

ANÁLISE DAS VAZÕES MÁXIMAS NA ÁREA URBANA DE SÃO MIGUEL DO OESTE POR MEIO DO MÉTODO RACIONAL E COMPARAÇÃO COM VALORES OBSERVADOS EM CAMPO

Luiz Angelo Coletto¹
André Tiago dos Santos²

RESUMO

Neste trabalho testou-se a viabilidade do método racional (MR) para microdrenagem urbana na região de São Miguel do Oeste, SC, pois a este muitas vezes superestima as vazões, o que acarreta superdimensionamento de sistemas. Através de coleta de dados e medições feitas em campo, elaborou-se a curva-chave do curso de água, suas respectivas vazões e a classificação da microbacia. Feita uma análise de eficiência estatística comparativa entre os valores observados e os calculados pelo método, chegou-se a uma conclusão de que o método racional não se adapta aos eventos analisados na respectiva microbacia, pois apresentou vazões de pico maiores que as observadas.

Palavras-chave: Método racional. Área urbana. Vazões máximas.

1 INTRODUÇÃO

O método racional (MR) estuda a água que é escoada após a precipitação e estima um escoamento a partir de um evento específico de precipitação, que será posto a teste neste trabalho. No entanto, ele superestima as vazões, o que tem como consequência um superdimensionamento em termos de obras de drenagem urbana. Isso se deve ao fato de vários fatores vinculados ao método. Ele não considera em sua equação a umidade do solo, além de estimar a duração do evento pluviométrico como o mesmo período do tempo de concentração da bacia e a distribuição constante das chuvas.

Os métodos indiretos alternativos ao monitoramento clássico são utilizados em justificativa ao problema de o processo de medição das variáveis hidrológicas ser demorado e não recomendado do ponto de vista econômico, o que pode vir a gerar superdimensionamento de obras decorrente de custos elevados, ou até mesmo o subdimensionamento delas em casos atípicos.

Assim, o presente trabalho foi feito para tentar verificar a viabilidade do método, orientando os engenheiros de São Miguel do Oeste quando executarem obras de drenagem na região. O objetivo foi comparar as vazões máximas produzidas pela área urbana de São Miguel do Oeste após eventos de chuva com valores modelados pelo método racional.

2 AVALIAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL

O método racional (MR) serve para estimar a vazão de projeto de uma pequena bacia hidrográfica. Nesses casos, a vazão máxima é suficiente para o projeto da estrutura em questão, não sendo necessário um hidrograma completo para ela (THOMPSON, 2006, p. 1). É um método simples, no qual quando é possível a sua utilização, economiza-se tempo para a elaboração do projeto.

¹ Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina de São Miguel do Oeste; luiz_lp1@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria; Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Santa Maria; Professor nos Cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina; andre.dossantos@unoesc.edu.br

Apesar disso, Porto (1995 apud FRANCO, 2004, p. 47) diz que é possível também determinar o hidrograma, desde que se admita uma forma triangular para ele e que o coeficiente *C* (coeficiente *Runoff* que transforma a precipitação em escoamento superficial) represente a transformação de chuva total em chuva efetiva (parcela de chuva que se transforma em escoamento superficial).

Segundo Tucci (2009, p. 539), a equação da vazão máxima para o método racional ocorre pela Equação 1:

$$Q_{max} = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (1)$$

Sendo:

I = Intensidade de precipitação (mm/h);

A = Área da bacia (km²);

*Q*_{max} = vazão máxima do evento de precipitação (m³/s);

C = Coeficiente de escoamento *Runoff*.

Para Thompson (2006, p. 4), o tempo de concentração (*t_c*) de uma bacia é definido como o tempo levado para uma parcela de escoamento percorrer do ponto mais distante do exutório da bacia até ele, ou seja, o ponto onde ocorre todo o escoamento superficial gerado na bacia hidrográfica. Dessa forma, o tempo de concentração tem relação direta com o uso e caracterização do solo da bacia, pois quanto mais impermeável for o solo, menor é o *t_c* da bacia. Consequentemente, em uma relação direta, com um *t_c* baixo a água escoar ao invés de infiltrar no solo, influenciando também no coeficiente *C*.

De acordo com Silveira (2005, p. 20), a fórmula que mais se encaixa para bacias urbanas nesse caso é a de George Ribeiro, que pode ser usada em bacias de até 6 km².

A fórmula foi previamente testada e apresentou erro médio de apenas 4%, com erro padrão de 26%, sendo o menor das fórmulas testadas em bacias urbanas. A Equação 2 traz a fórmula de George Ribeiro para o tempo de concentração:

$$T_c = 0,222 \cdot (1,05 - 0,2p)^{-1} \cdot L \cdot S^{-0,04} \quad (2)$$

Sendo:

T_c = tempo de concentração da bacia;

L = comprimento do coletor pluvial em km;

S = sua declividade em m/m;

p = a fração de área com mata, variando entre 0 e 1.

Segundo Carvalho e Silva (2008, p. 3), o coeficiente *Runoff* (*C*) ou coeficiente de escoamento superficial se define pela razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado para uma determinada área, sendo adimensional. O *Runoff* pode ser relativo a uma chuva isolada ou a um determinado tempo em que ocorreram vários eventos de chuva. A Equação 3 traz a fórmula para cálculo do *C*:

$$C = \frac{V_{escoado}}{V_{precipitado}} \quad (3)$$

A intensidade de precipitação, segundo Thompson (2006, p. 3) é calculada em razão da curva intensidade-descarga-frequência (IDF), que é determinada por meio da análise de chuvas de um local em particular ou por uso de padrões meteorológicos aproximados. A curva IDF é descrita pela Equação 4:

$$i = \frac{b}{(t + d)^e} \quad (4)$$

Sendo:

i = intensidade de chuva (mm/h);

t_c = tempo de concentração (min);

b , d , e = parâmetros variáveis de acordo com o período de retorno da chuva.

Em razão da escassez de dados para uma IDF própria de São Miguel do Oeste, Martinotto et al. (2016, p. 2) desenvolveram uma curva IDF utilizando dados de São José do Cedro, que se situa na mesma região e faz parte da mesma bacia hidrográfica de São Miguel do Oeste. Para Martinotto et al. (2016, p. 6), a curva IDF para a região é a seguinte, mostrada na Equação 5:

$$I = 38,158 \cdot \ln(\text{Tr}) + 78,33 \quad (5)$$

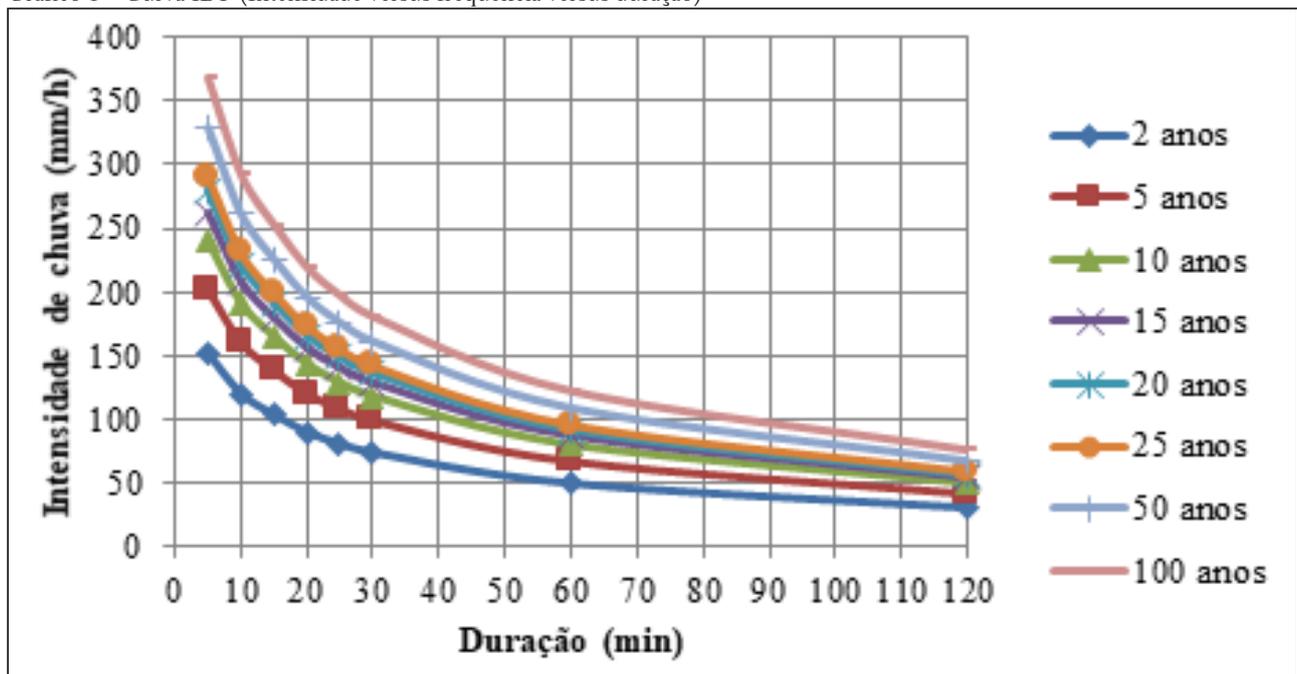
Sendo:

Tr = Tempo de retorno em anos;

I = intensidade em mm/h.

Com essa equação, Martinotto et al. (2016, p. 7) geraram um gráfico com curvas IDF em decorrência da intensidade de precipitação e do tempo de retorno para estimar as chuvas:

Gráfico 1 – Curva IDF (Intensidade versus frequência versus duração)



Fonte: adaptado de Martinotto et al. (2016, p. 7).

Segundo Tomaz (2013, p. 5), o Tempo de Retorno para cálculo de drenagem em dimensionamento de bueiros ou rios é 100 anos, sendo esse o período de recorrência utilizado neste trabalho.

De acordo com Marcellini et al. (2012, p. 2), o método racional pode ser utilizado em bacias hidrográficas cuja área seja menor que 2 km². Franco (2004, p. 45) estabelece que o método pode ser utilizado, desde que:

- a) os efeitos do armazenamento superficial na bacia não influenciem na dinâmica da propagação da cheia;
- b) a intensidade da chuva permaneça constante até que a duração de precipitação atinja o tempo de concentração da bacia;
- c) a intensidade de chuva diminua com o aumento de duração da chuva;
- d) a contribuição subterrânea na vazão de pico é desprezível.

2.1 O COEFICIENTE NASH-SUTCLIFFE

Para Machado e Vetorazzi (2003, apud Baltokoski et al., 2010, p. 5), o critério *Nash-Sutcliffe* é um dos mais importantes para avaliar o modelo hidrológico, sendo denominado Coeficiente de Eficiência *Nash-Sutcliffe* (COE). Esse coeficiente varia desde infinito negativo até o valor de 1,0, sendo 1,0 o valor de perfeito ajuste.

De acordo com Silva et al. (2008 apud BALTOKOSKI et al., 2010, p. 5), o valor de COE é considerado aceitável quando se situar entre 0,36 e 0,75. Valores abaixo de 0,36 são considerados inaceitáveis enquanto valores acima de 0,75 são considerados bons. O COE é calculado pela Equação 6:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_m - \overline{E_s})^2} \quad (6)$$

Sendo:

Em = evento observado;

Es = evento simulado;

n = número de eventos.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A coleta de dados pluviométricos foi feita através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), na estação de São Miguel do Oeste. Quanto aos dados para o software de geoprocessamento, estes foram retirados do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) para a região Oeste do Estado.

3.2 COLETA DE DADOS DE NÍVEL

As medidas de nível foram realizadas com o auxílio de dois aparelhos: a régua limnimétrica e o sensor de nível.

3.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO

Para a medição de vazão foi utilizado o molinete hidrométrico. A área de influência A_i de uma vertical (ou perfil de velocidades V_i) é determinada pela soma de duas áreas trapezoidais, conforme a Equação 7:

$$A_i = \frac{\left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2} + P_i \right)}{2} \cdot \frac{d_i - d_{i-1}}{2} + \frac{\left(P_i + \frac{P_{i+1} + P_i}{2} \right)}{2} \cdot \frac{d_{i+1} - d_i}{2} \quad (7)$$

Sendo:

I = vertical que está sendo analisada;

p = sua respectiva profundidade e d a distância da vertical até a margem.

O método de medição utilizado foi a vau, aplicável para medições cujo nível de água não ultrapasse 1,20 m e possua velocidades compatíveis com a segurança do operador. Prende-se o molinete em uma haste e deve-se tomar o cuidado para mantê-lo a uma distância mínima de 20 cm do leito do rio (PORTO; SILVA; ZAHED FILHO, 2001, p. 17).

4 RESULTADOS

4.1 A MICROBACIA DE SÃO MIGUEL DO OESTE

Para a delimitação da bacia, utilizou-se como ferramenta de auxílio softwares de geoprocessamento. A bacia possui uma área total de 1,4828 km². Quanto ao curso de água, possui um comprimento de pouco mais de 1,200 m, possuindo desnível de aproximadamente 30 m. Assim, o curso de água apresenta uma declividade de cerca de 2,5%.

Para a classificação da bacia, esta foi feita de duas maneiras. Uma por meio de software de geoprocessamento, em que foram obtidas as porcentagens de utilização de superfície para cada classe e seu respectivo valor de C, totalizando um valor de 0,7451. A Tabela 1 traz o percentual de utilização de solo de cada classe:

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo da microbacia de São Miguel do Oeste

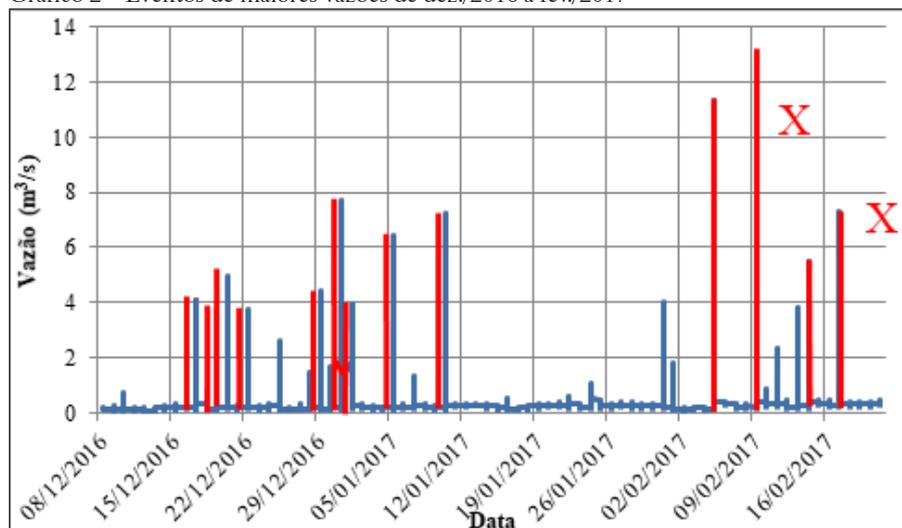
Classe	Porcentagem de área utilizada (%)	C correspondente
Área construída	55,05	0,9
Vegetação rasteira	6,80	0,55
Vegetação grande porte	27,39	0,5
Solo exposto	10,75	0,7
C microbacia		0,745

Fonte: os autores.

4.2 ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA E MODELAGEM DAS VAZÕES

Para a análise e modelagem das características pluviométricas da bacia, foram pegos os dados do sensor de nível previamente instalado no rio e adotou-se como parâmetro os 10 maiores eventos para cálculo. Por meio da curva-chave calculada, foi possível determinar a vazão para cada registro de nível no rio. O Gráfico 2 mostra em vermelho os eventos de maiores vazões no respectivo período:

Gráfico 2 – Eventos de maiores vazões de dez./2016 a fev./2017



Fonte: os autores.

Os eventos selecionados estão marcados em vermelho, no entanto, os dois eventos marcados com X foram descartados, pois apresentaram inconsistências de cálculo (por exemplo, escoou mais água do que precipitou).

Dessa forma, adotou-se a vazão de pico do evento como parâmetro e calculou-se a intensidade pluviométrica necessária para gerar tal vazão, utilizando o C do respectivo evento, sendo esta a adotada para a aplicação na equação do método racional.

Com a intensidade pluviométrica, aplicou-se a mesma vazão, juntamente com o C classificado da bacia e a área desta na Equação 1, resultando na vazão de pico estimada por ele. A Tabela 2 traz as vazões de pico calculadas pelo MR:

Tabela 2 – Relação entre o observado e o método racional

Evento	C calculado	Tc (min)	QPico (m ³ /s)	Intensidade (mm/h)	Tr (anos)	Qpico calculada (m ³ /s)
1	0,303	33	4,105	32,925	2	10,105
2	0,430	55	3,723	21,012	2	6,449
3	0,417	89	4,969	28,912	2	8,874
4	0,421	37	3,730	21,500	2	6,599
5	0,380	60	4,413	28,206	2	8,657
6	0,406	47,5	7,685	45,981	2	14,112
7	0,287	33	6,443	54,565	2	16,747
8	0,339	40	7,205	51,555	2	15,823
9	0,337	31	11,333	81,601	2	25,045
10	0,294	50	5,487	45,325	2	13,911

Fonte: os autores.

Dessa forma, foi possível estabelecer uma relação entre a vazão calculada e a vazão observada. Com base nos dados encontrados na bacia urbana de São Miguel do Oeste, verificou-se que há uma similaridade com os valores encontrados por Brodie (2013).

Nos resultados apresentados por Brodie (2013), em bacias urbanas de até 6 km² na região de *Towoomba* (Austrália), as vazões foram superestimadas em uma razão de 2,7 vezes, o que está próximo da superestimativa de São Miguel do Oeste (2,3 vezes).

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA NASH-SUTCLIFFE

Na Tabela 2 é possível observar, por meio da equação, que o método racional superestima cerca de 2,3 vezes a vazão do rio. No entanto, para comprovar tal fato, foi realizada a análise estatística *Nash-Sutcliffe*, aplicando os valores de vazão observada para Em (Evento medido) e vazão calculada para Es (Evento estimado). O respectivo resultado para a análise é -0.1254, o que representa a inconsistência do método, pois está abaixo do valor 0,36 referido por Silva et al. (2008 apud BALTOKOSKI et al., 2010, p. 5). A Tabela 3 mostra a análise estatística do caso:

Tabela 3 – Análise estatística Nash-Sutcliffe

Qobs (Em)	Qcalc (Es)	(Em-Es) ²	(Em-Esmed) ²	COE
	4,11	10,11	36,00	72,71
	3,72	6,45	7,43	79,38
	4,97	8,87	15,25	58,72
	3,73	6,60	8,23	79,26
	4,41	8,66	18,01	67,56
	7,69	14,11	41,31	24,47
	6,44	16,75	106,17	38,30
	7,20	15,82	74,28	29,46
	11,33	25,04	188,00	1,69
	5,49	13,91	70,97	51,06
		SOMA	565,65	502,60
	Esmmed	- 12,63		

Fonte: os autores.

A análise necessita de um resultado acima de 0,75 para se considerar bom e entre 0,75 e 0,36 para se considerar aceitável (SILVA et al., 2008 apud BALTOKOSKI et al., 2010, p. 5). No entanto, os resultados apresentados para o método racional foram de -0,13 (aproximadamente), o que significa que o método é inadequado para os eventos estudados.

5 CONCLUSÃO

O método racional (MR) não se mostrou adequado para os eventos analisados quando comparado com as vazões observadas em campo. A correlação das vazões observadas com as calculadas demonstrou uma superestimativa média de 2,3 vezes. Isso acarreta uma obra e orçamento maiores na mesma proporção, representando gastos desnecessários.

Em razão de se atribuir um valor de C baseado em referências bibliográficas para cada uso de solo da bacia, houve uma discrepância nesse valor. O coeficiente C mensurado de cada evento apresentou um escoamento máximo de apenas 42,1%, ou seja, mais da metade da água precipitada infiltra no solo. Por meio dos cálculos de uso do solo da bacia estudada, obteve-se valores de C de cerca de 74,5%, sendo quase o dobro dos valores recomendados pela literatura.

A partir da análise de erro, observou-se que o modelo foi ineficiente para os eventos testados. Dessa forma, o MR não representou as vazões produzidas pela área urbana em estudo.

Em decorrência disso, recomenda-se continuar a avaliação do método a partir de um número maior de eventos de precipitação, bem como a comparação com outros métodos, como o racional modificado e o SCS.

Maximum flows analysis in the urban area of São Miguel do Oeste through the rational method and observed field values comparison

Abstract

This work tests the rational method (RM) viability for urban micro drainage in São Miguel do Oeste, SC region, because often it overestimates the flows, which entails in oversized systems. Through data collection and field measurements, the water course's rating curve has been made, with its respective flows and watershed classification. Based in a comparative statistical efficiency analysis among the observed and the calculated values, it concluded that the rational method does not fit to the analyzed events in the respective watershed, because it presented peak flows higher than the observed ones.

Keywords: Rational method. Urban area. Maximum flows.

REFERÊNCIAS

BALTOKOSKI, V. et al. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Pato Branco: UTFPR, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n1/a2_6v34n1>. Acesso em: 11 maio 2017.

BRODIE, I. M. Rational Monte Carlo method for flood frequency analysis in urban catchments. **Journal of Hydrology**, Towoomba, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413000966>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**: Capítulo 07. Seropédica: UFRRJ, 2008. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. Campinas: Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em: <http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/085-Edu_Jose_Franco.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.

MARCELLINI, S. S. et al. **Conceitos teóricos – Vazão de projeto**. São Paulo: Fundo Estadual de Recursos Hídricos, 2012. Disponível em: <http://www.dace.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/vazaoproj.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.

MARTINOTTO; T. T. et al. Análise hidrológica da região de São Miguel do Oeste para obtenção de uma equação de chuvas intensas (IDF). **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba: Ed. Unoesc, v. 7, n. 2, p. 145-153, 2016. Disponível em: <<https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/11993>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

PORTO, R. L. L.; SILVA, R. M. da; ZAHED FILHO; K. **Medição de vazão e curva-chave**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidrológicas – UFRGS, 2005.

THOMPSON, D. B. **The rational Method**. Lubbock: Universidade de Tecnologia do Texas, 2006. Disponível em: <<http://drdbthompson.net/writings/rational.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

TOMAZ, P. **Capítulo 02: Método Racional**. [S.l.]: 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.