

I-290 - ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA UTILIZANDO DADOS OBTIDOS POR SISTEMAS SUPERVISORES REMOTOS ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE FRANCA-SP

José Marcius Marson Guidi⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista - UNESP. Mestre em Saneamento e Meio Ambiente Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Engenheiro SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Fotografo Jose de Oliveira, 5446 – Vila Hipica - Franca – SP - CEP: 14403- 853- Brasil - Tel: (16) 3712 2062 - e-mail: josemmguidi@gmail.com

RESUMO

O entendimento do comportamento da variação de consumo de água, ao longo do tempo, é de fundamental importância para soluções mais seguras e econômicas na gestão da operação, manutenção, ampliação e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água.

O presente trabalho busca esse entendimento, para contribuir com ferramentas de avaliação do funcionamento da infraestrutura implantada, evitando condições indesejáveis de instabilidade no abastecimento. Nesse contexto, verifica-se a necessidade de se conhecer o comportamento do sistema de abastecimento de água por meio de informações devidamente compiladas que possam servir de subsídios para estudos de planejamento e controle operacional. O objetivo deste trabalho foi obter a curva de consumo, por meio de dados de medidores de vazão eletromagnéticos instalados em um setor de abastecimento de água do município de Franca-SP, denominado Ana Dorothea - zona baixa. Os dados são coletados e armazenados por meio do sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para posterior tratamento. Permitindo o cálculo dos valores reais dos coeficientes de majoração da média de consumo. Os valores obtidos foram comparados com os recomendados pela literatura internacional.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento de água, Variação de consumo, Picos de consumo.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional notado na maioria das cidades brasileiras formata um panorama de constantes obras e incessantes adaptações das infraestruturas urbanas para suprir as necessidades humanas. No âmbito do saneamento básico, observa-se uma forte carência de planejamento de médio e longo prazo, o que se traduz em déficits no atendimento adequado dos usuários dessas infraestruturas.

Para as empresas responsáveis pelo abastecimento de água das grandes cidades, conciliar o atendimento da demanda com a disponibilidade hídrica é tarefa cada dia mais complexa, uma vez que as captações estão cada vez mais distantes dos centros de consumo, o que eleva os custos de adução.

Entende-se por demanda de água a quantidade total de água consumida pelos diversos propósitos de utilização urbana (Narchi, 1989), categorizados pelos quatro tipos de imóveis: público, comercial, industrial e doméstico. A demanda, bem como sua variação ao longo do tempo, está vinculada a algumas variáveis tais como: a pressão na rede, a qualidade da água fornecida, o sistema tarifário e seus valores, o clima da região e os usos destinados aos imóveis. A falta de controle sobre alguma destas variáveis podem ser observados com consequência nos altos índices de perdas no sistema, em geral, associados a uma deficiência de gerenciamento das pressões, causando grandes prejuízos financeiros, decorrentes das perdas físicas e do aumento do consumo de energia.

Neste contexto, há na atualidade, uma busca por um controle operacional automatizado otimizado, capaz de reduzir essas ineficiências. Uma operação automatizada visa obter uma maior confiabilidade do sistema. Nesse tipo de operação, procura-se incorporar os conhecimentos científicos a uma metodologia formal, minimizando as tarefas repetitivas. (Zahed, Apud Borges 2003). Além disso, a quantidade de dados aumenta a cada dia com a adoção das CCO's (Centrais de Controle Operacional), tornando a tarefa dos operadores cada dia mais

desgastante e sujeita a falhas sem um controle automatizado. A automação dos processos gera dados importantes para o conhecimento dos sistemas de abastecimento, permitindo o acoplamento de uma inteligência que aperfeiçoa os processos, avisa de falhas, processa informações e as transmite para quem de direito.

Neste contexto, foi proposto este trabalho de investigação, baseado no tratamento dos dados de vazão obtidos de um sistema de aquisição “on-line”, objetivando, a determinação da média de consumo de água e a caracterização das curvas de variação desses ao longo do tempo. Isto permitiu a determinação dos valores atualizados para o coeficiente de máxima vazão diária (K1) - que denota a relação entre a maior vazão diária verificada no ano e a vazão média diária anual - como também os valores atuais para o coeficiente de máxima vazão horária (K2) - que é calculado pelo quociente entre a maior vazão observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia.

MATERIAIS E MÉTODOS

A demanda urbana de água corresponde à quantidade total de água necessária para os diversos usos. Isto a torna um fator importante para o planejamento e gestão de sistemas de abastecimento de água, desde que haja um histórico de registro de dados em forma de série temporal para serem analisados posteriormente (Narchi, 1989).

Como os dados são armazenados (usualmente em um servidor) é possível obtê-los ao logo de um intervalo de tempo estabelecido, gerando gráficos de vazão pelo tempo, o que permite conhecer não só os consumos médios *per capita*, mas também, os coeficientes de variação de vazão.

Em sistemas de abastecimento de água, a quantidade de água consumida varia continuamente em função do tempo, influenciada pelas condições climáticas e de acordo com os hábitos da população. Normalmente, o consumo doméstico apresenta uma grande variação, enquanto que no consumo industrial a variação é menor (Tsutiya, 2006). De um modo geral, para o abastecimento de água de uma determinada área, ocorrem variações anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas do consumo de água. Um dos métodos mais comuns de determinação da demanda de pico de consumo de água em projetos de dimensionamento de redes de água e esgoto é uma proporção frente à média de consumo em um período de tempo. Estas relações também são conhecidas como fator de pico, coeficiente de pico ou multiplicador de demanda. Assim, para projetos de sistemas de abastecimento de água e sistemas de esgoto sanitário são importantes os seguintes coeficientes:

(K1) coeficiente de máxima vazão diária, que mostra a relação entre a maior vazão diária verificada no ano e a vazão média diária anual.

(K2) coeficiente de máxima vazão horária, que mostra a relação entre a maior vazão observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia.

(K3) coeficiente de mínima vazão horária – que é determinado pela relação entre a vazão mínima e a vazão média anual.

(K) coeficiente que agrupa os valores de K1 e K2, ou seja, o valor de K é a multiplicação de K1 por K2. Equação 1.

$$K = K1 . K2 \quad 1$$

Existe um coeficiente calculado com a relação entre o maior consumo diário verificado no período de um ano e o consumo médio diário neste mesmo período, considerando constante o número de ligações. Denominado de coeficiente do dia de maior consumo K1. Equação 2.

$$K1 = \frac{\text{maior vazão diária no ano}}{\text{vazão média diária no ano}} \quad 2$$

Para avaliação do pico de consumo caracterizado pela hora de maior consumo, calcula-se o valor do coeficiente da hora de maior consumo, denominado K2, dividindo-se o valor máximo da vazão horária pela vazão média do dia, equação 3.

$$K2 = \frac{\text{maior vazão horário no ano}}{\text{vazão média dia}} \quad 3$$

A vazão média Q_m representa a demanda média total de água que é praticada sobre o sistema por todos os usuários em um período de tempo. Alguns países, como o Canadá, recomendam que os dados de vazão sejam registrados formando um histórico para ser usado na determinação de Q_m em uma determinada comunidade. Se os dados disponíveis são insuficientes para desenvolver uma estimativa razoável do uso da água para essa comunidade, a demanda de água *per capita* média publicada na literatura pode ser usada. Esta abordagem não é recomendada, pois os valores médios podem não representar o comportamento padrão de uso de água encontrado em pequenas comunidades, especialmente, se existirem grandes consumidores industriais. Assim, podem ocorrer desvios no valor da média tanto para valores acima do real como para valores abaixo do real consumo de água.

Assim, a Sabesp(1989) sugere que, para determinar o valor da Q_m de maneira mais precisa, deve-se fazer a somatória das vazões médias por seu uso categorizado em quatro tipos de imóveis: público, comercial, industrial e doméstico.

A Q_p é a máxima demanda de água que pode ser esperada de um setor de abastecimento em um determinado tempo. Como Q_m pode ser determinada com base em dados históricos de utilização de água. O valor Q_p deve representar fielmente o pico de demanda durante estes períodos analisados. Cuidados devem ser tomados para evitar a escolha de um valor para Q_p associado a um evento único, como um grande vazamento de adutora ou um evento de incêndio. Como mostrado na Equação 4, a Q_m medida ou estimada é multiplicada por um fator de pico (K), coeficiente de máxima vazão diária, que pode variar, segundo alguns autores, entre 1,5 e 4,0, baseando-se no tamanho e características da comunidade analisada.

$$Q_p = K \cdot Q_m \quad 4$$

Para Diao et al (2010), os coeficientes de variação de vazão são altamente relacionados ao intervalo de tempo analisado para o cálculo da vazão média de um sistema de distribuição de água. O coeficiente de pico aumenta à medida que o intervalo de tempo de medição de vazão diminui (Johnson, 1999). Segundo Scheepers (2012), isto se dá devido ao valor calculado para a média de vazão, pois quanto maior o intervalo de tempo, menor a influência dos valores extremos na média.

Diao et al (2010) também afirmam que o número de consumidores tem impacto sobre os coeficientes de variação de vazão. À medida que o número de consumidores aumenta, a magnitude do fator de pico diminui. A densidade habitacional da área física que delimita o setor de abastecimento do estudo tem um grande efeito sobre os coeficientes, permitindo que sejam adotados métodos diferentes para o cálculo, inclusive equações empíricas em alguns casos.

Às pequenas comunidades são atribuídos maiores coeficientes porque são esperados maiores variações de valores para a vazão, devido ao impacto pontual de consumo individual quando os usuários estão conectados diretamente ao sistema de distribuição de água (exemplo: irrigação de gramado, lavagem de carro).

Os métodos empíricos avaliados no trabalho para o coeficiente de máxima vazão K1 são:

Zhang (2005) sugere três modelos para cálculo do K1 usando equações empíricas obtidas a partir de várias publicações norte-americanas. São elas:

-Comitê Central Iowa (2004):

$$K1 = \begin{cases} 9,0 & \text{Para o valor } E \leq 0,22 \\ \frac{7}{E^{0,167}} & \text{Para o valor } E > 0,22 \end{cases} \quad 5$$

Onde:

$E = \text{população em milhares de habitantes.}$

-Normas da Geórgia para sistemas públicos de água (2000):

$$Qp = 43,40 \cdot C^{0,54} \quad 6$$

Onde:

$Qp = \text{vazão instantânea máxima (l/min)}$

$C = \text{Número de ligações (para } C < 500\text{).}$

-US Bureau critérios de projeto (2002):

$$Qp = 18,19N^{0,5} + 3,41N + 22,36 \quad 7$$

Onde:

$N = \text{Número de economias}$

Diao et al (2010) apresentaram algumas relações alemãs para o coeficiente de pico, propostas pela Associação Técnica e Científica Alemã para Gás e Água (DVGW). Estas equações são apresentadas pelos números 8 e 9:

-DVGW – Mutschmann and Stimmelmeyer (2007)

$$K1 = -0,1591 \ln E + 3,5488 \quad 8$$

-DVGW – (2007)

$$K1 = 3,9 \cdot E^{-0,0752} \quad 9$$

Alguns exemplos de K1 calculados a partir das fontes acima mencionadas, tabela1:

Tabela 1: Valores de K1

POPULAÇÃO	MOE NL Guidelines (2008)*	DVGW Mutschmann and Stimmelmyer (2007)	DVGW (2007)
150	4,90	2,75	2,68
300	3,60	2,64	2,54
500	2,90	2,56	2,44
500-1000	2,75	2,45 - 2,56	2,32 - 2,44
1001-2000	2,50	2,34 - 2,45	2,20 - 2,32
2001-3000	2,25	2,27 - 2,34	2,14 - 2,20
3001-10000	2,00	2,08 - 2,27	1,95 - 2,15

Brière (2007) discutiu duas metodologias diferentes para a obtenção do valor dos coeficientes de variação de consumo. Ele afirmou que a fórmula empírica Goodrich, equação 10, é aplicável a pequenos municípios residenciais.

-Formula Goodrich:

$$K1' = 180.t^{-0,10}$$

10

Onde:

K1' = Coeficiente de variação de vazão em porcentagem (%)

t = Período em estudo (dia)

Essa equação é aplicada quando o valor de t estiver entre 12 horas e 365 dias.

Um exemplo de aplicação para o método de Goodrich é:

$$t = 1 \text{ dia} \quad K1' = 180.(1)^{-0,10} = 180\% \quad K1 = 1,80$$

Brière (2007) publicou também alguns valores para o K1, calculados com base no tamanho da população, seguindo as orientações do Ministério do Meio Ambiente de Ontário, Canadá. Este órgão se propõe a fornecer e padronizar as informações para projetos de sistemas de distribuição de água, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Coeficientes de variação de vazão propostos por Brière (2007)

POPULAÇÃO	K1	K = K1 . K2	K2
Abaixo 500	3,00	4,50	1,50
500 - 1000	2,75	4,13	1,50
1001 - 2000	2,50	3,75	1,50
2001 - 3000	2,25	3,38	1,50
3001 - 10000	2,00	3,00	1,50
10001 - 25000	1,90	2,85	1,50
25001 - 5000	1,80	2,70	1,50
50001 - 75000	1,75	2,62	1,50
75001 - 150000	1,65	2,48	1,50
Acima 150000	1,50	2,25	1,50

Na Espanha, Martinez-Solano et al. (2008) determinaram o valor do K1 por meio de uma expressão que foi obtida através de análise estatística de consumo de água, como mostrado na equação 11:

-Martinez-Solano et al. (2008):

$$K1 = \frac{17,12}{\sqrt{E}} + 2,185 \quad 11$$

O consumo de água de uma pequena cidade no sul da Itália foi analisado por Tricarico et al. (2007). A análise estatística foi feita com uma amostra e a vazão poderia ser descrito por modelos log-normal e Gumbel. Usando uma abordagem determinística, os autores desenvolveram uma relação para estimar o fluxo máximo em relação ao número de habitantes. A equação de numero 12 foi resultante.

-Tricarico et al (2007):

$$K1 = 11.E^{-0,2} \quad 12$$

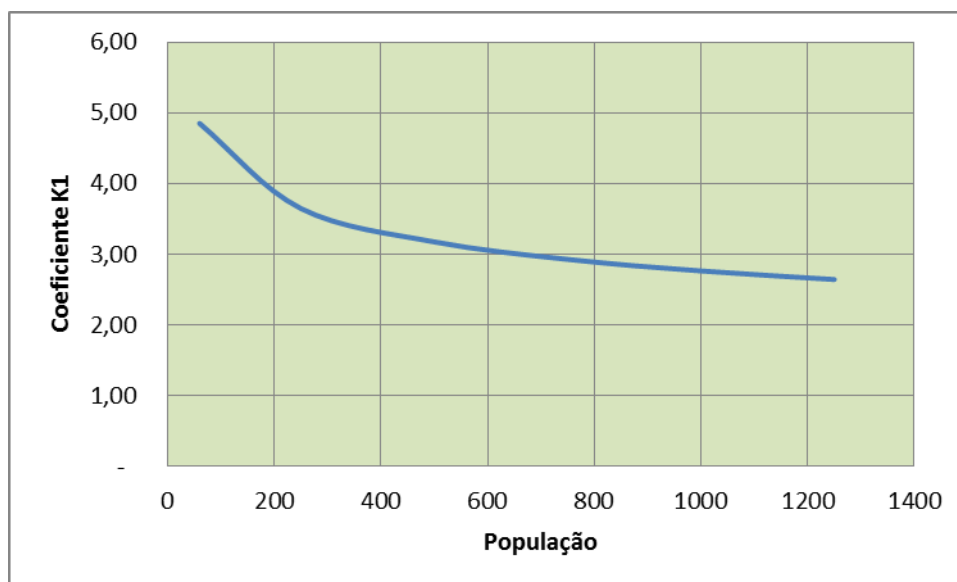


Figura 1: Curva do coeficiente seguindo Equação 12 - Tricarico et al (2007)

Tricarico et al. (2007), em seguida, estudaram os dados usando uma abordagem probabilística. Isto envolveu o cálculo com intervalos de confiança de 90%, 95%, 98% e 99%. Os valores dos coeficientes que foram obtidos, utilizando tanto a abordagem determinística quanto a probabilística, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores para K1 Tricarico et al. (2007)

Numero de habitantes		100	250	750	1000	1250
K1 método determinístico		4,40	3,70	2,90	2,80	2,60
K1 método probabilístico	90%	3,80	2,90	2,30	2,10	2,00
	95%	3,90	3,00	2,30	2,10	2,00
	98%	4,40	3,10	2,30	2,20	2,10
	99%	4,20	3,10	2,30	2,20	2,10

Depois de calcular o K1 para um número de amostras de população suficiente para chegar a percentil 99%, Tricarico et al 2007 provaram que suas equações convencionais possuem uma tendência semelhante às outras equações empíricas publicadas. Também a maioria dos K1 calculados empiricamente por outros autores, é maior do que os resultados para sua equação num percentil 99%, mostrando que os métodos convencionais para cálculo do K1 são conservadores.

Segundo Scheepers (2012), os métodos empíricos são os preferidos para o cálculo dos coeficientes de vazão na África do Sul. Em alguns casos, consultores desenvolveram seus próprios valores para os coeficientes de pico de demanda. Duas empresas de consultoria em engenharia compilaram os valores para os coeficientes em um plano diretor para o sistema de distribuição de água na região de East Rand, na África do Sul. Esse trabalho foi posteriormente publicado por Vorster et al (1995). Os valores para os coeficientes utilizados pelos autores como parte do estudo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Coeficiente de variação de vazão calculado pela Qm (Vorsted et al. 1995)

	$Q_m \left(10^6 l/dia \right)$	K1	K= K1 . K2	K2
Baixa densidade residencial	< 1,0	2,30	5,50	2,39
	1,0 - 5,0	2,20	4,50	2,05
	5,0 - 20,0	2,00	3,90	1,95
	> 20,0	1,80	3,30	1,83
Alta densidade residencial	< 1,0	2,30	4,60	2,00
	1,0 - 5,0	4,00	5,00	1,25
	5,0 - 20,0	1,80	3,30	1,83
	> 20,0	1,70	2,90	1,71

Na Índia, CPHEEO (1991) recomenda a consulta da Tabela 5 para determinar valores do coeficiente que variam conforme a população atendida. Tais valores são utilizados para a concepção de sistemas de distribuição de água.

Tabela 5: Valores sugeridos para K1 CPHEEO (1991)

POPULAÇÃO	K1
MENOR 50.000	3,00
50.000 - 200.000	2,50
MAIOR 200.000	2,00

Várias expressões de origem empíricas, são usadas para o cálculo do coeficiente de pico de vazão (K). A fórmula de Harmon é usada frequentemente pelo Department of Environment and Conservation (Newfoundland and Labrador in Canada) ENVC para calcular o coeficiente de variação de vazão em comunidades que não possuem série histórica de dados de consumo, fazendo-se assim uma estimativa da média de vazão e aplicando o coeficiente.

$$K = \frac{18 + \sqrt{\frac{E}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{E}{1000}}}$$

14

A Fórmula de Harmon foi originalmente desenvolvida para explicar as variações na vazão em sistemas de coleta e afastamento de esgoto. Mas pode também ser usada para calcular os coeficientes de variação de vazão em sistemas de distribuição água, dado que temos a água consumida fazendo seu caminho de volta para o sistema de águas residuais. Na prática, isso geralmente significa que o pico de demanda calculado utilizando a Fórmula de Harmon não considera a água usada para jardinagem ou para a maioria de outras atividades ao ar livre.

Zhang (2005) desenvolveu uma nova abordagem para o cálculo dos coeficientes de variação de vazão usando uma curva retangular no modelo matemático de Poisson (Modelo PRP) e a teoria dos valores extremos. O 'Gumbel' no título vem de um método estatístico de distribuição utilizado para representar as medições com grandes variações. O método de derivação é complexo, mas flexível, e resulta na relação simples mostrada na Equação 15.

$$K = A + \frac{B}{\sqrt{N}} \quad 15$$

Em que os valores de A e B são os coeficientes que representam diferentes níveis de uso da água entre usos ao ar livre e usos internos das residências. Ambos podem ser calculados utilizando equações adicionais fornecidos em Zhang (2005). N representa o número de residências.

Se o número de habitantes N não é conhecido, uma ocupação média é assumida por Zhang (2005): valor médio de 2,7 pessoas por residência, para derivar as seguintes equações numeradas de 16 a 18:

- Fórmula de PRP- GUMBEL METHOD (para 100% de consumo interno):

$$K = 2,5 + \frac{2,18}{\sqrt{E/1000}} \quad 16$$

- Fórmula de PRP- GUMBEL METHOD (para 90% de consumo interno):

$$K = 3,02 + \frac{2,28}{\sqrt{E/1000}} \quad 17$$

- Fórmula de PRP- GUMBEL METHOD (para 66% de consumo interno):

$$K = 4,17 + \frac{2,46}{\sqrt{E/1000}} \quad 18$$

Zhang (2005) comparou o Método PRP-Gumbel de cálculo dos coeficientes com métodos existentes, incluindo o descrito pela American Water Works Association (AWWA), resultando na equação utilizada para calcular o coeficiente de variação de vazão máxima horária.

-Equação descrita para 90% do consumo interno às residências.

$$K = \left(\frac{1095,31}{q} \right) E^{-0,4} \quad 19$$

Onde:

$E =$ População em milhares de habitantes

$q =$ representa a demanda média per capita anual por 1000 pessoas (l/min)

O modelo AWWA foi desenvolvido especificamente para pequenas comunidades e bairros individuais, assim tem coerência de resultados para populações entre 650 e 1.675 habitantes.

A DVGW (Associação Técnica e Científica Alemã para Gás e Água) também estabeleceu um método para o cálculo dos coeficientes de vazão Diao et. al. (2010), na equação 20.

- DVGW Mutschmann and Stimmelmyer (2007):

$$K = -0,75 \cdot \ln E + 11,679 \quad 20$$

-DVGW – (2007):

$$K = 18,1 \cdot E^{-0,1682} \quad 21$$

A SABESP (1989) recomenda o valor de vazão média igual ou inferior a 75l/s, e nestes casos, assume-se o valor de $K=1,80$ ($K = K1 \cdot K2$), ou seja, $K1 = 1,20$ e $K2 = 1,50$.

Entretanto, para vazões médias superiores a 75l/s, recomenda-se segundo a SABESP a equação 22:

- SABESP (1989)

$$K = 1,20 + \frac{17,485}{Qm^{0,5090}} \quad 22$$

Onde:

$Q_m = \text{Somatória das vazões médias de uso residencial, comercial e público. (l/s)}$

A tabela 6 foi construída para apresentar sucintamente os métodos de cálculo do coeficiente de pico de vazão K.

Tabela 6: Resumo dos métodos para cálculo de K;

Método	Equação	Limites
Fórmula Harmon (1918)	$K = \frac{18 + \sqrt{\frac{E}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{E}{1000}}}$	$1,000 \leq E \leq 1,000,000$
PRP-Gumbel (2005) (100% consumo interno)	$K = 2,5 + \frac{2,18}{\sqrt{E/1000}}$	$1,000 \leq E \leq 25,000$
AWWA (2004)	$K = \left(\frac{1095,31}{q}\right) E^{-0,4}$	$650 \leq E \leq 1,675$
DVGW (2007)	$K = 18,1 \cdot E^{-0,1682}$	Desconhecido
SABESP (1989)	$K = 1,20 + \frac{17,485}{Q_m^{0,5090}}$	$Q_m > 751 \text{ l/s}$
SABESP (1989)	$K = 1,8$	$Q_m < 751 \text{ l/s}$

Verificando o histórico das curvas de consumo dos setores de abastecimento, nota-se que vários estudos e também a norma ABNT NBR 9649:1986, recomendam os valores para o K1 de 1,10 a 1,50 e para o K2 de 1,50 a 3,00.

Os valores para o coeficiente de pico recomendados no estudo de Bose et al 2012 estão no intervalo de 5 a 6. Esses valores são relativamente altos quando comparados com os valores de K1 e K2, são justificáveis, pois foi avaliado na Índia, país onde o abastecimento se dá de forma intermitente. Fazendo com que não seja relevante em comparações com os resultados aqui discutidos.

No Canadá, o relatório do Ministry of the Environment (Ontario Canada) MOE 2008, mostra que o valor medido e adotado como fator de pico pode variar entre 1,5 e 4,0. Tais valores baseiam-se no tamanho e características da comunidade em estudo.

Dentro desta contextualização o presente trabalho irá analisar uma série de dados recentemente coletados para verificar se os números do coeficiente de variação de vazão recomendados para projetos são válidos para a região em estudo.

Além de entender os picos de consumo para as vazões de abastecimento e de produção e água, é de suma importância traçar uma curva média que represente uma variação do consumo na maioria dos dias do ano.

A obtenção de tais curvas médias adimensionais é feita dividindo-se a vazão consumida em cada hora pelo consumo médio do setor. Traça-se, assim, um comportamento típico para o setor analisado, contexto que revela informações tais como: horário da máxima vazão e da mínima vazão no intervalo de tempo em que se obtém um comportamento acima da média ou abaixo dela.

Os dados de vazão são obtidos por meio de um medidor de vazão eletromagnético que produz uma correlação de velocidade da água com defasagem de sinal eletromagnético emitido no interior da tubulação e, a partir disso, registra leituras de vazão que são transmitidas em tempo real por um CLP para um servidor que captura esses dados.

Para a leitura e a extração dos dados armazenados nos bancos de dados foi empregado um aplicativo denominado “Proficy I historian Excel Data Acquisition And Analysis Tool”, Versão 5.5.121.0, um suplemento do MS Excel2010®, fornecido pela mesma empresa detentora das licenças do software SCADA, adotado na unidade em questão. Os dados são exportados em uma planilha do MSEXcel2010®. A partir daí, o tratamento desses foi se programando segundo a lógica usada nas planilhas.

Para início dos trabalhos, uma tabela foi construída, e, nela, cada linha representa os valores de vazão registrados em intervalos de 20 minutos, como ilustra a tabela 7; e o gráfico parcial alcançado dessa base de dados está representado na figura 2.

Tabela 7: Dados resumidos da série temporal da vazão – Setor Ana Dorothéa - Zona Baixa

<i>TEMPO</i>	<i>VAZÃO (L/S)</i>
04-mai-12 00:00: 00	15,78264513
04-mai-12 00:20: 00	15,65745373
04-mai-12 00:40: 00	14,61928267
04-mai-12 01:00: 00	14,31943436
04-mai-12 01:20: 00	14,20340333
04-mai-12 01:40: 00	12,82691045
04-mai-12 02:00: 00	13,28920193
04-mai-12 02:20: 00	12,98630028
04-mai-12 02:40: 00	13,2861486
04-mai-12 03:00: 00	13,26599588
04-mai-12 03:20: 00	13,29042335
04-mai-12 03:40: 00	13,09317083
04-mai-12 04:00: 00	13,25683541
04-mai-12 04:20: 00	13,30569062
04-mai-12 04:40: 00	12,72858958
04-mai-12 05:00: 00	13,98966208
04-mai-12 05:20: 00	13,25439286
04-mai-12 05:40: 00	14,59546561
04-mai-12 06:00: 00	16,16860013
04-mai-12 06:20: 00	18,67425699

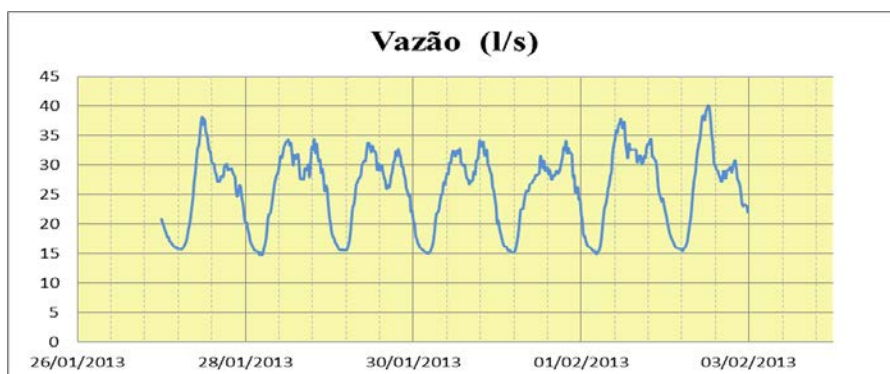


Figura 2: Gráfico da série temporal de vazão para o setor Ana Dorothéa – Zona Baixa

Com a tabela devidamente preenchida passou-se à totalização dos consumos por hora e por dia. Analisando os totais, pode-se identificar o dia de maior consumo um ano, e compará-lo com a média da vazão gerada neste mesmo intervalo de tempo, obtendo-se o fator K1. Esse número é indicado por diversas literaturas, conforme

já citado no item anterior deste trabalho, para o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água em pontos específicos, tais como sistemas de produção de água bruta e de adução de água tratada para abastecer grandes reservatórios.

Dentro do dia de maior volume consumido, tem-se uma hora de maior consumo e, da mesma forma, obtém-se a o fator K2, que será calculado comparando-se o valor da vazão de pico, na hora de maior consumo, com o valor da vazão média do respectivo dia.

Em contraponto aos valores gerados, que são valores de pico de consumo, necessários para alimentar os projetos da infraestrutura, faz-se necessário, ainda, identificar o comportamento da curva de consumo que mais se repete ao longo do ano, pois é com este cenário que convive o setor operacional. Essas informações podem ajudar os operadores dos sistemas de abastecimento de água, pois ao calibrar o sistema seguindo essa média, ele cria vários pontos de avaliação de níveis de reservação e de vazões máximas diárias e mínimas contabilizadas em horários noturnos. Todos esses números, quando se apresentam fora de uma média de comportamento, devem gerar um sinal de alerta, pois são indícios de problemas a serem investigados, como por exemplo, vazamentos.

RESULTADOS OBTIDOS

Para a obtenção dos valores de pico de demanda, conforme sugerido pela ABNT NBR 9649:1986, e ainda em Tsutiya (2006), foi necessário compilar os dados de vazão no intervalo de tempo de uma hora, e também no intervalo de tempo de um dia, através da contabilização da média dos valores obtidos de 20 em 20 minutos registrados no banco de dados.

Na tabela 8 são mostrados os valores obtidos no trabalho dos dados.

Tabela 8: Resultados obtidos para os valores de K1 e K2

<i>Periodo</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>ABNT NBR 9649:1986</i>
Q média ano (l/s)	27,89	30,08	
Q max diária (l/s)	33,13	36,69	
K1	1,18	1,22	1,20
Q média do dia de maior consumo (l/s)	31,44	36,15	
Q max horária (l/s)	50,84	62,48	
K2	1,62	1,73	1,50

Nota-se que os valores obtidos para o K1 foram bem próximos dos sugeridos da Norma, que é 1,20, sendo praticamente igual ao sugerido pela ABNT NBR 9649:1986 e também por Tsutiya (2006).

Já, para o K2, pico de demanda horário, chegou-se aos valores de 1,62 para 2013 e 1,72 em 2014, que em média estão 11% acima do valor sugerido pela ABNT NBR 9649:1986.

Os valores obtidos para o coeficiente de pico de vazão, por metodologias empíricas sugeridas internacionalmente, são listados na tabela 9:

Tabela 9: Resultados obtidos para os valores de K1 e K

	<i>Valores obtidos empiricamente</i>	
	K1	K
DVGW – Mutschmann and Stimmelmyer (2007)	2,01	
DVGW – (2007)	1,89	
Fórmula Goodric	1,80	
Martinez-Solano et al. (2008)	2,32	
Tricarico et al. (2007)	1,59	
CPHEEO (1991)	1,20	
Fórmula de HARMON		2,76
AWWA (2004)		2,43
Fórmula de PRP- GUMBEL METHOD (para 90% de consumo interno)		3,60
DVGW – (2007)		3,57
Valor Médio:	1,76	3,09

Os valores de K1, em média, mostraram-se aproximadamente 44% maiores do que os determinados no experimento; para os valores de K, sendo $K=K1 \times K2$, os resultados chegaram, em média, a 54% maiores de que os obtidos.

Os métodos empiricos usam um histórico de dados de Qp vazão máxima e de população, o que permite um valor do coeficiente de variação do pico de demanda variavel e proporcional à variação da população.

Em contraponto aos valores gerados, que são valores de pico de consumo, necessários para alimentar os projetos da infraestrutura, faz-se necessário, ainda, identificar o comportamento da curva de consumo que mais se repete ao longo do ano, pois é com este cenário que convive o setor operacional. Essas informações podem ajudar os operadores dos sistemas de abastecimento de água, pois ao calibrar o sistema seguindo essa média, ele cria vários pontos de avaliação de níveis de reservação e de vazões máximas diárias e mínimas contabilizadas em horários noturnos. Todos esses números, quando se apresentam fora de uma média de comportamento, devem gerar um sinal de alerta, pois são indícios de problemas a serem investigados, como por exemplo, vazamentos.

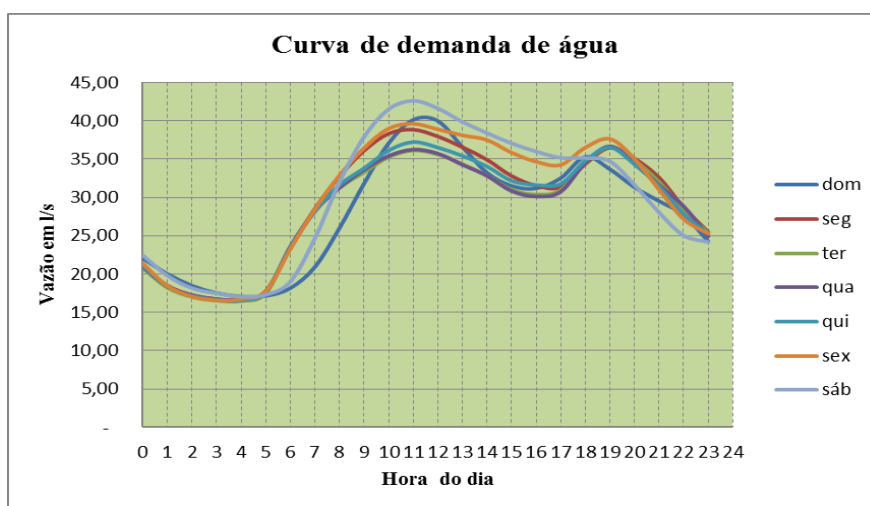


Figura 3: Curva de demanda de água para o setor Ana Dorothéa - Zona Baixa, separada por dia da semana.

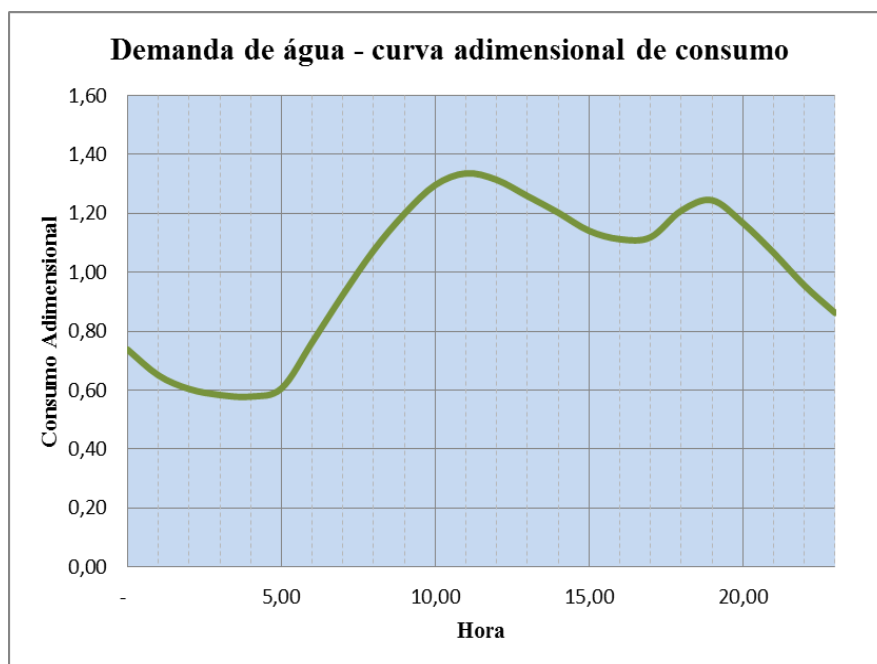


Figura 4: Gráfico adimensional de consumo do Setor Ana Dorothéa – Franca

Para ilustrar o comportamento da variação do consumo de água usaram-se os gráficos formatados e mostrados nas figuras 3 e 4, o primeiro mostra o comportamento médio da série de dados estudados, mas, separando-se os dias da semana, assim se identifica como o comportamento é diferente, principalmente nos dias de sábado e domingo, que mostram a influência dos hábitos comportamentais da população, no estudo das curvas de consumo. Já, no gráfico apresentado pela figura 4, fez-se uma representação da curva adimensional média dos valores adquiridos pelo estudo; essa representação é muito útil, pois é usada na simulação e no dimensionamento de sistemas de abastecimento quando se usam modelos hidráulicos computacionais.

CONCLUSÃO

O setor de abastecimento escolhido é denominado Ana Dorothéa – Zona Baixa, na cidade de Franca-SP, e possui aproximadamente 6000 ligações. Neste estudo ficaram registradas as vazões, em l/s, de saída para abastecimento por uma rede de DN400mm, durante um período de tempo que se iniciou em maio de 2012 e foi até maio de 2015. Formatou-se um banco de dados com valores de vazão registrados a cada 20 minutos. Pequenos erros de preenchimento, originados por falhas de transmissão, geraram campos com valores incorretos; assim, essas falhas de preenchimento foram corrigidas usando-se uma série de Fourier.

Os valores indicados pelas normas técnicas para o dimensionamento dos sistemas de abastecimento de água empregam o pico de consumo, denotados pelos coeficientes K1, coeficiente de vazão máxima diária, e o K2, coeficiente de máxima vazão horária. Segundo a ABNT NBR 9649(1986), na falta de valores específicos para a localidade, devem-se empregar os valores de 1,2 para K1 e de 1,5 para K2, que multiplicam a média de consumo. Neste trabalho, obtiveram-se, para o setor Ana Dorothéa - Zona Baixa, na cidade de Franca-SP, os valores para K1 igual a 1,20 e K2 igual a 1,67 (média 2013 e 2014), valores coerentes com o recomendado por norma.

A abordagem dos picos de consumo internacionalmente usa equações empíricas para o cálculo dos valores extremos, K1 e K2; assim sendo, aplicaram-se os dados do setor Ana Dorothéa - Zona Baixa, neste contexto, chegando-se a valores bastante discrepantes dos usados e recomendados por normas brasileiras. A média dos valores de K1 chegou a 1,76, aproximadamente 47% maiores do que os determinados no experimento, para os valores de K o valor médio é 3,09, chegando-se a 54% maior do que o obtido. Essa diferença nos valores pode ser atribuída a dois fatores, o primeiro é que as equações empíricas são deduzidas a partir de dados de pequenas comunidades, cuja população varia entre 600 a 2000 habitantes; e o segundo fator, não menos

importante, é que esse equacionamento utiliza dados de vazão micromedidos que, historicamente, estão sucessíveis a grandes oscilações.

Essa metodologia é aplicada no dimensionamento de tubulações e usa os valores extremos para a vazão. No que tange a esse procedimento de projeto, essas vazões não são recorrentes no dia a dia do sistema de abastecimento de água, estabelecendo-se, assim, um entendimento de que o regime de trabalho das tubulações está, na maioria do tempo, abaixo dos valores adotados para dimensionamento, evidenciando-se a importância do estudo e a compreensão do comportamento da demanda de água para os sistemas de abastecimento de água. O comportamento da demanda de água foi estudado ao longo de dois anos completos, 2013 e 2014, extraídos do banco de dados do setor Ana Dorothéa – Zona Baixa, Franca-SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - modelo

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). NBR 5626—Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006). NBR 9646— Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1992). NBR 12211 – Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água - Procedimento. 15p, Rio de Janeiro.
4. AZEVEDO NETTO, J.M. Manual de Hidráulica. 8ª ed., Edgard Blücher, São Paulo, 1998.
5. BOSE, A.R. Neelakantan , T.R, Mariappan,. Peak factor in the design of water distribution- an analysis. International journal of civil engineering and technology (ijciet). Volume 3, Issue 2, July- December (2012), pp. 123-129
6. BOUGADIS, J.; ADAMOWSKI, K.; DIDUCH, R. Short-Term Municipal Water Demand Forecasting, 2003.
7. BRENTAN, B. M.; Ribeiro; L.C.L.J., Luvizotto Jr.; E., Mendonça; D.C. and GUIDI, J. M. 2014. Synthetic Reconstruction of Water Demand Time Series for Real Time Demand Forecasting. Journal of Water Resource and Protection, 6, 1437-1443. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.615132>
8. CPHEEO, 1991, Manual on Water Supply and Treatment, Ministry of Urban development, Government of India.
9. DIAO, K., Barjenbruch, M. & Bracklow, U. 2010. Study on the impacts of peaking factors on a water distribution system in Germany. Water Science & Technology: Water Supply, 10(2), 165-172.
10. DIAO, K., Barjenbruch, M. and Bracklow, U. (2010) Study on the impacts of peaking factors on a water distribution system in Germany, Water Science and Technology: Water Supply, 10(2), pp. 165-172.
11. HANSEN, R. D.; NARAYANAN, R. A Monthly Time Series Model of Municipal Water Demand, 1981.
12. NARCHI, H. A demanda doméstica de água, São Paulo, Revista DAE, Vol. 49, nº154, Jan/Mar, 1989.
13. SPOLAOR, A. S. Automação nos sistemas de abastecimento de água. Caso do controle da reservação de distribuição. Dissertação de Mestrado - FEC Unicamp - Campinas, SP, 2011.
14. TRAUTWEIN, B. J.; Avaliação de Métodos para Revisão de Consumo de Água para Curtíssimo Prazo: Um Estudo de Caso em Empresa de Saneamento, Pontifícia Universidade do Paraná, Curitiba, 2004.
15. TRICARICO, C., DE MARINIS, G., GARGANO, R. & LEOPARDI, A. 2007. Peak Residential Water Demand. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management, 160(2).
16. TSUTIYA, M. T. Abastecimento De Água. 4ª ed., São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, 2006, XVIII – 643 p.
17. TSUTIYA, M.T. & SOBRINHO, P.A. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. 1ª ed., USP, São Paulo, 1999.
18. VON SPERLING, M. Introdução À Qualidade Das Águas E Ao Tratamento Dos Esgotos Vol.1. Belo Horizonte, UFMG, 1995.
19. ZHANG, X. Y, 2005, Estimating peak factors with Poisson Rectangular Pulse Model and Extreme value theory, Master of Science, University of Cincinnati, United States.