

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE CONSUMO DE ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE, NORDESTE DO BRASIL

¹CAROLINNE MARIA TABOSA, ¹SAULO DE TARSO MARQUES BEZERRA,
¹SABRINA DA SILVA CORRÊA RAIMUNDO, ¹GILVANDRO BARBOSA TITO

¹Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

<carolinne.tabosa@ufpe.br>, <saulo.tarso@ufpe.br>, <sabrinna_s.c@hotmail.com>,
<gilvandro@compesa.com.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v19.3826

Resumo. Os projetos de sistemas de abastecimento de água requerem estimativas precisas de variáveis críticas, como o consumo de água. A determinação desse consumo é complexa, pois depende de fatores como condições climáticas, padrões sociais, disponibilidade hídrica e custos da água. Este estudo teve como objetivo determinar os coeficientes de mínima e máxima vazão da rede de distribuição DMC-39, localizado na Região Metropolitana de Recife, Nordeste do Brasil, com base na análise da variação de demanda. Para isso, foram coletados dados de vazão a cada 15 minutos no período de abril de 2021 a abril de 2022. A filtragem dos dados considerou limites superior e inferior definidos pela média $\pm 1,5$ vezes o desvio padrão, a fim de excluir *outliers*. Os resultados apontam que a vazão máxima ocorre às 12:15 e a mínima às 03:15. A curva de demanda de água apresentou comportamento compatível com o previsto, mas houve discrepâncias significativas entre os coeficientes calculados para o DMC-39 ($k_1 = 1,64$; $k_2 = 1,30$; $k_3 = 0,54$) e os valores padronizados por normas ($k_1 = 1,2$; $k_2 = 1,5$; $k_3 = 0,5$). Essa diferença demonstra o risco de subdimensionamento ou superdimensionamento de componentes dos sistemas quando se adotam valores padronizados. Conclui-se assim que o uso de coeficientes locais e atualizados proporciona maior precisão no dimensionamento, otimiza os custos de investimento e operação, e melhora a eficiência dos projetos.

Palavras-chave: abastecimento de água; distrito de medição e controle; curva de demanda de água; coeficiente de máxima vazão; coeficiente de mínima vazão.

DETERMINATION OF WATER CONSUMPTION PARAMETERS: A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN REGION OF RECIFE, NORTHEAST BRAZIL

Abstract. Water supply system projects require accurate estimates of critical variables, such as water consumption. Determining this consumption is complex, as it depends on factors such as climatic conditions, social patterns, water availability, and water costs. This study aimed to determine the minimum and maximum flow coefficients of the DMC-39 network, located in the Metropolitan Region of Recife, Northeastern Brazil, based on an analysis of demand variation. For this purpose, flow data were collected every 15 minutes from April 2021 to April 2022. Data filtering considered upper and lower limits defined by the mean ± 1.5 times the standard deviation, to exclude outliers. The results indicate that the maximum flow occurs at 12:15 and the minimum at 03:15. The water demand curve exhibited behavior consistent with the expected pattern, but there were significant discrepancies between the coefficients calculated for the DMC-39 ($k_1 = 1,64$; $k_2 = 1,30$; $k_3 = 0,54$) and the standardized values defined by regulations ($k_1 = 1,2$; $k_2 = 1,5$; $k_3 = 0,5$). This difference demonstrates the risk of undersizing or oversizing system components when adopting standardized values. It is concluded that the use of local and updated coefficients provides greater accuracy in system design, optimizes investment and operating costs, and improves project efficiency.

Keywords: water supply; district metered area; water demand pattern; maximum flow coefficient; minimum flow coefficient.

1 INTRODUÇÃO

O abastecimento de água potável é uma prioridade estratégica para a sociedade e os governos, pois está diretamente relacionado à saúde pública, ao bem-estar social e ao desenvolvimento econômico. Uma distribuição de água eficiente, em termos de qualidade e quantidade, contribui para a redução de doenças infecciosas e para o aumento do bem-estar geral da população (Pintanel; Ceconello; Centeno, 2021). Estudos apontam que os investimentos em abastecimento de água geram significativos retornos econômicos, beneficiando tanto o setor público quanto a sociedade (Paiva; Souza, 2018; Bayer; Uranga; Fochezatto, 2021).

Nas últimas décadas, o crescimento populacional e o aumento da densidade urbana provocaram mudanças significativas nos padrões de consumo de água (Salvino *et al.*, 2016). O comportamento do consumo de água é influenciado por fatores como condições climáticas, padrões sociais, disponibilidade hídrica e tarifas aplicadas. A compreensão desses fatores é fundamental para subsidiar o planejamento da oferta e da demanda.

No Brasil, não há normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que estabeleçam os coeficientes de variação de consumo para o projeto de redes de distribuição de água. De forma prática, os técnicos brasileiros adotam os coeficientes apresentados pela NBR 9649 (ABNT, 1986), que é relativa a projetos de redes coletoras de esgoto. Esta norma estipula os coeficientes k_1 (para a determinação da vazão no dia de maior consumo), k_2 (para a hora de maior consumo) e k_3 (para a mínima vazão horária). Entretanto, passados quase 40 anos de sua publicação, questiona-se se os coeficientes ainda refletem o comportamento de consumo atual e se há variações significativas de região para região.

A análise do consumo de água em uma determinada região requer informações detalhadas e registros contínuos de vazão. A utilização de tecnologias de obtenção de dados evoluiu em relação aos métodos de coleta, armazenamento e análise (Rahim *et al.*, 2020). Recentemente, os avanços tecnológicos estão permitindo a utilização de medidores

inteligentes, compostos por sensores e registradores de dados eletrônicos (*dataloggers*), que viabilizam o monitoramento do consumo de água em tempo real, com alta precisão (Cominola *et al.*, 2019; Marzall; Nascimento, 2023).

Diante desse contexto, esta pesquisa tem como objetivo principal analisar a variação do consumo de água no Distrito de Medição e Controle 39 (DMC-39), localizado na Região Metropolitana do Recife, PE. A partir da caracterização do consumo local, busca-se contribuir com o aprimoramento dos coeficientes de variação de consumo aplicados a projetos de sistemas de abastecimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo de caso adotado foi o Distrito de Medição e Controle 39 (DMC-39), localizado na Zona Sul da cidade de Recife-PE (Figura 1). O distrito foi escolhido por possuir infraestrutura que permitiu a medição em tempo real de grandezas hidráulicas (vazões e pressões).

De acordo com a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), o DMC-39 atende 3.455 clientes ligados à rede de distribuição de água, predominando a categoria residencial, que representa 87,06% dos consumidores. As demais categorias de consumo incluem o comércio (12,62%), a indústria (0,14%) e as propriedades públicas (0,18%). Essas características de composição dos consumidores tornam o DMC-39 um caso de estudo relevante para a análise de padrões de consumo, pois reflete o perfil de uma região urbana mista, comum em cidades brasileiras.

2.2 Aquisição e tratamento de dados

A análise do consumo de água do DMC-39 foi realizada por meio da linguagem de programação *Python* no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) *Visual Studio Code*. A análise determinou: a curva de consumo diário ao longo de doze meses; a curva de consumo horário do período; a curva de demanda de água; a curva de demanda de água para cada dia da semana; o coeficiente de vazão máxima diária (k_1); o coeficiente de vazão máxima horária (k_2); e o coeficiente de vazão mínima horária (k_3).

Inicialmente, foram obtidos os dados armazenados pelos *dataloggers* instalados no DMC-39, contendo registros de data, hora, vazão e volume. As informações foram medidas e registradas a cada 15 minutos, iniciando às 00:00 do primeiro dia de cada mês. Os arquivos de abril a novembro de 2021 e janeiro a abril de 2022 foram utilizados,

Figura 1: Localização da rede de distribuição de água do DMC-39, Recife-PE, ano de 2021.



totalizando 12 meses de dados. Os registros de dezembro de 2021 não foram obtidos por causa de problemas na coleta de dados.

Os arquivos foram organizados em um *dataframe* para facilitar a leitura e manipulação dos dados. Foram identificadas as vazões nulas, que indicam falha na medição ou na distribuição de água. Estas foram substituídas pela função “NaN”, que indica “Not a Number”, e assim os valores nulos não foram considerados nos cálculos.

Além da correção das vazões nulas, foi necessário remover os dados anômalos, definidos como *outliers* ou valores discrepantes que se desviam significativamente dos padrões usuais. A presença desses valores poderia comprometer a precisão da análise estatística, resultando em vieses nos resultados. Assim, o intervalo de dados a serem avaliados foi delimitado com base no desvio padrão. Para isso, os valores de vazão foram agrupados em função da data e da hora, e para cada agrupamento foram calculadas a média (X) e o desvio padrão (δ).

Foram estabelecidos os limites inferior (LI) e superior (LS) para a identificação dos dados de vazão a serem utilizados no estudo, conforme as Equações 1 e 2. Após diversos testes, foi definido o fator 1,5 para multiplicar o desvio padrão, pois essa estratégia manteve uma alta porcentagem dos dados originais, garantindo a exclusão de *outliers* e preservando a representatividade da amostra.

$$LS = X + 1,5 \cdot \delta \quad (1)$$

$$LI = X - 1,5 \cdot \delta \quad (2)$$

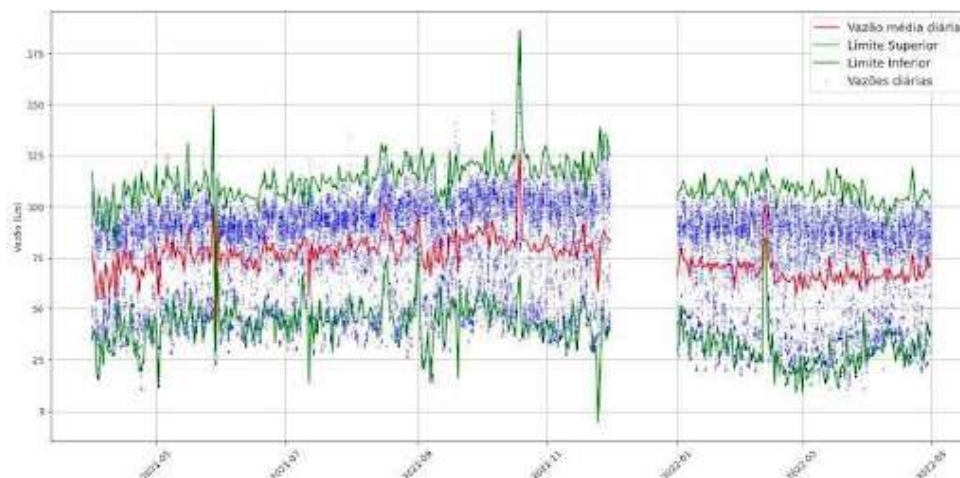
sendo LS corresponde ao limite superior; LI o limite inferior; X a média; e δ o desvio padrão. Os valores foram agrupados e calculados para diferentes intervalos de dados. Para a obtenção de k_1 , foram calculadas as médias das vazões diárias. Para k_2 e k_3 , foram utilizadas as médias das vazões por hora. Por fim, foram determinados os consumos médios para cada dia da semana.

2.3 Coeficientes de variação de consumo k_1 , k_2 e k_3

O coeficiente k_1 relaciona a máxima vazão média diária com a vazão média anual, sendo calculado de acordo com a Equação 3 (Netto; Fernández, 2015). Com base nos dados de vazão registrados a cada 15 minutos, foram calculadas a máxima vazão média diária e a vazão média anual, representando a média de vazão ao longo do ano analisado.

$$k_1 = \frac{Q_{\text{máx, dia}}}{Q_{\text{méd, ano}}} \quad (3)$$

Figura 2: Consumo diário de água do DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.



sendo $Q_{\text{máx, dia}}$ correspondente à máxima vazão média diária, em L/s; e $Q_{\text{méd, ano}}$ correspondente à vazão média anual, em L/s. Horário (00:00 do dia 01, 00:00 do dia 02, ... 00:00 do dia 365 até 23:45 do dia 01, 23:45 do dia 02, ..., 23:45 do dia 365). O coeficiente k_2 foi calculado conforme a Equação 4 (Netto & Fernández, 2015). Foram obtidas a máxima vazão média horária, que corresponde ao maior valor obtido, e a vazão média diária, que é a vazão média obtida a partir das médias horárias.

$$k_2 = \frac{Q_{\text{máx, hora}}}{Q_{\text{méd, dia}}} \quad (4)$$

sendo $Q_{\text{máx, hora}}$ a maior vazão média horária, em L/s; e $Q_{\text{méd, dia}}$ a vazão média diária, em L/s.

Por fim, o coeficiente k_3 , que representa a relação de mínima vazão horária, foi calculado conforme a Equação 5 (Netto; Fernández, 2015). Os dados utilizados foram os mesmos da análise do coeficiente k_2 .

$$k_3 = \frac{Q_{\text{mín, hora}}}{Q_{\text{méd, dia}}} \quad (5)$$

sendo $Q_{\text{mín, hora}}$ a menor vazão média horária, em L/s; e $Q_{\text{méd, dia}}$ a vazão média diária, em L/s.

2.4 Padrão de consumo semanal

Além dos coeficientes k_1 , k_2 e k_3 , foi analisado o padrão de consumo de água do DMC-39 ao longo dos dias da semana, possibilitando o levantamento da curva de demanda de água e a determinação da vazão horária mínima, média e máxima para cada dia da semana.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do consumo médio diário ao longo dos doze meses revelou uma variabilidade significativa das vazões do DMC-39 ao longo do ano (Figura 2). A variação observada não apresenta um padrão sazonal evidente e, aparentemente, não está relacionada a condições climáticas, disponibilidade hídrica ou alterações nas tarifas. A Figura 3 apresenta a série temporal do consumo horário, a cada 15 minutos, para o período avaliado.

A ausência de registros de vazão no mês de dezembro de 2021 resultou em uma lacuna de dados, o que interfere na continuidade e no comportamento visual da curva de consumo. Essa ausência foi provocada por falhas no sistema de automação. Para evitar esse tipo de falha, recomenda-se a utilização de mecanismos de redundância no armazenamento e transmissão de dados, especialmente em estudos de longa duração.

A Figura 4 apresenta a curva das vazões médias diárias no DMC-39 ao longo dos 12 meses analisados. Observa-se que as vazões apresentam valores mais elevados entre os meses de maio e novembro e menores valores entre

Figura 3: Consumo horário de água do DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.

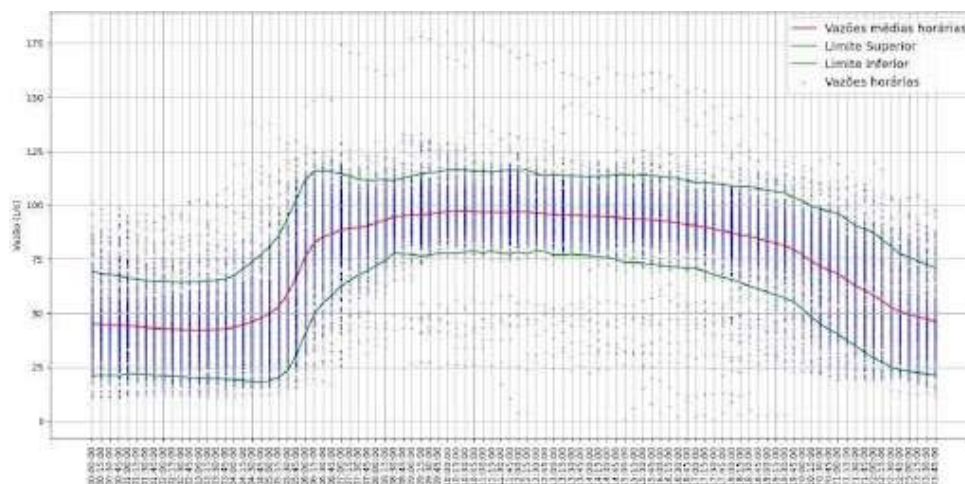
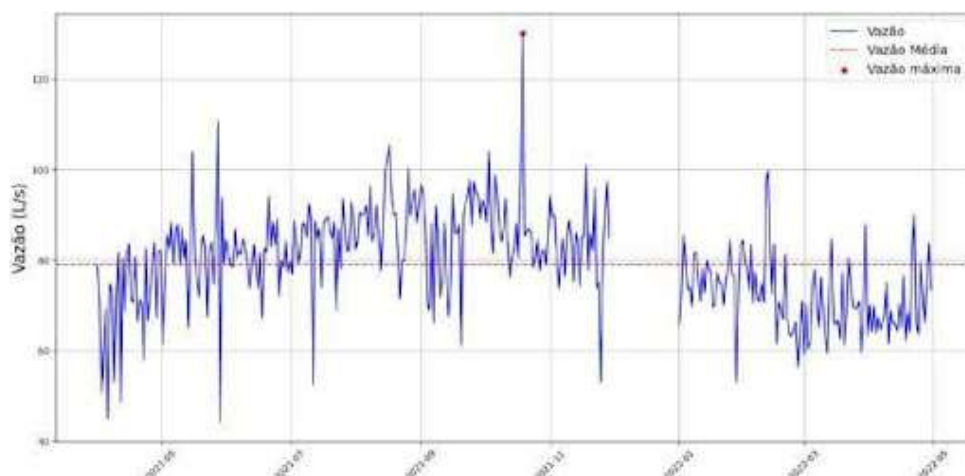


Figura 4: Curva do consumo médio diário de água do DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.



janeiro e abril, o que pode ser explicado pelo período de férias escolares e/ou empresariais. As férias influenciam a dinâmica de permanência domiciliar e, consequentemente, a demanda por água.

O maior consumo diário foi registrado em 19 de outubro de 2021, atingindo 130,14 L/s. Este valor elevado pode ser indicativo da ocorrência de um grande vazamento ou eventos atípicos, como manutenções emergenciais na rede. A Tabela 1 apresenta o resumo dos principais resultados obtidos no período avaliado.

3.1 Curva de demanda de água

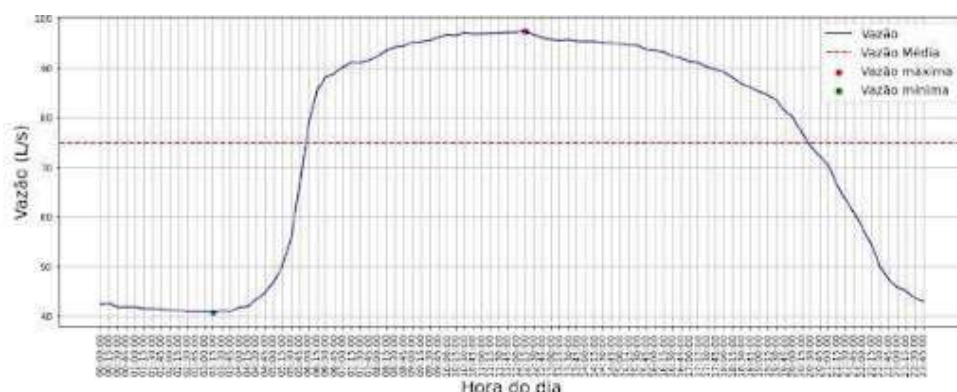
A análise da curva de demanda de água (Figura 5) revelou que as vazões mínimas ocorrem entre 00:00 e 05:30, enquanto o pico de consumo foi registrado às 12:15, atingindo 97,48 L/s. Entre 06:15 e 19:30, o consumo permanece acima de 85 L/s, refletindo a maior demanda relacionada às atividades domésticas e comerciais. Esse padrão é consistente com a curva de demanda apresentada por Tsutiya (2006) e adotada nos estudos de Bezerra, Silva e Gomes (2012), Bezerra *et al.* (2015).

Nota-se um aumento do consumo durante o horário comercial, seguido por uma diminuição gradual a partir de 19:30. Durante a noite, observa-se uma estabilização em valores baixos, que se mantém até as 04:15, horário em que se inicia um aumento brusco, justificado pelo início das atividades domésticas da população. Esse comportamento foi corroborado pelas observações dos técnicos da companhia. A vazão média diária obtida foi de 74,93

Tabela 1: Resumo das vazões do DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.

Tipo de vazão	Consumo (L/s)	Horário
$Q_{\text{máx,hora}}$	97,48	12:15
$Q_{\text{mín,hora}}$	40,77	03:15
$Q_{\text{méd,ano}}$	79,25	—
$Q_{\text{méd,dia}}$	74,93	—

Figura 5: Curva de demanda de água do DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.



L/s.

A vazão mínima noturna de 40,77 L/s, correspondente a 54,4% da vazão média, sugere a ocorrência de perdas físicas significativas no sistema. Segundo Tito (2023), a manutenção de vazões elevadas durante a madrugada é um indicador robusto da presença de vazamentos e de ligações clandestinas.

3.2 Padrão de consumo semanal

A análise do padrão semanal de consumo (Figura 6) revela que, nos dias úteis, o consumo noturno (entre 19:30 e 00:00) é mais elevado em comparação às sextas-feiras e sábados. Isso pode ser explicado pelo comportamento da população, que tende a permanecer mais em casa nesses dias para realizar atividades noturnas. Nos finais de semana, especialmente aos domingos, o consumo noturno é mais elevado, o que se relaciona com o aumento da permanência das pessoas nas residências. Além disso, os horários de pico no consumo são mais intensos aos sábados e domingos, especialmente pela manhã, o que pode estar associado ao aumento do uso de água para atividades de limpeza doméstica e recreação familiar.

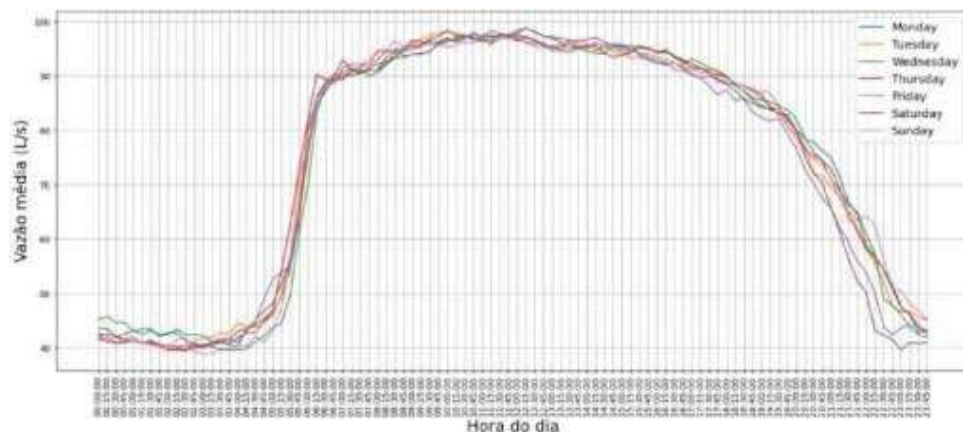
3.3 Coeficientes de variação de consumo k_1 , k_2 e k_3

Utilizando os métodos de cálculo descritos anteriormente, foram obtidos os coeficientes k_1 , k_2 e k_3 para o DMC-39, com base nos dados coletados entre abril de 2021 e abril de 2022. Para analisar as diferenças entre os coeficientes calculados para o DMC-39 e os padronizados pelas normas GPE-NI-014-02 (COMPESA, 2024) e NBR 9649 (ABNT, 1986), os valores obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Comparação entre os coeficientes calculados e padronizados para o DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.

Coeficiente	Valor Calculado	Valor Padrão	(Valor Padrão / Valor Calculado)	Situação
k_1	1,64	1,2	73,09%	Subdimensionado
k_2	1,30	1,5	115,30%	Superdimensionado
$k = k_1 \cdot k_2$	2,13	1,8	84,50%	Subdimensionado
k_3	0,54	0,5	91,89%	Subdimensionado

Figura 6: Curva de demanda por dia da semana do DMC-39, Recife-PE, no período de 01/04/2021 a 30/04/2022.



Os coeficientes de vazão influenciam diretamente o dimensionamento dos componentes de sistemas de abastecimento de água. O coeficiente k_1 foi de 1,64, o que representa um aumento de 36,6% em relação ao valor padronizado de 1,20. Como k_1 é utilizado no cálculo das vazões de projeto de adutoras, reservatórios, estações de bombeamento, estações de tratamento de água e redes de distribuição, a subestimação do coeficiente pode provocar desabastecimento em horários de maior demanda, comprometendo o nível de serviço e causando sobrecarga nos sistemas.

O coeficiente k_2 , que é utilizado no dimensionamento das redes de distribuição, possui um valor padronizado de 1,5, superior ao valor calculado de 1,3 para o DMC-39. Essa diferença implica que as redes estão sendo superdimensionadas, o que acarreta aumento dos custos de investimento inicial e custos operacionais adicionais. O superdimensionamento eleva as pressões nas tubulações, o que aumenta as perdas de água e incrementa os custos de manutenção do sistema.

O uso de coeficientes de vazões locais e atualizados, em vez de valores padronizados, promove maior eficiência operacional e redução dos custos de implantação e/ou manutenção dos sistemas de abastecimento de água. As principais vantagens incluem o aprimoramento do dimensionamento dos componentes do sistema e a redução dos investimentos de capital. Dessa forma, recomenda-se que os sistemas adotem os coeficientes obtidos em estudos locais, como os calculados para o DMC-39, a fim de garantir projetos mais eficientes, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis.

4 CONCLUSÕES

Este estudo investigou a variação no consumo de água no Distrito de Medição e Controle 39 (DMC-39), localizado na Região Metropolitana de Recife, Nordeste do Brasil. Os dados coletados revelaram que a demanda apresenta pouca variação ao longo do dia, independentemente do dia da semana. No entanto, nas sextas e sábados à noite, a demanda diminui, enquanto aos domingos, o consumo aumenta nesse mesmo período. Essa variação está associada ao comportamento dos usuários, incluindo a permanência domiciliar e as atividades sociais.

Os resultados deste estudo destacam a importância de utilizar coeficientes de vazão específicos e atualizados para cada localidade. Os valores determinados para o DMC-39 ($k_1 = 1,64$; $k_2 = 1,30$; $k_3 = 0,54$) diferem significativamente dos valores padronizados ($k_1 = 1,2$; $k_2 = 1,5$; $k_3 = 0,5$), o que indica que o uso indiscriminado de coeficientes padronizados pode levar a subdimensionamento ou superdimensionamento dos sistemas de distribuição de água.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de ferramentas computacionais para o cálculo automatizado dos coeficientes com base em séries temporais de vazão, que incorporem modelos preditivos baseados em técnicas de *machine learning* e inteligência artificial; e explorar o uso de dados de sensoriamento remoto para identificar padrões de consumo de água e prever alterações nos coeficientes. As imagens de satélite podem fornecer informações sobre variações de temperatura, densidade populacional e outras características urbanas que influenciam o consumo de água.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9649:1986**: Projeto de redes coletoras de esgotamento sanitário – Procedimento. Brasil, 1986.
- BAYER, N. M.; URANGA, P. R. R.; FOCHEZATTO, A. Política municipal de saneamento básico e a ocorrência de doenças nos municípios brasileiros. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, p. e20190375, 2021.
- BEZERRA, S. T. M.; SILVA, S. A.; GOMES, H. P. Operational optimisation of water supply networks using a fuzzy system. **Water S.A.**, v. 38, p. 565–572, 2012.
- BEZERRA, S. T. M.; SILVA, S. A.; GOMES, H. P.; SALVINO, M. M. Energy savings in pumping systems: application of a fuzzy system. **Ciência & Engenharia**, v. 24, p. 71–78, 2015.
- COMINOLA, A.; NGUYEN, K.; GIULIANI, M.; STEWART, R. A.; MAIER, H. R.; CASTELLETI, A. Data mining to uncover heterogeneous water use behaviors from smart meter data. **Water Resources Research**, v. 55, n. 11, p. 9315–9333, 2019.
- Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento. **GPE-NI-014-02**: Diretrizes gerais para elaboração de projetos de redes de distribuição de água. Recife, PE, 2024.
- LIU, A.; MUKHEIBIR, P. Digital metering feedback and changes in water consumption – a review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, p. 136–148, 2018.
- MARZALL, V. O. A. R.; NASCIMENTO, N. O. Determinação do perfil de consumo residencial de água potável apoiado em tecnologia de medição inteligente. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, p. e3, 2023.
- NETTO, A.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015. 632 p.
- PAIVA, R. F. P. d. S.; SOUZA, M. F. P. d. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 1–11, 2018.
- PINTANEL, S. R.; CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N. Análise da correlação entre os indicadores de saneamento básico e as doenças de veiculação hídrica em municípios do sul do rio grande do sul. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 2, p. 41–52, 2021.
- RAHIM, M. S.; NGUYEN, K. A.; STEWART, R. A.; GIURCO, D.; BLUMENSTEIN, M. Machine learning and data analytic techniques in digital water metering: a review. **Water**, v. 12, n. 1, 2020.
- SALVINO, L. R.; MENDONÇA, K. H.; MONTEIRO, A. C. L.; GOMES, H. P.; BEZERRA, S. T. M. Pid controller applied in a water distribution network supplied by pumping direct. **Acta Universitaria**, v. 26, p. 91–97, 2016.
- TITO, G. B. **Localização e detecção de vazamentos em um sistema de distribuição de água**: estudo de caso na região metropolitana do Recife-PE. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)) — Universidade Federal de Pernambuco, 2023.
- TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2006. 644 p.