XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

COMBINANDO GEOMORFOLOGIA E PADRÕES HIDRODINÂMICOS DO ESCOAMENTO DE BASE E PARA MELHORAR A ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Camyla Innocente [1]; Alondra Beatriz Alvarez Perez [2]; João Henrique Macedo Sá [3]; Pedro Ferreira Arienti[4] & Pedro Luiz Borges Chaffe[5]

RESUMO – O tempo de concentração é um dos principais parâmetros de entrada em modelos de chuva-vazão, compreende o tempo em que o escoamento superficial demorar em ir do ponto mais distante da drenagem até a exutória. Apesar da importância desse parâmetro, ainda não há uma maneira eficiente para calculá-lo. Este trabalho é resultado de dois anos de monitoramento feito por meio de campanha de escoamento de base na bacia hidrográfica do Rio Ribeirão Grande, principal bacia de contribuição da Lagoa do Peri ao sul de Florianópolis, e tem como objetivo propor uma nova metodologia, que possua sentido físico, para estimar o tempo de concentração. Essa bacia é costeira, em região de transição entre clima tropical e temperado, coberta por Mata Atlântica e campo. A formação geológica de granito e dique. Foram realizadas medições de vazão e velocidade em diferentes pontos da drenagem durante os anos de 2017 e 2018, totalizando 18 medições de vazão e velocidade em 11 diferentes pontos. Com os dados monitorados de vazão e velocidade, foi possível compreender a hidrodinâmica da bacia e combiná-la com informações da geomorfologia. Os resultados confirmaram a eficiência do método proposto.

Palavras-Chave – Escoamento de base, geomorfologia, tempo de concentração

ABSTRACT– The time of concentration is one of the main input parameters in rainfall-runoff models. It is the time at which the runoff takes place from the point farthest from the drainage to the outlet. Despite the importance of this parameter, there is still no efficient way to calculate it. This study is result of two years of monitoring campaign of baseflow in the Rio Ribeirão Grande watershed south of Florianópolis. The aim is to propose a new methodology that has a physical meaning to estimate the time of concentration. This watershed is coastal, in transition region between tropical and temperate climate, covered by Atlantic Forest and grass. The geological formation is granite and dike. Discharge and velocity measurements were performed at different drainage points during 2017 and 2018, totaling 18 discharge and velocity measurements at 11 different points. With the data discharge and velocity, it was possible to understand the hydrodynamics and to combine it with information of the geomorphology. The results confirmed the efficiency of the proposed method.

Keywords – Baseflow, geomorfology, time of concentration

[1]) Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. camylainnocente@gmail.com
[2]) Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. alondra_920@hotmail.com
3) Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. jhenriquemsa@hotmail.com
4) Universidade Federal de Santa Catarina, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. pedropp1995@gmail.com
5) Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. pedro.chaffe@ufsc.br

INTRODUÇÃO

O tempo de concentração é um dos parâmetros mais importantes para a estimativa de hidrogramas de inundações (McCuen *et al*, 1984). Uma das definições conceituais do tempo de concentração é o tempo de percurso de uma gota de água do ponto hidraulicamente mais distante até à exutória (Mccuen, 2009). Ele pode ser estimado com a análise do hidrogramas, verificando o tempo entre o fim da precipitação ao ponto de inflexão do hidrograma (Mccuen, 2009).

Muitas fórmulas empíricas foram feitas para calcular o tempo de concentração, com base nas relações entre as características físicas da bacia hidrográfica (e.g. comprimento do rio principal, área de drenagem e inclinação) e o tempo de concentração encontrado por meio do hidrograma e hietograma (e.g. Dooge, 1973; Kirpich, 1940). Mesmo que essas fórmulas sejam limitadas por suas origens empíricas (e.g. número de eventos, critérios da seleção do evento) e muitas vezes subestimem o tempo de concentração (Grimaldi *et al.*, 2012; Meyersohn, 2016), em termos práticos, a utilização dessas fórmulas é generalizada entre a comunidade hidrológica e a engenharia.

A definição conceitual do tempo de concentração está relacionada ao tempo de percurso da água nos canais. Para calcular o tempo de percurso da água nos canais durante um evento de chuva-vazão, deve-se considerar dois mecanismos: dispersão hidrodinâmica, que ocorre dentro do canal de fluxo individual; e dispersão geomorfológica, que muda de acordo com a geometria da rede (Rinaldo *et al.*, 1991). Saco e Kumar (2002) mostraram que a dispersão geomorfológica é mais importante do que a hidrodinâmica. Devido às não linearidades inerentes à geração de escoamento relacionada aos múltiplos estados hidrológicos, a determinação exata do tempo de concentração continua sendo um grande desafio (Muñoz-Villers *et al.*, 2016).

Há diferentes abordagens para estimar o hidrograma com base em informações geomorfológicas, nas quais considera-se o tempo de percurso das partículas entre a injeção e a saída da água durante um evento de chuva-vazão (e.g. Grimaldi *et al*., 2012; Rigon *et al.*, 2016) supondo-se que a geração de vazão provém principalmente do escoamento superficial. Essas abordagens são conhecidas como hidrograma unitário geomorfológico (GIUH). A *width function* (Kirkby, 1976) foi a base para o primeiro GIUH. A *width function* representa o número de pontos da drenagem com a mesma distância da exutória, assumindo que os caminhos são seguidos em velocidades constante. No entanto, a velocidade não é uniforme em toda a bacia e muda com a vazão (Leopold, 1953). Bergstrom *et al.* (2016) desenvolveu um método baseado na *width function* que representa a distribuição de probabilidade de viagens, onde a velocidade da água varia conforme área de drenagem.

Neste trabalho, propõe-se um método para a estimativa do tempo de concentração que estende a função de Bergstrom *et al.* (2016), combinando medições de vazão e velocidade do escoamento de base, geomorfologia e compreensão do processo físico. Utilizando o tempo de concentração definido entre os pontos do hidrograma e hietograma, discutiu-se como o tempo de concentração varia em

relação às características do evento de chuva-vazão. Apresentou-se a nova metodologia para calcular o tempo de concentração e comparou-se o desempenho das equações empíricas com a nova proposta metodológica.

MATERIAS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo se encontra no sul da Ilha de Santa Catarina (Figura 1a), sendo esta localidade uma transição entre os climas tropical e temperado, verão quente e sem estação seca. A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri possui 20 km², a lagoa contida dentro da bacia hidrográfica, tem uma área superficial de 5,7 km² (Fontes *et al.*, 2013). A maior sub-bacia de contribuição da Lagoa do Peri é a bacia do Rio Ribeirão Grande. Na bacia do Rio Ribeirão Grande, há monitoramento automático de nível na exutória (Figura 1c). A precipitação é monitorada por meio de um pluviógrafo de báscula localizado ao norte da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri (Figura 1a). Esta bacia hidrográfica possui 5,30 km² e é de quarta ordem.

Em relação à cobertura vegetal, cerca de 25% da área é coberta por Mata Atlântica em estágio inicial, segundo o levantamento realizado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis. Em saídas a campo, percebeu-se que o que havia sido catalogado como Mata Atlântica em estágio inicial é na verdade pastagem para criação de gado. Ademais, há muitas residências presentes nessa área também catalogadas como Mata Atlântica em estágio inicial. O restante da área, cerca de 75%, é coberto por Mata Atlântica em estágios médio e avançado.

Quanto à formação geológica, cerca de 20% da área é formada por diques. Os diques em meio ao granito, que representam a formação de 80% da área restante, podem fazer com que a quantidade de água que aflore do lençol não tenha relação dependente apenas da área, uma vez que facilita que haja comunicação de água subterrânea entre as bacias hidrográficas (Egusa *et al.*, 2016).

Monitoramento

O monitoramento de vazão e velocidade foi feito por meio do método de diluição em condições de escoamento de base em 11 diferentes pontos da rede de drenagem (Figura 1d). O método de diluição é particularmente eficaz em pequenos riachos com sessões transversais irregulares (Bergstrom *et al.*, 2016), como são as seções dessa bacia (Figura 1b).

No método de diluição, injeta-se sal no rio e mede-se sua diluição num ponto em que o sal está totalmente misturado ao rio. A mistura completa foi verificada por meio de um corante. A condutividade foi medida por meio de uma sonda (modelo: Orion 4 Star, Thermo) e relacionada diretamente à concentração de sal, conforme a relação estabelecida em laboratório.

A velocidade do rio foi estimada como sendo a distância entre o ponto de injeção do sal e o ponto em que a sonda está posicionada no rio, dividido pelo tempo entre o ponto de injeção de sal no rio até o centroide da pluma salina.

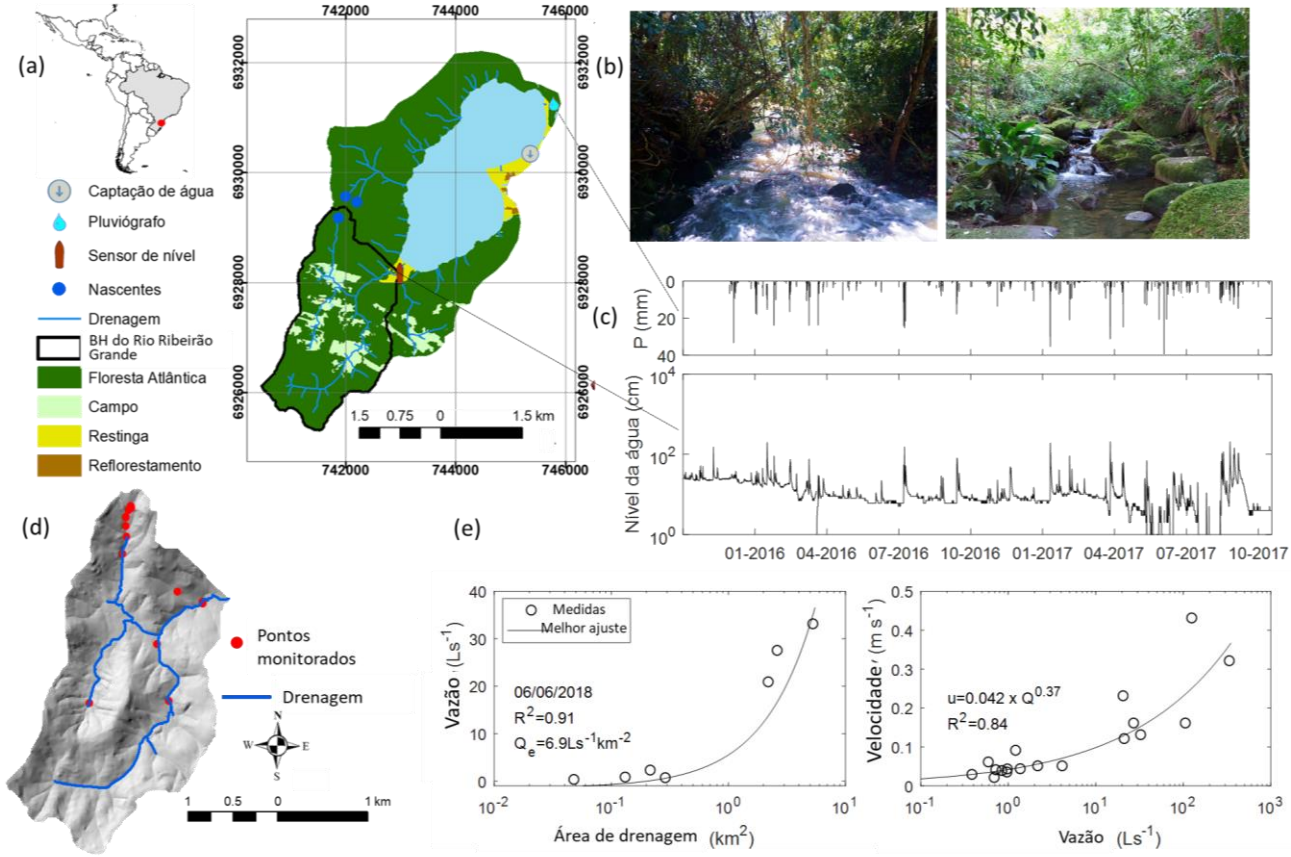

Figura 1 – a) Mapa de localização da bacia hidrográfica (BH) da Lagoa do Peri; b) respectivamente, da esquerda para a direita, sessão onde a curva chave foi feita e seção típica monitorada; c) série de dados de precipitação e nível da exutória da bacia Rio Ribeirão Grande; d) *Hillshade* e pontos monitorados de velocidade e vazão da bacia hidrográfica do Rio Ribeirão Grande; e e) Respectivamente, da direita para a esquerda, relação entre vazão e área de drenagem e relação entre velocidade e vazão nos pontos monitorados na bacia hidrográfica Rio Ribeirão Grande.

As informações espaciais foram obtidas por meio do modelo digital de elevação (DEM) com resolução de 1 m, implementada pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina (SDS, 2013).

Tempo de concentração definido por meio do hidrograma e hietograma

De acordo com McCuen (2009), existem diferentes métodos para determinar o tempo de concentração utilizando a diferença de tempo entre os diferentes pontos do hietograma (e.g. o fim da precipitação, intensidade máxima de precipitação, centro de massa da precipitação efetiva) e do hidrograma (e.g. ponto de inflexão, pico de escoamento total, pico de escoamento direto). Aqui, estimou-se o tempo de concentração considerando o tempo desde o final da precipitação até o fim do escoamento superficial (e.g. Kaufmann de Almeida *et al.*, 2017; Nagy *et al.*, 2016). Para definir o escoamento superficial, utilizamos o filtro digital de Eckhardt (2005), sendo o parâmetro *a* que se

refere ao decaimento da vazão, igual a 0,99 e o parâmetro *BFI*, relacionado a capacidade de armazenamento, igual a 0,9.

De acordo com McCuen (2009), o ponto de inflexão é subjetivo e tem uma distribuição com alta variância. Além disso, o tempo de concentração calculado como sendo o tempo a partir do fim da precipitação até o ponto de inflexão reflete o tempo de percurso da água quando a bacia está totalmente saturada. Essa condição não representa o tempo mediano de percurso durante todo evento, subestimando o tempo de concentração.

Investigou-se como o tempo de concentração varia em relação à característica do evento chuva-vazão. Para cada evento, foram calculados a precipitação total, maior intensidade de precipitação (mm/h), intensidade média da precipitação (mm/h), nível máximo do rio (cm), nível médio do rio (cm) (entre o começo e o fim do escoamento superficial), chuva antecedente de 1 a 10 dias.

Tempo de concentração definido por meio de fórmulas empíricas

As fórmulas empíricas são usadas na engenharia para análises em bacias hidrográficas não monitoradas. A

Tabela 1 mostra as fórmulas empíricas. Os erros associados ao método estão relacionados com a consideração de que há apenas um tempo de concentração para diferentes eventos de precipitação. Também acarreta erros quando se usam apenas poucas características físicas para regionalização do valor do tempo de concentração.

Tabela 1 - Relações das metodologias utilizadas para estimar o tempo de concentração. Onde: t_c é o tempo de concentração (h), L_W é a distância máxima entre a divisão da bacia e a saída km, S_W é declividade da bacia hidrográfica (m/m), A é a área de drenagem (km ²), H_M é a elevação média da bacia hidrográfica (m), S_{MS} é inclinação do rio principal (m/m)

Nome	Fórmula		Nome	Fórmula	
Kirpich (1940)	$t_c = 0.062\left(\frac{L_W}{\sqrt{S_W}}\right)^{0,80}$	(1)	Johstone e Cross (1949)	$t_c = 0.4623\frac{\sqrt{L_W}}{S_W{}^{0,25}}$	(4)
Passini (1914)	$t_c = 0,108\left(\frac{\sqrt[3]{AL_W}}{\sqrt{S_W}}\right)$	(2)	Dooge (1973)	$t_c = 0.3649\frac{A^{0.41}}{S_{MS}{}^{0.17}}$	(5)
Giandotti (GREPPI, 2005)	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_W}{0.8\sqrt{H_M}}$	(3)	Chow (1962)	$t_c = 0.1602\frac{L_W{}^{0.64}}{S_W{}^{0.32}}$	(6)

Tempo de concentração baseado na hidrodinâmica do escoamento de base e geomorfologia

O método desenvolvido por Bergstrom *et al.* (2016) considera: (i) entrada ponderada, considerando uma vazão espacialmente variável de água na rede de drenagem (*IW*); (ii) velocidade variável, derivada de uma relação empírica entre a vazão e a velocidade (*VV*); e (iii) tempo de viagem como a aproximação da distribuição dos tempos de viagem desde a nascente mais distante até a

exutória (*TTF*). *IW-VV-TTF* descreve uma função de densidade de probabilidade dos tempos de viagem de rede de fluxo para a água na rede de drenagem sob condições de escoamento de base.

Calculou-se o tempo de percurso da água na rede de drenagem. O tempo de percurso foi utilizado como o valor de referência para o tempo de concentração. Para esse cálculo foi considerado uma nova velocidade da água em cada célula da rede de drenagem. A velocidade em cada célula é baseada na área acumulada de cada ponto, como mostrado a seguir:

$$Q = \gamma A \tag{7}$$

$$v = \alpha {Q_d}^{\beta} \tag{8}$$

onde Q é a vazão [L ^{3}/T], γ é a vazão específica [L ^{3}/TL^2], A é a área de drenagem [L^2], v é a velocidade medida [L/T] e α e β são constantes de regressão para a relação entre velocidade e vazão. O tempo de viagem foi calculado como:

$$T_{r \to o} = \sum_{i=r}^{0} T_i = \sum_{i=r}^{0} \frac{x_i}{\alpha(\gamma A_i)^{\beta}} \tag{9}$$

onde $T_{r \to o}$ é o tempo de viagem de cada célula do rio (r) para a exutória (o) e x é a posição da célula.

A velocidade é ajustada em função da vazão por meio de uma equação empírica ajustada para diferentes medições feitas na bacia hidrográfica do Rio Ribeirão Grande (Figura 1e). A vazão específica é a vazão do nível máximo da água de cada evento dividida pela área da bacia do Rio Ribeirão Grande. Somente os eventos em que o nível máximo de água foi entre 10 e 37 cm foram considerados, porque a curva-chave foi feita com base em medições de vazão dentro desses limites de nível.

Existem alguns erros associados a esse método. Considera-se uma rede de drenagem única, independentemente do evento. Porém, já se sabe que a drenagem muda de acordo com a condição de saturação da bacia hidrográfica (e.g. Whiting e Godsey, 2016). Os pontos de monitoramento de velocidade em campo foram escolhidos de maneira que houvesse turbulência suficiente para garantir uma mistura completa, o que pode fazer com que a velocidade média dos rios seja superestimada. Nem sempre todos os pontos do rio terão a mesma vazão específica. Alguns estudos mostram que a variação da vazão específica em relação à área de drenagem só diminui após 1 km ^{2} ou 2 km ^{2} (Egusa *et al.*, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificaram-se 47 eventos de chuva-vazão. A Figura 2a mostra a correlação, por meio do R^2 ajustado, entre o logaritmo do tempo de concentração, obtido por meio do hietograma e hidrograma, e as características dos eventos.

A característica do evento que mais está correlacionada ao tempo de concentração é a precipitação total. A Figura 2b mostra graficamente essa relação. É possível perceber que após 400 mm o valor do tempo de concentração estabiliza-se em uma hora.

A altura máxima da lâmina de água na exutória apresenta mais relação ao tempo de concentração do que a altura média. Esse resultado pode ser reflexo do fato de que os pontos específicos do gráfico escolhidos para representar o tempo de concentração representam o percurso da água quando a bacia já está em um estado saturado. A correlação entre a precipitação antecedente da bacia e o tempo de concentração aumenta o seu valor até o quinto dia; após isso, a correlação decresce.

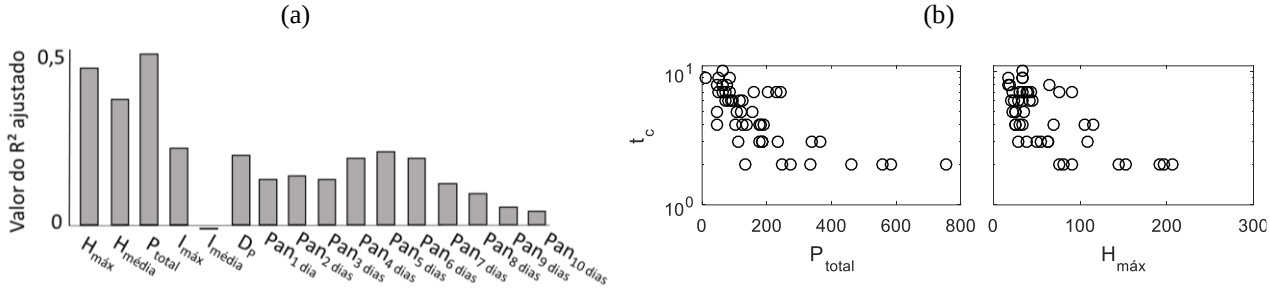

Figura 2 – (a) Relação entre o tempo de concentração e as características do evento chuva-vazão. Onde H é altura, P é precipitação, I é intensidade D é duração e Pan é precipitação antecedente. Os índices máx é máximo, P é precipitação. (b) Relação entre o tempo de concentração e as características dos eventos chuva-vazão.

Tempo de concentração calculado pela metodologia proposta

A Figura 3a mostra o tempo de percurso, ou seja, quanto tempo a água de diferentes partes da rede leva para chegar à exutória para uma vazão específica de 50 $Ls^{-1}km^{-2}$.

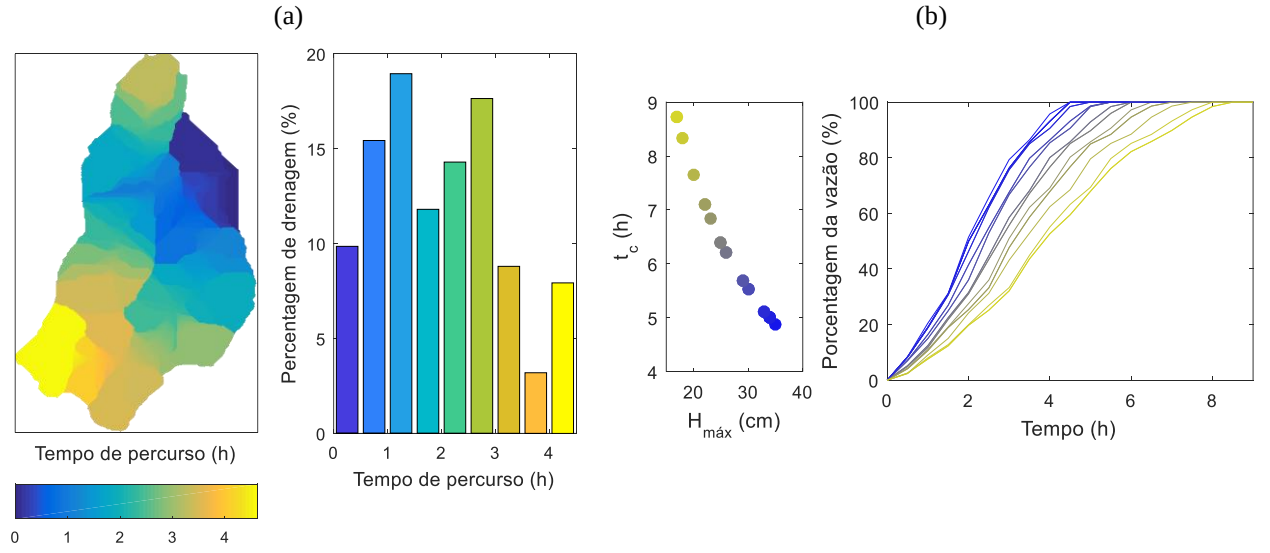

Figura 3 – a) O tempo de percurso para a bacia hidrográfica do Rio Ribeirão Grande com vazão específica de 50 $Ls^{-1}km^{-2}$. b) Valor do tempo de concentração para eventos com um nível máximo da água entre 10 e 37 cm.

Usando este método, pode-se adicionar informação do nível máximo do rio no cálculo do tempo da concentração, tendo esse nível como referencial para o cálculo da vazão específica. A Figura 3b mostra o tempo estimado de concentração para 22 eventos. Esses eventos têm o nível de água máximo entre 10 e 37 cm. Para esses eventos, o tempo de concentração variou entre 4,5 e 8,8 horas. Altas

vazões geram velocidades mais altas, portanto o tempo de concentração está inversamente relacionado ao nível máximo da água, como já visto na Figura 2b.

Comparação entre os métodos para estimar o tempo de concentração

Para todas as fórmulas o tempo de concentração foi subestimado quando comparado método proposto com o calculado por meio do hidrograma e hietograma.

Os três valores mais baixos de tempo de concentração foram encontrados para fórmulas que foram desenvolvidas com dados de pequenas bacias hidrográficas (Kirpich – 0,35 h, Passini 0,60 h e Chow – 0,68 h), enquanto os valores mais altos, que estavam mais perto dos dados obtidos por meio da análise do hidrograma e hietograma, foram encontrados com fórmulas desenvolvidas a partir de dados de bacias com mais de 50 km² (Giandoti - 1,14 h, Johstone e Cross – 1,35 h e Dooge – 0,95 h).

Houve uma variabilidade nos valores das equações. O cálculo do tempo de concentração resultou em previsões numéricas que diferiram entre si em até 385%. A média do cálculo das fórmulas empíricas foi de 0,85 horas, as diferenças relativas médias variaram de -62 a 241%. Isso foi semelhante a Fang et al. (2008), em que as diferenças variaram de –38 a 207% para o tempo de concentração estimado por diferentes metodologias.

A Figura 4 mostra a comparação entre os três métodos, com a mesma discretização de tempo para os mesmos eventos, totalizando 22 eventos chuva-vazão entre 10 e 37 cm de nível máximo da água. O tempo de concentração definido por meio do hidrograma e hietograma é a referência para a análise do desempenho da estimativa do tempo de concentração. A mediana do tempo de concentração pelo método gráfico é 600% maior que o tempo de concentração calculado por fórmulas empíricas, mas, para eventos extremos, essa diferença diminui.

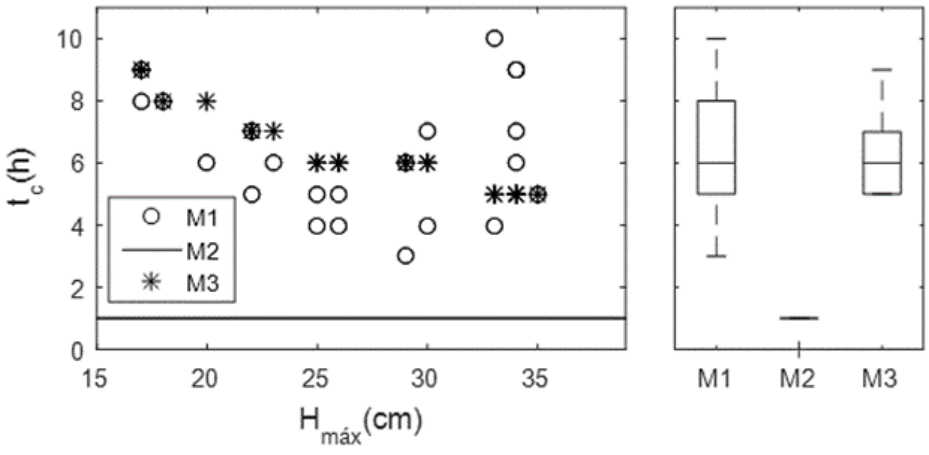

Figura 4 - Tempo de concentração (t_c) calculado para diferentes métodos em eventos com nível médio de água entre 10 e 37 cm, com 1 hora de discretização de temporal. M1 é o tempo de concentração calculado pela relação entre hietograma e hidrograma, M2 é o tempo de concentração calculado por fórmulas empíricas e M3 é o tempo de concentração calculado pela nova metologia proposta.

O tempo de concentração calculado pela metodologia proposta tem duas entradas, o modelo de elevação digital e a relação entre velocidade e vazão sob condições de escoamento de base. O R^2_{ajust} entre o tempo de concentração calculado pelos pontos do hietograma e o hidrograma e o nível máximo

da água é de 0,45, no entanto o tempo médio de concentração é o mesmo, o que mostra que a estrutura da bacia é muito importante para definir o tempo de concentração.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto um método para calcular o tempo de concentração. Buscou-se entender como as características dos eventos (e.g. altura de pico, altura média) se relacionam aos valores de tempo de concentração. Finalmente, foi verificada a eficiência desse método, quando comparado com as fórmulas empíricas.

Partiu-se do princípio que o tempo de concentração está relacionado a dois componentes: i) características do evento de precipitação; e ii) características físicas da bacia hidrográfica, geomorfologia e hidrodinâmica. As características dos eventos são exponencialmente relacionadas com o tempo de concentração. A relação mais forte foi com a precipitação total da água, com R^2_{adj} igual a 0,49.

As fórmulas empíricas, que calculam o tempo de concentração por meio de características físicas da bacia hidrográfica, não tiveram um bom desempenho na bacia analisada quando comparado ao tempo de concentração calculado por meio do hidrograma e hietograma. Porém, o método proposto, que considera toda a estrutura da bacia e o comportamento hidrodinâmico dos rios em condições de escoamento de base, foi eficiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelas bolsas ao CAPES, ao CNPQ e à FAPESC. Ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa através do projeto MCTI/CNPQ/Universal 14/2014. À Companhia de abastecimento de água de Santa Catarina (CASAN) por conceder os dados de nível.

REFERÊNCIAS

BERGSTROM, A.; MCGLYNN, B.; MALLARD, J.; COVINO, T. (2016) "*Watershed structural influences on the distributions of stream network water and solute travel times under baseflow conditions*." Hydrological Processes, v. 30, n. 15, p. 2671–2685.

CHOW, V. T. (1962) "*Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins."* Engineering Experiment Station Bulletin, v. 462, p. 104.

DOOGE, J. C. I. (1973) "*Linear theory of hydrologic systems."* Technical Bulletin, v. 1468, n. 1468, p. 1–337.

ECKHARDT, K. (2005) "*How to construct recursive digital filters for baseflow separation."* Hydrological Processes, v. 19, n. 2, p. 507–515.

EGUSA, T.; OHTE, N.; ODA, T.; SUZUKI, M. (2016) "*Quantifying aggregation and change in runoff source in accordance with catchment area increase in a forested headwater catchment."* Hydrological Processes, v. 30, n. 22, p. 4125–4138.

FANG, X.; THOMPSON, D. B.; CLEVELAND, T. G.; PRADHAN, P.; MALLA, R. (2008) "*Time*

of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods". Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 134, n. 2, p. 202–211.

FONTES, M. L. S.; TONETTA, D.; DALPAZ, L.; ANTÔNIO, R. V.; PETRUCIO, M. M. (2013) "*Dynamics of planktonic prokaryotes and dissolved carbon in a subtropical coastal lake."* Frontiers in Microbiology, v. 4, n. APR, p. 1–9.

GREPPI, M. (2005) *Idrologia*. 4. reimpre ed. Milano.

GRIMALDI, S.; PETROSELLI, A.; TAURO, F.; PORFIRI, M. (2012) "*Time of concentration: a paradox in modern hydrology.*" Hydrological Sciences Journal, v. 57, n. March 2015, p. 217–228.

JOHSNTONE, D.; CROSS, W. P. (1949) "*Elements of applied hydrology"*. First Edti ed. New York: The Ronald Press Company.

KAUFMANN DE ALMEIDA, I.; KAUFMANN ALMEIDA, A.; GARCIA GABAS, S.; ALVES SOBRINHO, T. (2017) "*Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region."* Hydrological Sciences Journal, v. 62, n. 14, p. 2406–2414.

KIRKBY, M. (1976) "*Tests of the random network model, and its application to basin hydrology. Earth Surface Processes"*, v. 1, n. August 1975, p. 197–212.

KIRPICH (1940) "*Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds."* Journal of Civil Engineering, v. 10, p. 362.

LEOPOLD, L. B. (1953) "*Downstream change of velocity in rivers."* American Journal of Science, v. 251, p. 606–624.

MCCUEN, R. H. (2009) "*Uncertainty Analyses of Watershed Time Parameters."* Journal of Hydraulic Engineering, v. 14, n. 5, p. 490–498.

MCCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. (1984) "*Estimating Urban Time of Concentration."* Journal of Hydraulic Engineering, v. 110, n. 7, p. 887.

MEYERSOHN, W. D. (2016) "*Runoff Prediction for Dam Safety Evaluations Based on Variable Time of Concentration."* Journal of Hydrologic Engineering, v. 21, n. 10, p. 0401.

MUÑOZ-VILLERS, L. E.; GEISSERT, D. R.; HOLWERDA, F.; MCDONNELL, J. J. (2016) "*Factors influencing stream baseflow transit times in tropical montane watersheds."* Hydrology and Earth System Sciences, v. 20, n. 4, p. 1621–1635.

NAGY, E. D.; TORMA, P.; BENE, K. (2016) "*Comparing Methods for Computing the Time of Concentration in a Medium-Sized Hungarian Catchment."* Slovak Journal of Civil Engineering, v. 24, n. 4, p. 8–14.

PASSINI, F. (1914) *Relazione sul progetto della bonifica renana*.

RINALDO, A.; MARANI, A.; RIGON, R. (1991) "*Geomorphological dispersion.*" Water Resources Research, v. 27, n. 4, p. 513–525.

RIGON, R.; BANCHERI, M.; FORMETTA, G.; DELAVENNE, A. (2016) "*The geomorphological unit hydrograph from a historical-critical perspective."* Earth Surface Processes and Landforms, v. 41, n. 1, p. 27–37.

SACO, P. M.; KUMAR, P. (2002) "*Kinematic dispersion in stream networks 1. Coupling hydraulic and network geometry."* Water Resources Research, v. 38, n. 11, p. 26-1-26–14.

WHITING, J. A.; GODSEY, S. E. (2016) "*Discontinuous headwater stream networks with stable flowheads, Salmon River basin, Idaho."* Hydrological Processes, v. 30, n. 13, p. 2305–2316.