

ANAIIS

Volume 01

50SSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis



Porto Alegre/RS, 2019



Copyright © 2019, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2019 por Editora GFM.

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Fernando Periotto

Diagramação: Espaço Histórico e Ambiental

Revisão Geral: Angela Gunther

Capa: Espaço Histórico e Ambiental

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Fernando Periotto
(Organizadores)

ANAIS do 5º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis - Vol. 1 / Cristiano Poletto;
Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Fernando Periotto (Organizadores) – Porto
Alegre, RS: Editora GFM, 2019.

1.537p.: il.; 29,7 cm

ISBN 978-85-6030-896-5

***É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem
autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.***



5SSS207

VELOCIDADE MÉDIA DOS RIOS MONTANHOSOS DA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL

Fernanda Dagostin Szymanski¹, Masato Kobiyama², Arieli Laurindo Belletini³, Sofia Melo Vasconcellos⁴, Felipe Maciel Paulo Mamédio⁵, Maurício Andrades Paixão⁶, Cláudia Weber Corseuil⁷

1 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e-mail: f.dagostin@posgrad.ufsc.br; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: kobiyama@ufrgs.br; 3 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e-mail: arielibelletini@hotmail.com; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: sofia.m.vasconcellos1009@gmail.com; 5 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: fmp_mamedio@hotmail.com; 6 Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e-mail: mauricio.paixao@ufrgs.br; 7 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e-mail: claudia.weber@ufsc.br

Palavras-chave: bacia hidrográfica montanhosa, tempo de concentração, velocidade da água do rio.

RESUMO

As regiões montanhosas possuem características hidrogeomorfológicas que favorecem a ocorrência de inundações bruscas. Essas regiões têm sido cada vez mais procuradas para o turismo no Brasil. No entanto, essas atividades são realizadas sem o conhecimento dos perigos potenciais desses ambientes, principalmente aqueles relacionados aos aspectos hidrogeomorfológicos (alta declividade, inundações bruscas, movimentos de massa e outros). Sendo, portanto, fundamental compreender a resposta das bacias montanhosas a eventos de precipitação porque, dependendo de sua intensidade, podem gerar inundações bruscas, colocando em perigo as pessoas que procuram esses locais para recreação. Tendo em vista esses fatores, observa-se a importância do monitoramento instantâneo da precipitação e vazão de bacias montanhosas, para garantir a segurança das pessoas, diante à ocorrência de eventos de precipitação, que possam desencadear as inundações bruscas. Assim, para entender esses processos é necessário conhecer o tempo de concentração (T_c) e a velocidade média dos rios das bacias montanhosas. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivos avaliar o T_c e a velocidade dos rios das sub-bacias dos rios Malacara e Molha Coco, localizadas na bacia do rio Mampituba, no extremo sul de Santa Catarina. O T_c e a velocidade média dos rios são muito utilizados para estimar as vazões máximas e podem ser calculados com equações empíricas, que usam parâmetros de geometria do canal principal e características físicas da bacia. No presente trabalho, para o cálculo do T_c utilizou-se a equação de Dooge. Já as velocidades foram calculadas pela relação entre o comprimento do rio principal e o tempo de deslocamento (T_d), e também pelas equações de Manning e Jarrett (1984). Para o cálculo do T_c e das velocidades médias, os rios Malacara e Molha Coco foram divididos em 5 trechos iguais de 4,03 km e 2,66 km de extensão, respectivamente. Os dados referentes à geometria do canal principal (raio hidráulico e declividade média) foram medidos por topografia usando uma estação total e um GPS-RTK e, nos locais de difícil acesso, utilizou-se dados do MDE (SRTM 90 m). Os tempos de concentração calculados para BHRMALA e BHRMOCO foram de 3,04 h e 2,20 h, respectivamente. No trecho 2 do rio Malacara onde são realizadas trilhas o T_c encontrado foi de 1,73 h. O rio Malacara é muito explorado pelo turismo e prática de esportes. O trecho 2 desse rio, que tem aproximadamente 3 km é muito utilizado para trilha, onde são realizadas diversas travessias no rio durante a caminhada, que leva aproximadamente 2 h. Assim, percebe-se que com um T_c de 1,73 h, se ocorrer um evento de precipitação intensa, não é possível fazer a trilha com segurança. Esses aspectos mostram a importância do monitoramento hidrológico nessas regiões. Também verificou-se que as velocidades médias da BHRMALA, calculadas por Mannig ($1,37 \text{ m.s}^{-1}$) e Jarret ($0,95 \text{ m.s}^{-1}$), ficaram bem próximas, ou seja, a diferença foi de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$. Também para a bacia BHRMOCO essa diferença foi pequena ($0,36 \text{ m.s}^{-1}$). Usando o T_d para estimar as velocidades médias de cada trecho, verificou-se que todas foram superestimadas, quando comparadas com às obtidas por Manning e Jarret, sendo encontrado valores de $3,07 \text{ m.s}^{-1}$ e $2,74 \text{ m.s}^{-1}$ para a BHRMALA e BHRMOCO, respectivamente. A análise das velocidades médias e do T_c possibilitou compreender os processos hidrogeomorfológicos que interferem na resposta hidrológica das bacias BHRMALA e BHRMOCO e, conseqüentemente, identificar os fatores que podem influenciar na ocorrência de inundações bruscas. No entanto, sugere-se para trabalhos futuros, avaliar a velocidade média das bacias com dados monitorados por um longo período de tempo, considerando, as velocidades máximas, mínimas e médias das bacias e, desta forma, obter com maior precisão a resposta hidrológica.

INTRODUÇÃO

Os rios em regiões montanhosas, segundo Paixão e Kobiyama (2019), são cada vez mais explorados e procurados para as atividades de recreação e ecoturismo no Brasil. Essas atividades, na maioria das vezes, são realizadas sem conhecer os perigos potenciais desses ambientes, principalmente aqueles relacionados aos aspectos hidrogeomorfológicos.

É, portanto, fundamental verificar a resposta das bacias montanhosas a eventos extremos de precipitação, porque, dependendo de sua intensidade, podem gerar vazões máximas (THORNE e ZEVENBERGEN, 1985) e, conseqüentemente, inundações bruscas, colocando em perigo as pessoas que procuram esses locais (KOBİYAMA et al., 2018). Para entender esses processos é necessário obter precisamente a distribuição espacial e temporal da precipitação e vazão das bacias montanhosas (RUIZ-VILLANUEVA et al., 2013). No entanto, devido à escassez de dados hidrológicos nessas regiões, é necessário o uso de métodos empíricos para estimar o escoamento superficial (RICO et al., 2001; NORBIATO et al., 2013, KARAGUL e ÇITGEZ, 2018).

O tempo de concentração (T_c) e a velocidade dos rios de bacias hidrográficas são parâmetros muito utilizados para o cálculo das vazões máximas (McCUEN et al., 1984). O T_c caracteriza o momento em que toda a bacia hidrográfica está contribuindo para a vazão na seção de interesse (exutório). Essa dimensão de tempo é importante, porque caracteriza a velocidade na qual a bacia responde a eventos de precipitação (PAVLOVIC e MOGLEN 2008, ALMEIDA et al., 2013).

Nos locais onde não existem dados hidrológicos medidos, o T_c pode ser calculado por equações empíricas, utilizando as características físicas da bacia, como: área de drenagem, declividade, comprimento do rio. Dada a sua importância, há muitas equações que foram criadas a partir de um conjunto de experimentos em bacias com características específicas, como Dooge (DOOGE, 1973), Kirpich (1940), Giandotti (SILVEIRA, 2005;), CHPW (CHOW et al., 1988). Assim, é possível adotar a equação que melhor represente o tempo de concentração e os parâmetros físicos da bacia de interesse (MAMÉDIO et al., 2018).

Mota e Kobiyama (2015) destacam que, o tempo de concentração da bacia hidrográfica é muito utilizado em projetos de drenagem urbana, na separação do hidrograma, no planejamento dos sistemas de alertas, quando há ocorrência de inundações, bem como, para definir o intervalo de tempo do monitoramento dos processos hidrológicos.

Também a velocidade dos rios é importante, tanto para caracterizar as inundações bruscas através da determinação de hidrogramas de inundação, níveis de água, como para modelar o transporte de sedimentos, dispersão de habitat e poluentes (COMITI et al., 2007).

Em regiões montanhosas sem monitoramento, a velocidade pode ser obtida utilizando características geométricas dos rios (YOCHUM et al., 2012) aplicando equações empíricas, como a de Manning (CHOW, 1959), Jarrett (JARETT, 1984), Bathurst (BATHURST, 1985), Rickenmann (RICKENMANN, 1994) e Zimmermann (ZIMMERMANN, 2010).

No entanto, levando em conta que muitas bacias montanhosas no Brasil, ainda carecem de dados hidrológicos medidos, as equações de Manning e Jarrett permitem calcular a velocidade, usando somente parâmetros geométricos da seção transversal do rio, que podem ser obtidos usando métodos topográficos.

As bacias montanhosas no sul do Brasil, atualmente, têm sido muito exploradas pelo turismo, devido à presença de unidades de conservação com belezas naturais exuberantes, por exemplo, os Parques Nacionais de Aparados da Serra (PNAS) e o Serra Geral (PNSG). A região atrai muitos turistas o ano todo. No ano de 2018, esses parques receberam mais de 217 mil turistas (MMA, 2019). O turismo ajuda a desenvolver a região, gera mais renda para o município e, melhora as condições de vida da população local. Entretanto, apesar do potencial turístico, faltam estudos que avaliam a frequência e magnitude dos eventos de inundações bruscas dessa região.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o tempo de concentração e a velocidade dos rios de duas sub-bacias da bacia do rio Mampituba, no extremo sul de Santa Catarina, que estão dentro da área do Parque Nacional de Aparados da Serra.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende duas bacias hidrográficas montanhosas, a bacia do rio Malacara (40,48 km²) e bacia do rio Molha Coco (20 km²). Essas são sub-bacias da bacia rio Mampituba (1.940 km²), que abrange áreas do extremo sul de Santa Catarina (63% da área) e norte do Rio Grande do Sul (37% da área) (BOHN, 2008) (Figura 1).

A região das bacias caracteriza-se pela brusca variação do relevo, onde encontra-se a paisagem dos Campos de Cima da Serra em contraste, através de um desnível abrupto, com a Planície Costeira (MMA/IBAMA, 2003). Os rios das bacias Malacara (BHRMALA) e Molha Coco (BHRMOCO), nascem nas escarpas da Serra Geral (altitude de 1.100 m) e encontram, em pouca distância (10 km), a planície de inundação (altitude média de 100 m), onde está localizado o município de Praia Grande- SC.

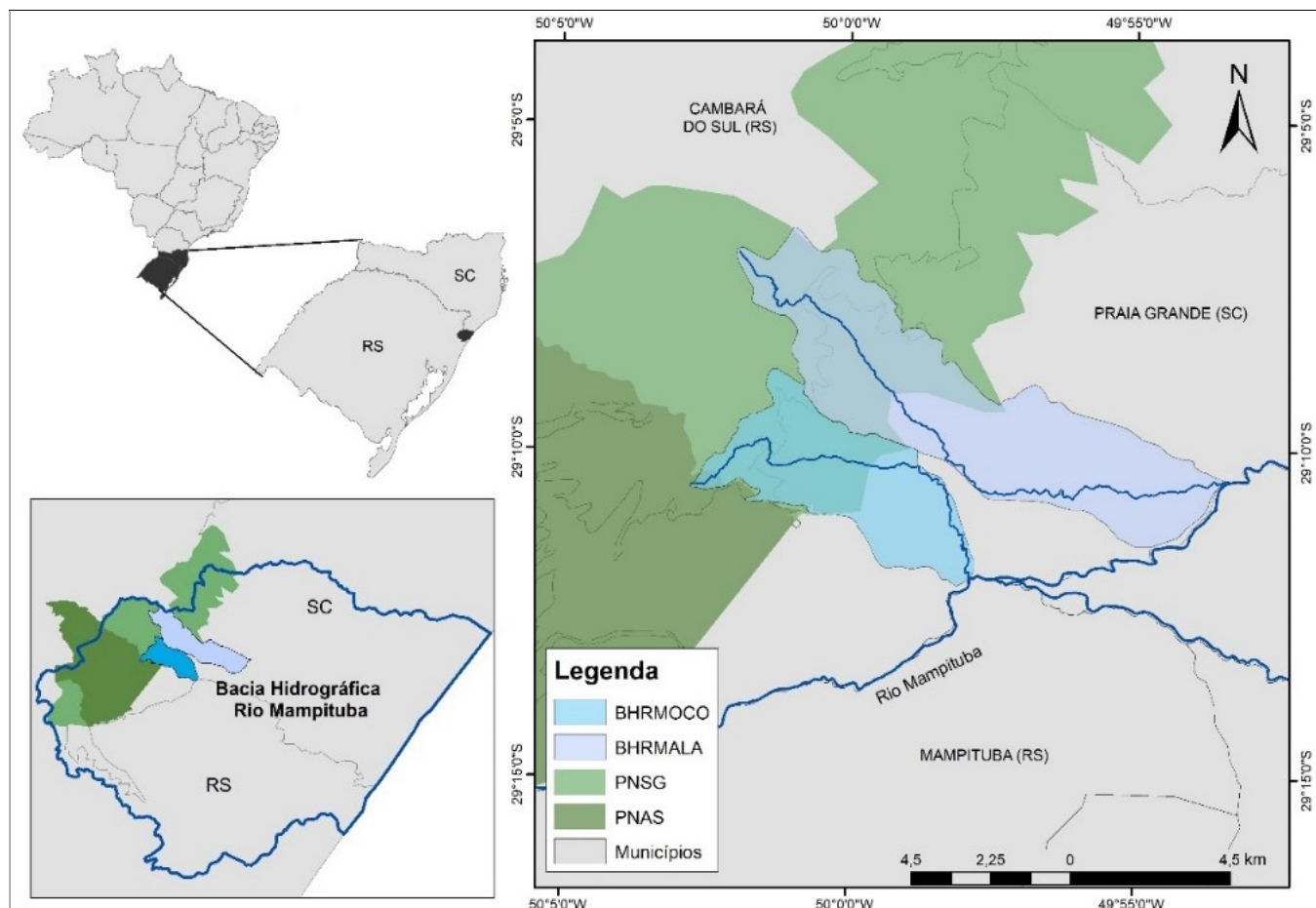


Figura 1: Mapa de localização da área das BHRMALA e BHRMOCO, extremo sul de Santa Catarina.

Segundo Scheibe et al. (2010), na região de Praia Grande as escarpas são modeladas sobre rochas da Formação Serra Geral, especialmente derrames basálticos, onde predomina a vegetação da Mata Atlântica. A parte mais plana dessa região é formada por sedimentos basálticos grosseiros (cascalhos, seixos e matacões), arenosos e argilosos. As encostas da serra são abruptas, apresentando grande amplitude altimétrica, com vales fortemente encaixados que se abrem na planície formando depósitos de leques aluviais.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é subtropical (mesotérmico úmido), com verões quentes e invernos frios (Cfa). A precipitação média anual é de 1.500 mm e evapotranspiração média anual de 900 mm (PANDOLFO et al., 2002).

Back e Bonetti (2014) mostram que, nessa região, a intensidade máxima da chuva é de 217 mm.h⁻¹ para uma duração de 5 minutos, com período de retorno de 5 anos. Destacam que, eventos dessa magnitude aliado à mudança brusca de altitude, entre as partes mais altas da serra e a planície de inundação, pode desencadear inundações bruscas, escorregamentos terras e fluxo de detritos.

Ronsani (1999) relatou que em 1903, 1911, 1974 (uma das mais devastadoras) e no natal de 1995 eventos de inundação de grande magnitude, causaram vários danos a população de Praia Grande. Posteriormente, em 2007 também ocorreu um evento de inundação brusca de alta magnitude, causando diversos danos à população, com perda de uma vida (TENFEN, 2008).

Tempo de Concentração por trechos dos rios principais das bacias BHRMALA e BHRMOCO

Para estimar o tempo de concentração (T_c) das bacias BHRMALA e BHRMOCO foi utilizada a equação de Dooge, a qual é comumente aplicada para áreas rurais. Essa equação relaciona o T_c com a área da bacia (A) e a declividade do rio principal (S), e foi desenvolvida com base nos dados de 10 bacias rurais da Irlanda, com áreas variando entre 145,04 e 947,94 km² (SILVEIRA, 2005). No presente trabalho para o cálculo do T_c com a Equação (1) foram utilizados os parâmetros da Tabela 1.

$$T_c = 0,365 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17} \quad (1)$$

Tabela 1: Valores dos parâmetros físicos das bacias Malacara e Molha Coco.

| Parâmetros | BHRMALA | BHRMOCO |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Área da bacia (A) | 40,48 km ² | 20 km ² |
| Comprimento do rio principal (L) | 20,15 km | 13,30 km |
| Perímetro total da bacia (P) | 38,10 km | 24,15 km |
| Declividade média do canal (S) | 0,052 m.m ⁻¹ | 0,073 m.m ⁻¹ |
| Largura média da bacia (B) | 2,00 km | 1,50 km |

Visando avaliar o T_c considerando diferentes declividades os rios principais das BHRMALA e BHRMOCO foram divididos em 5 trechos iguais de 4,03 km e 2,66 km, respectivamente (Figura 2). Para cada trecho foram calculados: a diferença de altitude (ΔH_n), a declividade média (S_n), comprimento do trecho (L_n) e a área da sub-bacia de cada trecho (A_n). Os trechos foram selecionados em função do fácil acesso e também por se tratarem de trechos críticos na ocorrência de eventos extremos (com extravasamento da calha do rio).



Figura 2. Localização dos trechos dos rios das BHRMALA e BHRMOCO.

A declividade média de cada trecho (S_n) foi determinada de duas maneiras: (1) por topografia com estação total (FOIF-RTS 342) e GPS RTK (Topomap modelo T10), onde calculou-se o desnível (DN) entre pontos medidos a montante e a jusante da seção transversal do trecho considerado; (2) usando os dados (altitude) do Modelo Digital de Elevação (MDE), SRTM com resolução de 90 m, sendo a declividade determinada pela diferença de altitude entre o ponto mais alto e mais baixo do rio principal (altitudes dos *pixels* correspondentes ao canal principal), dividida pelo comprimento do trecho (L_n) considerado. O MDE foi utilizado para calcular o desnível dos trechos de difícil acesso (cabeceira das bacias e locais com declividade muito acentuada) como no caso dos trechos 1 da BRHMALA e 1, 2 da BRHMOCO (Figura 2). Nestes locais, não foi possível medir com estação total ou com GPS-RTK.

Velocidade média do rio principal de cada trecho

No presente trabalho para o cálculo da velocidade média dos rios foram selecionadas três equações empíricas, as quais foram desenvolvidas para rios naturais, montanhosos e ambiente rural. Também porque, essas equações requerem apenas as características geométricas da bacia hidrográfica, tais como: comprimento do canal principal (L), tempo de concentração (T_c), área molhada (A_m) e perímetro molhado (P_m) da seção transversal dos rios. Essas velocidades foram calculadas para cada trecho, conforme descrito a seguir:

- a) Velocidade média da água por meio do tempo de deslocamento.

Para verificar se o t_c calculado pela fórmula de Dooge foi adequado para as condições da bacia, calculou-se a velocidade média através do tempo de deslocamento visando comparar com as equações de Manning e Jarrett, já que estas utilizam dados medidos em campo. Desta forma, o cálculo da velocidade média é dado pela Equação (2), a qual utiliza o tempo de deslocamento (T_{dn}) determinado pela diferença entre o tempo de concentração final e inicial de cada trecho do canal principal (por exemplo, $t_{c2} - t_{c1}$).

$$V_n = \frac{L}{T_{dn}} \quad (2)$$

onde V_n é a velocidade de cada trecho do canal principal ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$); L é o comprimento do canal principal (km) e T_{dn} é o tempo de deslocamento (h) no trecho do canal principal.

- b) Velocidade média estimado pela equação de Manning

A velocidade da água, segundo Chow (1959), pode ser determinada em função do tipo de escoamento (laminar, concentrado, escoamento de ravinas, escoamento de canais e de condutos), da rugosidade da superfície e da declividade do caminho preferencial do escoamento. A equação de Manning, que considera o raio hidráulico do canal, é um dos métodos mais utilizados para estimar a velocidade de escoamento em canais naturais (CHOW, 1959) e é calculada por:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

onde V é a velocidade média da seção considerada ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), n é o coeficiente de Manning do canal principal ($\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$), R_h é o raio hidráulico (m), e S é a declividade do rio principal ($\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$).

O cálculo do R_h requer a área molhada da (A_m) e o perímetro molhado (P_m) da seção transversal. Esses dados foram calculados a partir da largura e da profundidade média do canal, medidos com estação total e GPS-RTK. Os valores de n adotados foram de 0,04; 0,05; e 0,07, definidos com base em CHOW (1959), levando em consideração as características do leito (seixos grosseiros e cascalho) e das margens dos rios (vegetação), de cada trecho do rio principal. A Figura 3 mostra o tipo de leito e margens dos rios da BHRMALA e BHRMOCO.



(a)



(b)

Figura 3: Paisagem fluvial: (a) o ponto 2 do rio Malacara; e (b) o ponto 4 do rio Molha Coco, Praia Grande (SC).

c) Velocidade média por Jarrett

Com o objetivo de aprimorar o cálculo de velocidade dos rios em regiões montanhosas, Jarrett (1984) realizou um estudo com 75 medições de vazão em 21 locais montanhosos no Colorado (EUA), com elevadas declividades (0,002 a 0,034 m.m⁻¹), n variando entre 0,028 a 0,16 e velocidades entre 0,27 a 2,6 m.s⁻¹. Desta maneira, o autor propôs uma equação para o cálculo de velocidade que considera apenas a declividade e o raio hidráulico da seção de interesse no rio, conforme Equação 4:

$$V = 3,175 S^{0,12} R^{0,81} \quad (4)$$

onde V é a velocidade média da seção considerada (m.s⁻¹), R_h é o raio hidráulico (m), e S é a declividade do rio principal (m.m⁻¹). Sendo que os valores de S e R_h para cada trecho dos rios BHRMALA e BHRMOCO foram os mesmos dados utilizados pelo método de velocidade média por Manning.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tempo de concentração por trechos das bacias BHRMALA e BHRMOCO

Os tempos de concentração calculados pela equação de Dooge resultaram em 3,04 h e 2,20 h, para as bacias BHRMALA e BHRMOCO, respectivamente. A Tabela 2 mostra os valores de declividade média (S_n), área (A_n) e tempo de concentração (T_c) dos 5 trechos (n) analisados nas 2 bacias.

Para Wohl (2010), elevada declividade é, talvez, o parâmetro mais característico de um rio montanhoso. Já Thompson (2013) considera rios de montanha, aqueles com declividades acima de 0,02 m.m⁻¹ e Yochum et al. (2012) acima de 0,03 m.m⁻¹. Assim, com base na Tabela 2, observa-se que os rios Malacara e Molha Coco apresentam declividades características de rios de montanha.

Tabela 2: Tempo de concentração e tempo de deslocamento por trechos do canal principal para as bacias (a) BHRMALA e (b) BHRMOCO.

| (a) BHRMALA | | | |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
| TRECHO (n) | S_n (m.m ⁻¹) | A_n (km ²) | T_c (h) |
| 1 (n_1) | 0,081 | 4,13 | 1,00 |
| 2 (n_1+n_2) | 0,034 | 13,57 | 1,73 |
| 3 ($n_1+n_2+n_3$) | 0,014 | 24,65 | 2,32 |
| 4 ($n_1+n_2+n_3+n_4$) | 0,010 | 26,66 | 2,48 |
| 5 ($n_1+n_2+n_3+n_4+n_5$) | 0,007 | 40,48 | 3,04 |
| (b) BHRMOCO | | | |
| TRECHO (n) | S_n (m.m ⁻¹) | A_n (km ²) | T_c (h) |
| 1 (n_1) | 0,027 | 1,83 | 0,74 |
| 2 (n_1+n_2) | 0,108 | 6,30 | 1,23 |
| 3 ($n_1+n_2+n_3$) | 0,022 | 13,27 | 1,74 |
| 4 ($n_1+n_2+n_3+n_4$) | 0,010 | 15,28 | 1,91 |
| 5 ($n_1+n_2+n_3+n_4+n_5$) | 0,006 | 20,00 | 2,20 |

O rio Malacara é muito explorado pelo turismo e prática de esportes. O trecho 2 desse rio com, aproximadamente 3 km de extensão, é muito utilizado para trilhas, onde são realizadas diversas travessias no rio (Figura 4) durante a caminhada, que leva aproximadamente 2 horas. Assim, percebe-se que com um T_c de 1,73 h, se ocorrer um evento de precipitação intensa não é possível fazer a trilha com segurança. Além disso, segundo um relatório realizado por PAPP (2018), mostra que existe a intenção de aumentar a extensão da trilha em direção ao interior do cânion Malacara. Tendo em vista esses fatores, observa-se a importância do monitoramento instantâneo da precipitação e vazão, para garantir a segurança dos turistas, diante da ocorrência de eventos de chuva que possam desencadear em inundações bruscas.

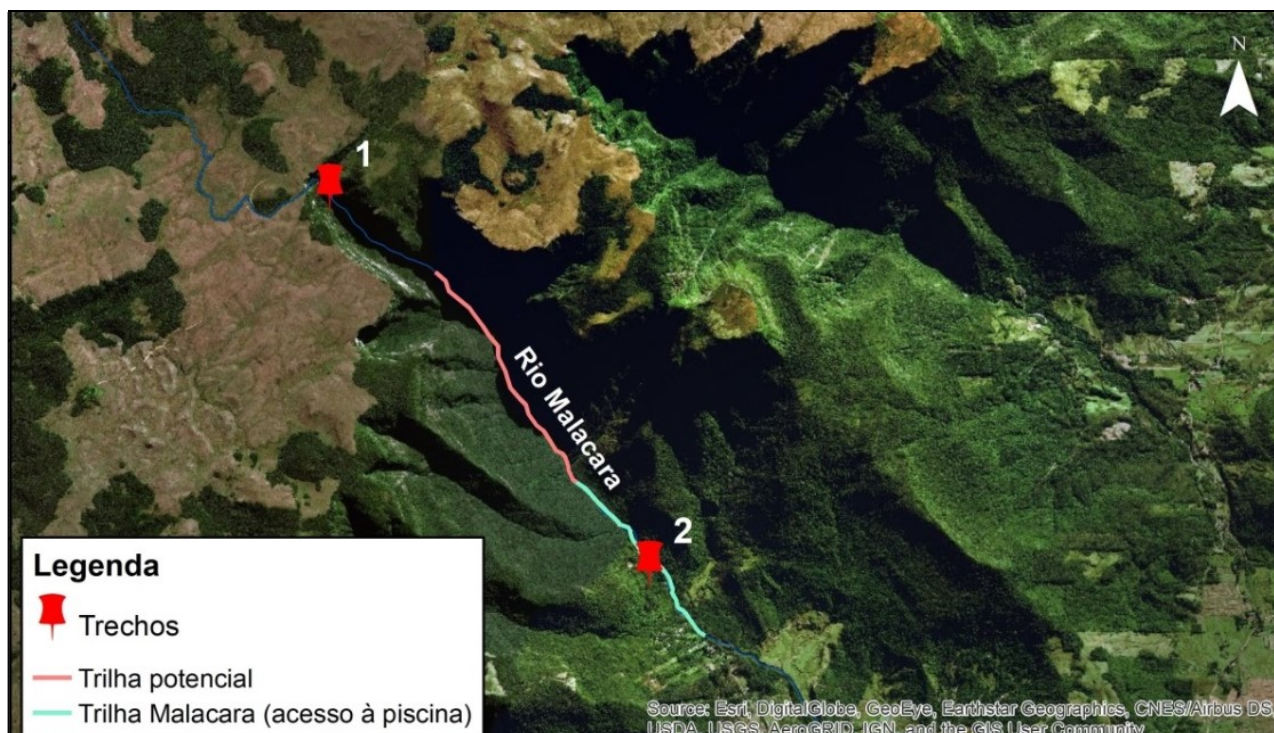


Figura 4: Localização do percurso da trilha com acesso à piscina do rio Malacara e o percurso da trilha potencial sugerida pelo PAPP (2018).

Comparação entre as velocidades médias obtidas por tempo de deslocamento, Manning e Jarrett

A Tabela 3 apresenta as características dos trechos dos rios principais da BHRMALA e BHRMOCO, que foram utilizadas para calcular as velocidades médias (Tabela 4) pelas equações (2), (3) e (4).

A Tabela 4 apresenta as velocidades calculadas a partir do tempo de deslocamento (Equação 2), Manning (Equação 3) e Jarrett (Equação 4).

Ressalta-se que as velocidades dos trechos 1 da BHRMALA e trechos 1 e 2 da BHRMOCO não foram calculadas porque não foi possível determinar os parâmetros hidráulicos do rio principal, devido ao difícil acesso a esses locais.

Tabela 3: Características dos trechos dos rios principais da BHRMALA e BHRMOCO.

| (a) BHRMALA | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------|--------|-------------------------|--------|
| TRECHO (n) | T _{dn} (h) | As (m ²) | Pn (m) | Sn (m/m) | Rn (m) |
| 1 | 1 | - | - | - | - |
| 2 | 0,73 | 22,25 | 53,12 | 0,034 | 0,419 |
| 3 | 0,59 | 16,03 | 27,72 | 0,014 | 0,578 |
| 4 | 0,16 | 8,77 | 21,18 | 0,01 | 0,414 |
| 5 | 0,55 | 8,17 | 25,18 | 0,007 | 0,324 |
| (b) BHRMOCO | | | | | |
| TRECHO (n) | T _{dn} (h) | As (m ²) | Pn (m) | Sn (m.m ⁻¹) | Rn (m) |
| 1 | 0,74 | - | - | - | - |
| 2 | 0,49 | - | - | - | - |
| 3 | 0,51 | 56,66 | 69,82 | 0,022 | 0,754 |
| 4 | 0,18 | 23,28 | 38,27 | 0,01 | 0,608 |
| 5 | 0,29 | 27,32 | 31,36 | 0,006 | 0,871 |

Tabela 4: Comparativo entre a velocidade obtida pelo tempo de deslocamento, Manning e Jarrett nos trechos do canal principal: BHRMALA e BHRMOCO.

| TRECHO (n) | BHRMALA | | | BHRMOCO | | |
|------------|----------------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | VT_d | Manning | Jarrett | VT_d | Manning | Jarrett |
| | v_n (m.s ⁻¹) | | | v_n (m.s ⁻¹) | | |
| 1 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 1,54 | 1,48 | 1,03 | - | - | - |
| 3 | 1,89 | 1,64 | 1,20 | 1,45 | 1,77 | 1,59 |
| 4 | 6,82 | 1,39 | 0,88 | 4,22 | 1,82 | 1,21 |
| 5 | 2,02 | 0,96 | 0,68 | 2,54 | 1,82 | 1,54 |

De um modo geral, analisando-se os três métodos observa-se na Tabela 4c que, as maiores velocidades foram obtidas pelo tempo de deslocamento, o qual foi calculado com base no T_c , considerando apenas a área de contribuição e a declividade média do rio principal.

Silveira (2005) destaca que, a maioria das equações empíricas que utiliza a área da bacia (A) como variável explicativa, para calcular o T_c , tende a superestimar o T_c , independente da extensão da área utilizada. Ainda, o autor salienta para o fato de que a área não contém a mesma informação que o comprimento do rio principal (L) aporta para o T_c . Mesmo que o comprimento tenha alta correlação com a área, esta interfere no resultado final, pois informa basicamente a magnitude, enquanto o comprimento traduz uma informação física diretamente relacionada aos tempos de escoamento.

Também na Tabela 4 verifica-se que, nos trechos 2 da BHRMALA e 3 da BHRMOCO, as velocidades calculadas pelo tempo de deslocamento, ficaram mais próximas das velocidades calculadas por Manning e Jarrett. Já no trecho 4 para ambas as bacias, as velocidades apresentaram valores muito altos (6,82 m.s⁻¹ e 4,22 m.s⁻¹), em relação à Manning e Jarrett. Essas velocidades são resultantes do menor tempo de deslocamento encontrado para BHRMALA (0,16h) e BHRMOCO (0,18h). Esses tempos menores, podem ser explicados pela pequena diferença entre a área das sub-bacias do trecho 3 e 4.

Os valores de velocidades calculados por Manning e Jarrett foram semelhantes para as duas bacias, em todos os trechos. No entanto, a velocidade calculada por Manning foi maior que a de Jarrett (Figura 5). Yochum et al. (2012), também destacam que, mesmo a velocidade de Manning sendo comumente utilizada para cálculo de velocidades em vários projetos, para canais com alta declividade, estas são superestimadas em relação a equação de Jarrett. Sandoval-Erazzo (2018) utilizando como referência a tabela de velocidade máximas dos rios, proposta por Goroshkov (1979) verificou que, para rios montanhosos com profundidades de até 1 m, as velocidades podem variar entre 1,5 a 2,5 m.s⁻¹ e para rios semi montanhosos as velocidades máximas variam entre 1 a 2 m.s⁻¹. Considerando que o raio hidráulico representa a profundidade do rio, pode-se observar que para esta condição, todos os trechos com as velocidades calculadas por Manning e Jarrett estão dentro desses intervalos, sendo característico de rios montanhosos.

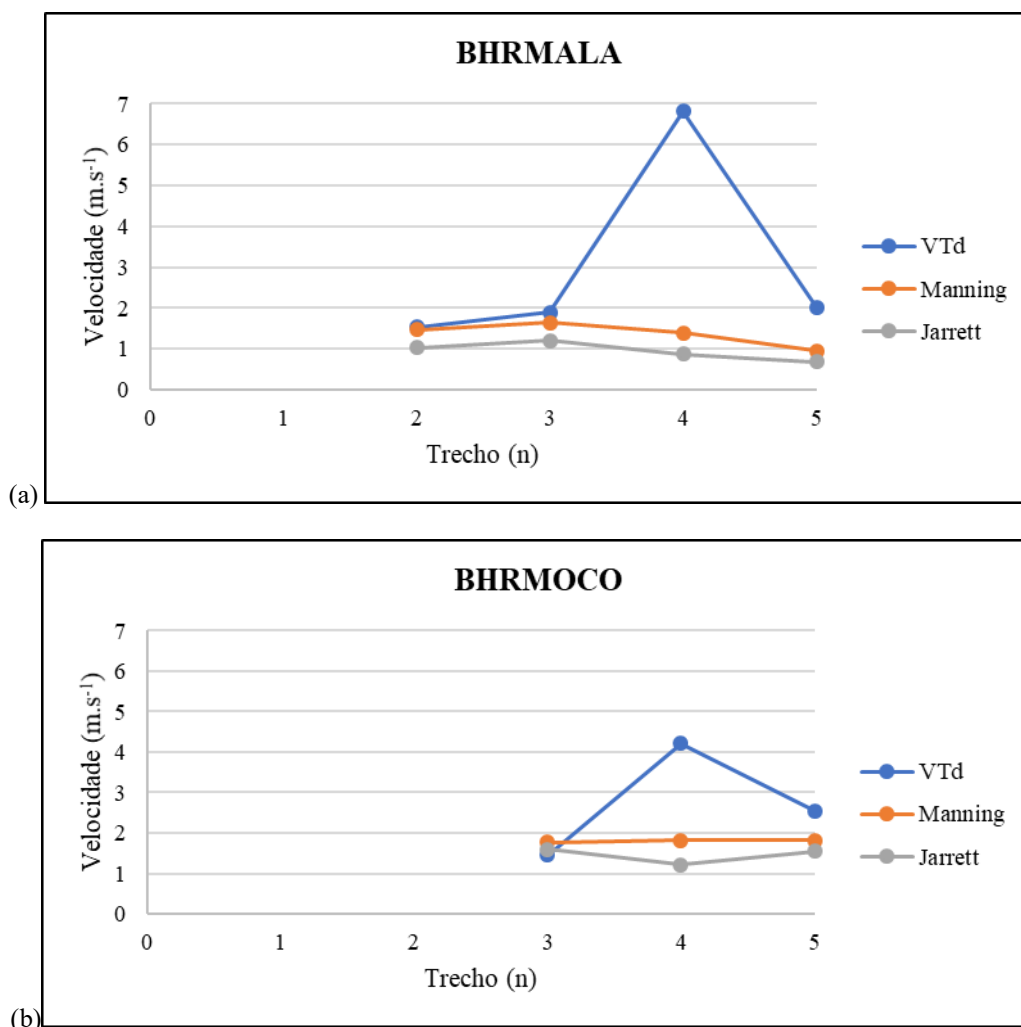


Figura 5: Comparativo entre as velocidades calculadas nos trechos: (a) rio Malacara; e (b) rio Molha Coco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou a velocidade média de duas bacias montanhosas no sul de Santa Catarina, por meio de três equações empíricas, usando dados da geometria do canal e o tempo de concentração da bacia.

O T_c estimado para as BHRMALA e BHRMOCO foi de 3,04 h e 2,20 h, respectivamente, o qual pode servir como referência na definição do intervalo de tempo de monitoramento dos processos hidrológicos das bacias, o qual deverá ser menor ou igual a esses tempos.

Também verificou-se que no trecho 2 da BHRMALA são realizadas trilhas de aproximadamente 3 km, onde são feitas diversas travessias no rio durante o percurso, que leva aproximadamente 2 horas. Assim, percebe-se que, com um T_c de 1,73 h, se ocorrer um evento de precipitação intensa não será possível realizar a trilha com segurança.

Verificou-se que as velocidades médias da BHRMALA calculadas por Manning (1,37 m.s⁻¹) e Jarrett (0,95 m.s⁻¹), ficaram bem próximas, ou seja, a diferença foi de 0,4 m.s⁻¹. Também para a bacia BHRMOCO, essa diferença foi pequena (0,36 m.s⁻¹).

As velocidades médias das bacias, calculadas com base no tempo de deslocamento foram superestimadas em relação às obtidas por Manning e Jarrett, sendo de 3,07 m.s⁻¹ e 2,74 m.s⁻¹ para a BHRMALA e BHRMOCO, respectivamente.

A análise das velocidades médias e do T_c possibilitou compreender os processos hidrogeomorfológicos que interferem na resposta das bacias BHRMALA e BHRMOCO. No entanto, sugere-se para trabalhos futuros, avaliar a velocidade com dados monitorados por um longo período de tempo, considerando os eventos de máximas, mínimas e médias e, assim, compreender melhor a resposta hidrológica das bacias hidrográficas dos rios Malacara e Molha Coco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior – Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001, para a realização deste trabalho e da Prefeitura de Praia Grande, SC para as pesquisas que estão sendo realizadas na região.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. K.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, V. R.; SOBRINHO, T. A. (2013) Estimativa de tempo de concentração em bacia hidrográfica in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Novembro, 2013, 8p.
- ASANO, Y.; UCHIDA, T. (2016) Detailed documentation of dynamic changes in flow depth and surface velocity during a large flood in a steep mountain stream, **Journal of Hydrology**, v. 541 p. 127-135, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.033>
- BACK, A. J.; BONETTI, A. V. (2014). Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, POA, v. 19, n. 4, p. 260-267.
- BATHURST, J. C. (1985) **Flow resistance estimation in mountain rivers**, **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 111, pp. 625-643, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1985\)111:4\(625\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:4(625))
- BOHN, L. (2008) **Expressões de conhecimento de grupos sociais locais para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Mampituba**. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 178 p.
- CHOW, V. T. (1959) **Open Channel Hydraulics**. McGraw-Hill. New York, 680 p.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1988) **Applied hydrology**. New York. McGraw-Hill. 570 p.
- COMITI, F.; MAO, L.; WILCOX, A.; WOHL, E. E.; LENZI, M. A. (2007) Field-derived relationships for flow velocity and resistance in high-gradient streams, **Journal of Hydrology**, v. 340, p. 48-62, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.03.021>
- DOOGE, J. C. I. (1973) **Linear theory of hydrological systems**. Technical Bulletin. United States Department of Agriculture. N° 1468, Washington.
- FERGUSON, R., (2013). Reach-scale flow resistance, **Treatise on Geomorphology**, v. 9, pp. 50–68, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00230-X>
- JARETT, R. D. (1984) Hydraulics of high-gradient streams, **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 110, p. 1519-1539, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:11\(1519\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:11(1519))
- KARAGÜL, R.; ÇITGEZ, T. (2018) Estimation of peak runoff and frequency in an ungauged stream of a forested watershed for flood hazard mapping. **Journal of Forestry Research**, v. 30, p. 555-564, doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0650-5>
- KIRPICH, Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v.10, n.6, pp.362.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; FAN, F.M.; CORSEUIL, C.W.; MICHEL, G.P.; DULAC, V.F. (2018). Abordagem integrada para gerenciamento de desastre em região montanhosa com ênfase no fluxo de detritos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental** v.7, pp.31-65, doi: 10.19177/rgsa.v7e0201831-65
- MAMÉDIO, F. M. P.; CASTRO, N. M. R.; CORSEUIL, C. W. (2018) Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil, **REGA**, v. 15, doi: 10.21168/rega.v15e1
- McCUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W.J. (1984). Estimating urban time of concentration, **Journal of Hydraulic Engineering**, v. n. pp. 887-904.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente (2019). **Parques nacionais batem novo recordé de visitação**. Acesso em: 01 set 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/15401-parques-nacionais-batem-novo-recorde-de-visita%C3%A7%C3%A3o.html>
- MMA/IBAMA (2003) **Plano de Manejo**. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/DCOM_pm_Parna_de_Aparados_da_Serra_volume_2_anexo_encarte_3_aparados.pdf. Acesso em: 25 set. 2019.
- MOTA, A. A.; KOBIYAMA, M. (2015) Reconsiderações sobre a fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 20, n°1. pp. 55-59

NORBIATO, D.; BORGA, M.; MERZ, R.; BLÖSCHL, G.; CARTON, A. (2009) Controls on event runoff coefficients in the eastern Italian Alps. **Journal of Hydrology**, v. 375 pp. 312-325, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.044>

PAIXÃO, M. A.; KOBIYAMA, M. (2019) Relevant parameters for characterizing mountain rivers: a review. **RBRH**, v. 24, pp. 1-13, doi: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180115>

PANDOLFO, C.; et al. (2002). **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM. Disponível em: <http://www.http://ciram.epagri.sc.gov.br>.

PAPP – Parcerias Ambientais Público-Privadas (2018). **Iniciativa-piloto dos Parques Nacionais de Aparados da Serra e da Serra Geral**. Disponível em: <http://www.papp.org.br/wp-content/uploads/2018/10/aparados.pdf>. Acesso em: 15 set 2019.

PAVLOVIC, S. B.; MOGLEN, G. E. (2008). Discretization issues in travel time calculation. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 71 -79, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(71\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(71))

PORTO, R.L.L. (1995) Escoamento Superficial Direto, In : TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.L., BARROS, M.T. (org.), 1995, Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 5, Editora da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, pp 107-165.

RICKENMANN, D. (1994) An alternative equation for the mean velocity in gravel-bed rivers and mountain torrents in Anais do Proceedings of the 1994 Conference, New York, pp. 672-676.

RICO, M.; BENITO, G.; BARNOLAS, A. (2001) Combined palaeoflood and rainfall-runoff assessment of mountain floods (Spanish Pyrenees). **Journal of Hydrology**, v. 245 pp. 59-72, doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00339-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00339-0)

RONSANI, G. (1999). **Praia Grande, Cidade dos Canyons-180 anos de história**. Praia Grande: Do autor, 171p.

RUIZ-VILLANUEVA, V.; BODOQUE, J. M.; BALLESTEROS CÁNOVAS, J. A.; STOFFEL, M. (2013) Characterisation of flash floods in small ungauged mountain basins of Central Spain using an integrated approach, **Catena**, v. 110 p. 32-43, doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.015>

SANDOVAL-ERAZO, W.; TOULKERIDIS, T.; RODRÍGUEZ-ESPINOSA, F.; MERIZALDE MORA, M. J. (2018) Velocity and time of concentration of a basin – A renewed approach applied in the Rio Grande Basin, Ecuador in Anais The 4th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2018), pp. 1-11.

SCHEIBE, F. et al. **Atlas ambiental da Bacia do rio Araranguá: Santa Catarina – Brasil** – Florianópolis: UFSC: Cidade Futura, 2010. 64 p.

SHARIFI, S.; HOSSEINI, S. M. (2011) Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region, **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, p. 712-719, doi: [10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000373](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000373)

SILVEIRA, A.L.L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n.1, p. 5-23, 2005.

TENFEN, M.A.M. **Áreas de Risco Geoambiental em Praia Grande/SC: Análise do Evento Catastrófico de Março de 2007**. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de especialista em Geografia com Ênfase em Estudos Regionais – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2008.

THOMPSON, D. M. (2013). Pool-Riffle, **Treatise on Geomorphology**, v. 9, pp. 364-378, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00246-3>

THORNE, C. R.; ZEVENBERGEN, L. W. (1985) Estimating mean velocity in mountain rivers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 111 pp. 612-624, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1985\)111:4\(612\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:4(612))

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2009. 944 p

WOHL, E. (2010) **Mountain rivers revisited**. Washington, DC. American Geophysical Union. 587 p.

YOCHUM, S. E.; BLEDSOE, B. P.; DAVID, G. CL.; WOHL, E. (2012) Velocity prediction in high-gradient channels, **Journal of Hydrology**, v. 424-425, pp. 84-98, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.031>

ZIMMERMANN, A. (2010) **Flow resistance in steep streams: an experimental study**, **Water Resources Research**, v. 46, pp. 1-18, doi: [10.1029/2009WR007913](https://doi.org/10.1029/2009WR007913)