se utilizou para trabalhar (litros por segundo), a fórmula de perda de carga por Darcy-Weisbach, peso específico relativo ($d = 1,0$) e viscosidade específica igual a 1,0; ou seja, relativa à viscosidade da água à 20 °C.

Além disso, as variáveis citadas no Critério de projeto foram inseridas de acordo com a ABNT NBR 12218:2017 (ABNT, 2017). Dessa forma, a Figura 15 apresenta um exemplo desses dados sendo aplicados no software hidráulico Sistema UFC 2, que pode ser acessado por meio do ícone “Def”.

Figura 15 – Definição de padrões de população inicial, demanda per capita estipulada pelo autor, material da tubulação e coeficientes de consumo de acordo com o critério de projeto.

A imagem mostra a janela "Definição de padrões" do software Sistema UFC 2. A janela possui uma barra de abas com as seguintes opções: Tubulações, Hidráulica (selecionada), Material, Geral, Operação e Dimensionamento. O conteúdo principal da janela é dividido em duas seções principais:

- Opções para o cálculo das demandas:** Esta seção contém três opções de radio buttons:
 - Baseado na população de projeto: Este método está selecionado. Abaixo dele, há um campo de texto rotulado "População de projeto:" com o valor "2250".
 - Baseado no número médio de ligações: Este método não está selecionado. Abaixo dele, há dois campos de texto: "Número médio de ligações a cada 100m:" com o valor "20" e "Número de pessoas por ligação:" com o valor "5".
 - Apenas demandas especiais: Este método não está selecionado.
- Fórmula para cálculo da perda de carga:** Esta seção contém duas opções de radio buttons:
 - Darcy-Weisbach: Este método está selecionado.
 - Hazen-Williams: Este método não está selecionado.Abaixo dessas opções, há dois campos de texto: "Kb (1/dia):" com o valor "-2.5" e "Expoente de descarga do emissor:" com o valor "0.5".

Na base da janela, há dois botões: "OK" e "Cancelar".

Fonte: Adaptado do Sistema UFC (2022).

3.5. Análise Estatística

Em cada um dos cenários avaliados, as amostras de perda de carga nas tubulações e pressões nos nós da rede mista estudada, para cada uma das fontes de variação avaliadas, foram comparadas por meio de análises estatísticas.

Para os cenários em que foi avaliada apenas uma fonte de variação, foi realizada uma Análise de Variância em Ranks (teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade) seguida de teste de Tukey, também à 5% de probabilidade para comparações múltiplas entre os níveis dos fatores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparações múltiplas entre os cenários avaliados entre amostras de perda de carga unitária em todas as tubulações da rede, bem como entre amostras de pressão em todos os nós da rede, estimadas ao meio-dia para as avaliações diárias e sazonais, e para segunda-feira ao meio-dia, para as avaliações semanais, podem ser vistas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Pela análise da Tabela 4, referente às comparações múltiplas entre amostras de perda de carga unitária nos trechos das redes, pôde-se verificar uma predominância de diferenças significativas em pares de comparações dos cenários “c”, ou seja, PVC + Fofo, em relação aos demais.

Dessa forma, inicialmente, deve-se verificar o que diferencia a caracterização das redes modeladas com PVC + Fofo, em relação às demais, em função de seu dimensionamento ótimo: para a rede com estes materiais houve predominância de diâmetros maiores, tanto em PVC BPA quanto em ferro fundido, determinados a partir da otimização realizada pelo Sistema UFC4. Maiores diâmetros foram determinados como solução de dimensionamento desta rede em função do ferro fundido possuir maior rugosidade em relação ao PVC, quando se compara com o cenário “a” e “b”, em que as redes são, em sua totalidade, de PVC. Com isso, a comparação entre cenários perante a perda de carga, diverge dos demais estatisticamente.

Salienta-se também a presença de quatro zonas nas extremidades da Tabela 4, que representam uma maior ocorrência de diferenças não significativas estatisticamente (ns) nessas regiões.

Quadro 4 – Comparações múltiplas entre os cenários avaliados, por meio de Análise de Variância em Ranks, para a variável perda de carga unitária.

Cenários	a - i	a - ii	a - iii	a - iv	b - i	b - ii	b - iii	b - iv	c - i	c - ii	c - iii	c - iv	d - i	d - ii	d - iii	d - iv	e - i	e - ii	e - iii	e - iv
a - i		ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
a - ii	ns		*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
a - iii	ns	*		*	*	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	ns	*
a - iv	ns	ns	*		ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
b - i	*	ns	*	ns		*	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
b - ii	ns	ns	ns	ns	*		ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
b - iii	ns	ns	*	ns	ns	ns		ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
b - iv	*	ns	*	*	ns	*	ns		*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
c - i	ns	*	ns	*	*	*	*	*		ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	*
c - ii	ns	*	*	*	*	ns	*	*	ns		*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*
c - iii	ns	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*		ns	*	ns	*	*	*	*	*	*
c - iv	ns	*	ns	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns		ns	*	ns	*	*	*	ns	*
d - i	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns		ns	ns	*	ns	ns	ns	*
d - ii	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns		*	ns	ns	ns	*	ns
d - iii	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*		*	ns	*	ns	*
d - iv	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	*		ns	ns	*	ns
e - i	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns
e - ii	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns		*	ns
e - iii	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns	*		*
e - iv	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	

Em que : * : significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade estatística; ns: não significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade estatística.

Fonte: O Autor (2022).

Quadro 5 – Comparações múltiplas entre os cenários avaliados, por meio de Análise de Variância em Ranks, para a variável pressão nos nós.

Cenários	a - i	a - ii	a - iii	a - iv	b - i	b - ii	b - iii	b - iv	c - i	c - ii	c - iii	c - iv	d - i	d - ii	d - iii	d - iv	e - i	e - ii	e - iii	e - iv
a - i		*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*
a - ii	*		*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
a - iii	ns	*		*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	*
a - iv	ns	ns	*		ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
b - i	*	ns	*	ns		*	*	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
b - ii	ns	*	ns	*	*		ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*
b - iii	ns	ns	*	ns	*	ns		*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
b - iv	*	ns	*	ns	ns	*	*		*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns
c - i	*	*	ns	*	*	ns	*	*		ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	*
c - ii	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns		*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*
c - iii	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*		ns	*	*	ns	*	*	*	ns	*
c - iv	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns		*	*	ns	*	*	*	ns	*
d - i	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*		ns	*	*	ns	ns	*	*
d - ii	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns		*	ns	ns	ns	*	ns
d - iii	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*		*	*	*	ns	*
d - iv	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*		*	ns	*	ns
e - i	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns	ns	*	*		ns	*	*
e - ii	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns		*	ns
e - iii	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*		*
e - iv	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	

Em que: * : significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade estatística; ns: não significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade estatística

Fonte: O Autor (2022).

Em uma primeira análise e de forma generalista, então, tem-se que a rede dos cenários “c” possui menor perda de carga unitária em relação à do cenário “a”, que se referem aos materiais novos. Mesmo assim, com a simulação do envelhecimento da rede “a” em 10 anos, que gera o cenário “b”, ainda há predominância de diferenças significativas com as redes tipo “c”, mas não há predominância de diferenças significativas com a rede “a”. Isso mostra que, mesmo com o aumento da rugosidade da rede de PVC, este envelhecimento não foi capaz de produzir um aumento significativo das perdas de carga entre “a” e “b”, o que é interessante quanto à vida útil da obra.

Além disso, comparando-se “a” e “b” com as redes tipo “c”, tem-se que o ferro fundido é um material mais caro e que, para esta rede teve-se, de maneira geral maiores diâmetros que levam a um custo de implantação maior. Desta forma, uma possível vantagem técnica da rede “c” graças à sua menor perda de carga unitária não pode ser verificada, ainda mais pensando-se que, em todos os casos, elas possuem funcionamento otimizado quanto às pressões dinâmicas.

Verificou-se também, de maneira geral, predominância de diferenças significativas quanto à perda de carga unitária, entre as redes tipo “c” com as do tipo “d” e “e”, também formadas pela combinação de PVC e ferro fundido, porém, 10 anos envelhecidas, apenas, e 10 anos envelhecidas ao se considerar aumento populacional, respectivamente. Além disso, houve também uma predominância de diferenças não significativas entre as redes “a” e “b” em comparação com as do tipo “d” e “e”. Isso mostra que o envelhecimento do ferro fundido levou a que se tivessem, de maneira geral, perdas de cargas semelhantes ao que se teria nas redes formadas apenas por PVC, mesmo sendo os diâmetros destas últimas inferiores, o que leva que à análise de que a vida útil das redes formadas também por ferro fundido, em sua composição, não é interessante, já havendo, portanto, maiores perdas de cargas unitárias. Complementarmente, ao se comparar os cenários “d” e “e”, em que há consideração, de um em relação ao outro, de aumento populacional, este último levou a diferenças significativas apenas para d-i vs. e-iv; d-ii vs. e-iii; d-iii vs. e-ii; d-iii vs. e-iv e d-iv vs. e-iii.

Diante fato, em relação às perdas de carga unitárias esperadas, o funcionamento à médio prazo das redes de PVC e PVC + Defofo seria, em geral, semelhante, sendo, porém, tecnicamente mais viável a de PVC. Essa afirmação se dá pelo custo do próprio material, uma vez que, de acordo com Magalhães e Azevedo (2016), tubulações de policloreto de vinila custam quase metade do valor de ferro fundido dúctil. Ademais, mesmo

quadruplicando o valor de rugosidade da tubulação ao longo de 10 anos de uso, o PVC ainda atinge números excessivamente menores de perda de carga. Dessa forma, a rede pode ser mais barata e leve, concebida com diâmetros menores.

Já para a Tabela 5, em que são mostradas comparações entre amostras de pressões, os resultados da análise estatística se tornam menos conclusivos, isto é, não há um padrão comportamental tão definido de comparações, como para a Tabela 4.

Mesmo assim, como na avaliação das comparações relativas à perda de carga unitária nas redes estudadas, teve-se uma predominância de diferenças significativas, na maioria das comparações múltiplas, quando da avaliação dos cenários “C”. Isto posto, de acordo com a figura 16, é possível salientar a presença das mesmas diferenças significativas dos cenários “c” em relação aos demais, em que, quando comparados com outros, o resultado da significância (*) quanto à pressão, é presente 8 vezes nas quatro variações temporais (c-i, c-ii, c-iii e c-iv) de PVC + Defoyo aos mesmos cenários (a-ii, a-iv, b-i, b-iv, d-ii, d-iv, e-ii e e-iv), algo que também pode ser notado na tabela de perda de carga unitária.

Figura 16 – Resultado de semelhanças significativas nas quatro variações temporais para a tabela de comparações múltiplas para pressão.

Cenários	a - i	a - ii	a - iii	a - iv	b - i	b - ii	b - iii	b - iv	c - i	c - ii	c - iii	c - iv	d - i	d - ii	d - iii	d - iv	e - i	e - ii	e - iii	e - iv	
a - i		*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	*	
a - ii	*		*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
a - iii	ns	*		*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	ns	*
a - iv	ns	ns	*		*	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
b - i	*	ns	*	ns		*	*	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
b - ii	ns	*	ns	*	*		ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	*
b - iii	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
b - iv	*	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns
c - i	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	ns	*
c - ii	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	ns	*
c - iii	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	ns	*
c - iv	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*	*	*	*	ns	*
d - i	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	*	*	ns	ns	*	*	*
d - ii	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
d - iii	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*
d - iv	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*
e - i	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	*
e - ii	*	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*
e - iii	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
e - iv	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	*	ns	*	*

Fonte: O autor (2022).

Das 380 comparações realizadas, entre cenários, apenas 29, sobre as pressões nos nós das redes, divergiram do resultado apresentado quanto à distribuição da perda de carga unitária estimada nos trechos das redes, assim, mais de 90% das comparações

múltiplas tendem a um mesmo resultado em ambas tabelas, sendo eles significativos ou não.

Diante disso, tem-se que o comportamento da ocorrência das perdas de carga unitárias não foi totalmente semelhante ao da distribuição de pressão, ou seja, diferenças não significativas de perda de carga, levaram a diferenças significativas de pressão, em alguns casos. Pode-se inferir que a recíproca também é verdadeira, corroborando com os argumentos anteriores.

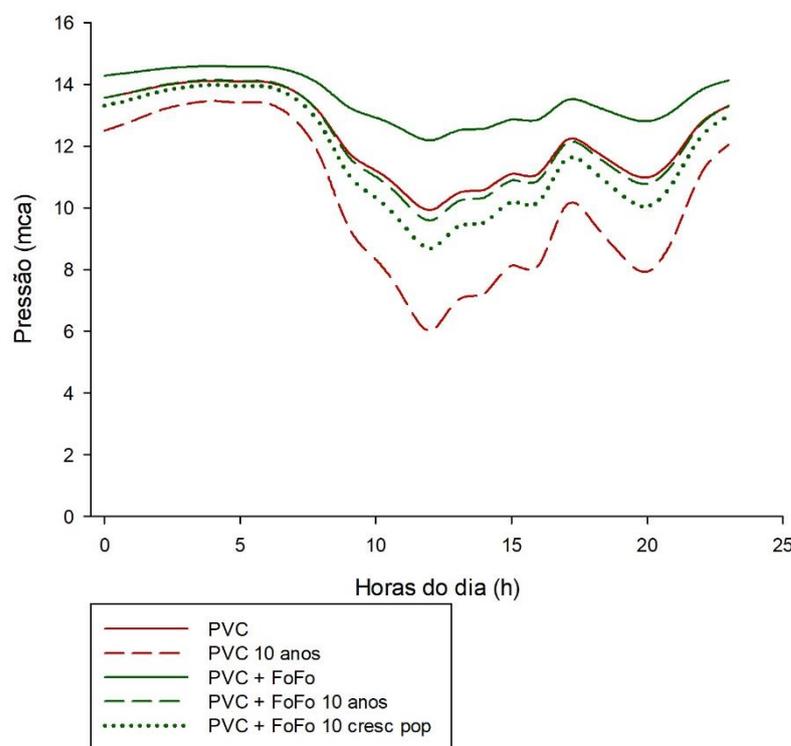
Como citado anteriormente, os cenários “a”, “b”, “d” e “e” comparados entre si, apresentaram em sua maioria, diferenças não significativas (ns) para perda de carga, ou seja, comportamentos similares das redes quando avaliado a energia perdida da água escoando nas tubulações. Contudo, esta tendência não se reflete para a análise da distribuição de pressão nos nós, sendo que, nas 4 combinações de cenários em que antes predominavam diferenças não significativas, teve-se mais combinações significativamente diferentes. Assim, comparações entre as redes “a”, “b”, “d” e “e”, resultam que o envelhecimento não necessariamente traria pressões semelhantes nas redes formadas por: PVC, PVC 10 anos, PVC + Fofó 10 anos e PVC + Fofó 10 anos com crescimento populacional, discordando em partes dos apontamentos supracitados perante à perda de carga unitária.

Verificou-se também, de maneira geral, uma mescla de resultados no comportamento das redes quanto à pressão, entre os cenários tipo “c” com as do tipo “d” e “e”, também formadas pela combinação de PVC e ferro fundido, porém, 10 anos envelhecidas, apenas, e 10 anos envelhecidas ao se considerar aumento populacional, respectivamente. Este fato corrobora com a afirmação supracitada, em que variações nas perdas de carga unitária nem sempre resultam em mudanças proporcionais nas pressões nodais de uma rede de abastecimento de água.

4.1. Cenário de variação horária de consumo

A variação da pressão no nó mais crítico da rede avaliada, em função das horas dos dias e nos diferentes cenários simulados pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 – Variação horária da pressão no nó mais crítico da rede estudada, em função dos diferentes cenários avaliados.



Fonte: O autor (2022).

Em situações em que a demanda por água é maior, o valor da pressão nos nós diminui, decorrente da maior perda de carga nas tubulações.

Ademais, verificou-se redução significativa da pressão com o envelhecimento da tubulação. Por exemplo: no nó mais crítico, tem-se uma diferença de aproximadamente 4 mca entre o cenário a-i (PVC PBA novo) e o cenário b-i (PVC PBA com 10 anos de uso), evidenciando a importância de levar em consideração o desgaste da tubulação.

Da mesma forma, os cenários em ferro fundido no conduto tronco e PVC PBA nas tubulações secundárias, levaram a um decréscimo de pressão nos nós em relação a cenários de materiais novos, em função do aumento da perda de carga nas tubulações devido ao aumento da rugosidade destas com o passar dos anos. Conforme a Figura 17, teve-se uma redução de 2,6

mca devido a temporalidade da rede, comparados os cenários PVC + Fofo e PVC + Fofo 10 anos.

Para o cenário e-iv (PVC + Fofo 10 anos com crescimento populacional), a maior demanda de água pelo aumento populacional também interfere na distribuição de pressões, como explicitado na Figura 17, em que se teve, no nó mais crítico, redução de aproximadamente 3,5 mca em comparação com o cenário PVC + Fofo e de 0,9 mca em relação ao PVC + Fofo 10 anos.

Finda-se que a diferença é um pouco maior nas redes concebidas apenas em PVC do que redes em PVC + Fofo, levando em comparação apenas o envelhecimento das tubulações, contudo esse resultado pode ter relação com uma interferência dos diferentes diâmetros entre os dois cenários.

Levando em consideração os apontamentos feitos e analisando a Tabela 5, entende-se que o comportamento da variação de pressão é semelhante para quase todos os cenários. Contudo, para o PVC + Ferro fundido (cenário “C”), não se tem um traçado diário igual aos demais. Dessa forma, evidencia-se a maior ocorrência de diferenças significativas entre os demais cenários avaliados, com este.

De acordo com Azevedo Netto e Fernández (2015), ao longo do dia, a demanda de água varia continuamente. Durante o período matutino, a vazão supera o valor médio e atinge valores máximos, por volta do meio-dia. Já no período noturno, o consumo cai abaixo da média, apresentando valores mínimos nas primeiras horas da madrugada.

Vale ressaltar que, o valor de k_2 (coeficiente da hora de maior consumo) que é a relação entre o máximo consumo horário verificado no dia de maior consumo e o consumo médio horário do dia de maior consumo, foi de 1,5 para tal experimento, se adequando a real variação do consumo diário de acordo com a Figura 5.

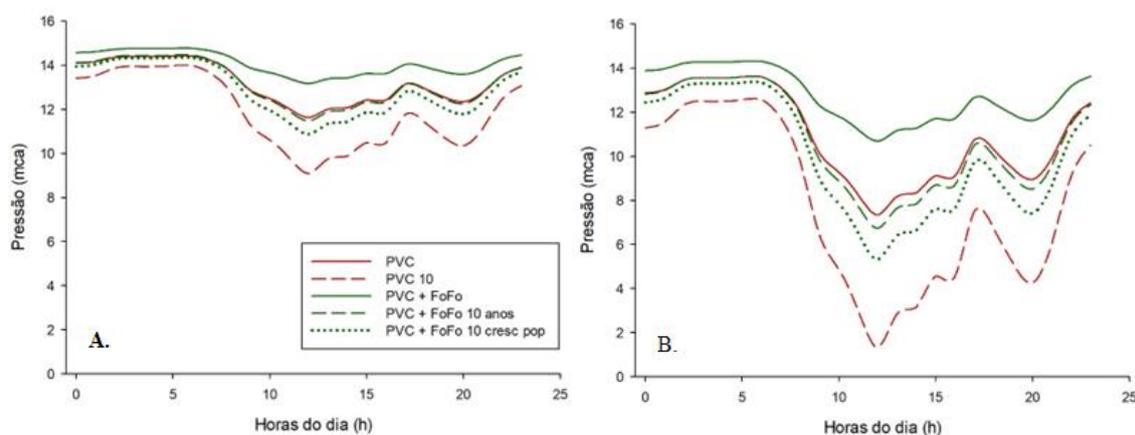
O pico de redução da pressão no nó mais crítico se dá pela alta demanda no horário próximo ao almoço e em períodos com temperaturas elevadas, levando ao aumento do número de hidratações corporais, ou seja, entre 10h e 14h.

É importante ressaltar que em alguns horários dos cenários de envelhecimento, determinados nós tiveram sua pressão mínima inferior a 10 mca, não se adequando na NBR ABNT 12218/2017 (ABNT, 2017). Contudo, para fins de comparação entre diferentes rugosidades devido ao envelhecimento das tubulações, tais avaliações são factíveis.

4.2. Cenário de variação sazonal de consumo

A variação horária da pressão no nó mais crítico da rede estudada, ao se considerar as estações de inverno e verão, pode ser vista na Figura 18.

Figura 18 – Variação horária da pressão no nó mais crítico da rede avaliada, nos diferentes cenários avaliados, no período de inverno (A) e verão (B).



Fonte: O autor (2022).

De acordo com as figuras elencadas de diferentes sazonalidades, depara-se com um comportamento semelhante perante ao diário. Contudo a redução de pressão no inverno se torna mais sutil e de menor variação, em torno de 2,5 mca para o ponto mais crítico na rede apenas em PVC PBA, 1,7 mca para rede em PVC + Fofo 10 anos e 2,3 mca para a rede de PVC + Fofo 10 anos com crescimento populacional.

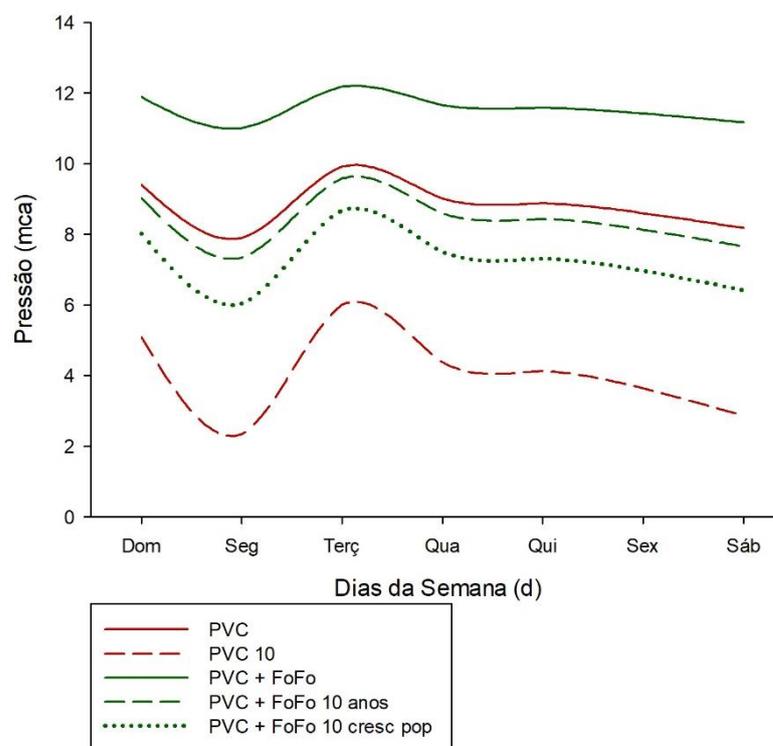
Já no verão, seguindo o mesmo raciocínio, essa divergência se torna mais significativa. Com a diferença de 10 anos de uso da rede apenas em PVC PBA, o ponto mais crítico da rede chegou a apresentar 1,32 mca, uma diferença de quase 6 mca para o mesmo nó uma rede sem desgaste. Já nos cenários em PVC + Fofo, a variação se torna um pouco menos agravante, variando de aproximadamente 4 mca para 10 anos de uso e 5,3 mca com o acréscimo do crescimento populacional.

Dessa forma, observa-se a diferença hidráulica ocasionada pela variação do consumo de água na rede de abastecimento. Em que, em diferentes estações do ano, a mesma rede pode passar por cenários extremamente distintos com relação à pressão avaliado nas mesmas condições materiais.

4.3. Cenário de variação semanal de consumo

Na Figura 19 pode ser verificada a variação semanal da pressão no nó mais crítico da rede, ao meio-dia de cada dia, ou seja, também horário mais crítico, segundo o padrão temporal diário estabelecido, nos diferentes cenários simulados de material da rede, envelhecimento e crescimento populacional.

Figura 19 – Variação da pressão no nó mais crítico da rede avaliada, em escala de tempo semanal, em cada um dos cenários simulados.



Fonte: O autor (2022).

De acordo com Tsutiya (2006), o consumo de água varia continuamente em função dos hábitos populacionais e, assim sendo, ao contrário do cenário diário, o cenário semanal não detém um modelo de variação no consumo bem definido entre os dias da semana, já que pode diferenciar de região para região, de acordo com clima local e os hábitos da população.

Na cidade usada como referência para definição do padrão de consumo semanal, segunda-feira foi o dia com pico de consumo de água, visto que, as pressões atingem os menores valores (Figura 5). Contudo, em uma outra região, pode-se esperar um comportamento diferente do apresentado.

Assim sendo, uma comparação semanal sucinta, consegue expor claramente uma diferença de pressão entre os dias da semana de maior e menor consumo de água. Tem-se aproximadamente de 2 mca de diferença para o cenário a-ii (PVC PBA novo), 3,6 mca para o cenário b-ii (PVC PBA

10 anos), 1,2 mca para o cenário c-ii (PVC + Fofó), 2,25 mca para o cenário d-ii (PVC + Fofó 10 anos) e 2,6 mca para o cenário e-ii (PVC + Fofó 10 com crescimento populacional), todos no mesmo ponto para dois dias diferentes (segunda-feira e terça-feira), evidenciando as afirmações supracitadas.

Levando em consideração o dia mais crítico da semana, segunda-feira, pela avaliação de envelhecimento da rede (10 anos), obteve-se 5,5 mca em redes traçadas apenas por PVC PBA.

Já PVC PBA com Ferro Fundido, culminou-se em uma diferença de 3,7 e 2,4 mca em cenários em que se submetem essas redes respectivamente: apenas ao envelhecimento e o envelhecimento da tubulação acrescido de um crescimento populacional.

5. CONCLUSÃO

Além disso, ao se submeter a rede em diferentes padrões de consumo, cada cenário possui sua particularidade. Essa, se destaca ainda mais em cenários elaborados em diferentes materiais, como é o caso dos cenários em que se teve tubulações de ferro fundido na adutora e PVC PBA nas ramificações da rede, comprovando-se essa diferença por meio de análise estatística.

Com a avaliação dos 20 cenários gerados, uma inferência que merece destaque é a utilização do ferro fundido em redes de distribuição de água potável. Notou-se que o aumento da rugosidade nas tubulações é tão significativo, que tal material passa a funcionar hidraulicamente como uma de PVC PBA, ou seja, perdas de carga e pressões se tornam semelhantes com a diferença unicamente presente nos diâmetros, sendo eles maiores do que os em policloreto de vinila. Dessa forma, a viabilidade técnica e econômica para a concepção de redes de abastecimento de água em ferro fundido é extremamente baixa comparada com uma rede concebida apenas em PVC PBA.

Dessa forma, constata-se que a variação temporal e aspectos ligados a esta, são primordiais na fase de planejamento das redes de abastecimento, principalmente em relação ao material que será utilizado, uma vez que, diante análises, o PVC PBA se sobressai ao ferro fundido perante todas as intercorrências que essa rede possa receber, seja em uma maior demanda de consumo ou com o envelhecimento das tubulações.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUA (ANA). **Conjuntura de recursos hídricos: informe de 2020**. Brasília, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro. 1992

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para o abastecimento público**. Rio de Janeiro, p. 1. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, p. 14. 2017.

AZEVEDO NETTO, J.M; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 410p.

BAPTISTA, Márcio Benedito; LARA, Márcia Maria. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. [S. l.: s. n.], 2010.

CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. **Manual de utilização do Sistema UFC**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <fabricio.aguiar@estudante.ufla.br>. Acesso em: 03 mar. 2022.

FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI – Índice da Construção Civil**. Brasil, Governo Federal. Disponível em:<https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648>. Acesso em: 10 Janeiro 2022.

GABRIEL, Dayana Karla de Souza. **Dimensionamento de uma rede de abastecimento de água de uma área delimitada do município de Japi- RN com a utilização do Sistema UFC**. Orientador: Karine Cristiane de Oliveira Souza. 2018. 56 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <<http://www.lahc.ufc.br/md/Rede-agua-UFPb.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2022.

GOMES, H. **Abastecimento de Água**. 2. ed. João Pessoa: ENHS Editora, 2021. 464 p.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%204%20parte%201.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

HAMILTON Stuart; CHARALAMBOUS Bambos; WYETH, Gary. **Improving Water Supply Networks**. London, 2021.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte, UFMG. 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). **Síntese de Indicadores**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E HIDRÁULICA EM SANEAMENTO (LENHS). **EPANET 2.0: Manual do Usuário**. 2009. Universidade Federal da Paraíba, 2009. 197p.

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL. **Manuais do Sistema UFC**. 2017. Disponível em: <<http://www.lahc.ufc.br/manual/>>. Acesso: 20 de fev. de 2022.

MAGALHÃES, C. H. M. de.; AZEVEDO, J. R. G. de. **Estudo comparativo entre tubo de ferro fundido dúctil (F^oF^o) e de policloreto de vinila orientado (PVC-O)**. XIII SRHNE - Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Sergipe, 2016.

MEIRELLES LIMA, Gustavo; BRENTAN, Bruno Melo; LUVIZOTTO, Edevar. Optimal design of water supply networks using an energy recovery approach. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 117, p. 404–413, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.080>

OGAWA, Fabio Amendola Diuana; Seiti, Caio Contardo Pereira. **Análise Comparativa Dos Modelos Hidráulicos Epanet, Watercad E Sistema Ufc Para Sistemas De Abastecimento De Água – Rede De Distribuição**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, UFRJ, Rio de Janeiro, 134p, 2015.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. 4. Ed. São Carlos: EESC/USP, 2006. 540p.

RAO, Zhengfu. Development of a real-time, near-optimal control process for a water-distribution networks. **International Water Association Publication: Periódico da Universidade de Newcastle**. v. 9, n. 1, 2007, p. 1.

RATNAYAKA, Don D.; BRANDT, Malcolm J.; JOHNSON, Michael. **Water supply**. Butterworth-Heinemann, 2009.

SABESP. **Relatório de Sustentabilidade**. 2020. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios_sustentabilidade/Sabesp_Relatorio_Sustentabilidade_2020.pdf. Acesso em: 5 out. 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf>. Acesso em: 06 Junho 2021.

SARDINHA, Wislley Cardoso; SILVA JUNIOR, Flavio Vieira da. Estudo comparativo dos custos da implantação de rede de abastecimento de água no distrito de Luzimangues/TO. **Technology Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 30–37, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/cbpc2674-6425.2020.002.0003>

SILVA, Filipe Magalhães de Carvalho *et al.* Experimento Didático De Reynolds E Conceitos Básicos Em Mecânica Dos Fluidos. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 346–357, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/2446941603032017346>

SILVA, M. L. da.; THEBALDI, M. S.; NOVAIS, T. de M. F. **Alternativa para dimensionamento de redes ramificadas de abastecimento de água:** avaliação hidráulica e orçamentária. **Sustentare:** Periódico da Universidade do Vale do Rio Verde. v. 3, n. 1, 2019, p. 3-16

TSUTYIA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 3 ed. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VILLAR, Pilar Carolina. As Águas Subterrâneas E O Direito À Água Em Um Contexto De Crise. **Ambiente & sociedade**, [s. l.], v. XIX, p. 83–102, 2016.

Wang, Z., Wu, X., Wang, H. & Wu, T. 2021b **Prediction and analysis of domestic water consumption based on optimized grey and Markov model**. *Water Supply* 21 (7), 3887–3899. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.146>