

## DESEMPENHO DE EQUAÇÃO DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM UMA BACIA RURAL

EDUARDA SILVEIRA GOMES<sup>1</sup>; THAÍS MAGALHÃES POSSA<sup>1</sup>; GUILHERME KRUGER BARTELS<sup>2</sup>; GEORGE MARINO GONÇALVES<sup>1</sup>; GILBERTO LOGUERCIO COLLARES<sup>3</sup>;

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [eduardasilveiragomes@hotmail.com](mailto:eduardasilveiragomes@hotmail.com)

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [thaispossa03@gmail.com](mailto:thaispossa03@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – [guilhermebartels@gmail.com](mailto:guilhermebartels@gmail.com)

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [george.marino.goncalves@gmail.com](mailto:george.marino.goncalves@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [gilbertocollares@gmail.com](mailto:gilbertocollares@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe basicamente um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no exutório (TUCCI, 2012).

O tempo de concentração ( $T_c$ ) é um parâmetro essencial para a análise hidrológica em bacias hidrográficas, inclusive na estimativa das vazões máximas. Dentre todos os parâmetros de tempo, este é o mais utilizado (WONG, 2009). Segundo McCUEN et al. (1984), o tempo de concentração é o tempo necessário para que uma gota d'água percorra superficialmente o ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até seu exutório.

As Bacias rurais possuem um escoamento superficial menor do que as bacias urbanas. Estas bacias detêm superfícies com uma capacidade de infiltração mais elevada, fato que proporciona o retardamento do escoamento, pois no solo a cobertura vegetal do terreno funciona como um agente potencializador da rugosidade, oferecendo resistência ao escoamento (CHAVECA, 1999; RAMINHOS, 2002). Dessa forma, observa-se que o tempo de concentração é um importante parâmetro para se analisar em bacias hidrográficas rurais e sua determinação depende das características topográficas de cada região (SAMPAIO et al., 2011).

Existe uma grande quantidade de fórmulas que fornecem o valor de  $T_c$  em função de características da bacia. Essas fórmulas se baseiam em estudos experimentais a campo ou realizados em laboratório e, portanto, devem ser aplicadas para condições que se aproximem daquelas para quais foram geradas (TUCCI, 2012), como por exemplo a expressão de Kirpich (1940), restringe o seu uso a bacias hidrográficas muito pequenas. Assim, equações de  $T_c$  podem apresentar desempenhos diferentes, de acordo, com as características morfométricas das bacias aplicadas.

O estudo proposto tem por finalidade avaliar o desempenho de 10 equações de tempo de concentração aplicado às condições de uma bacia hidrográfica rural.

## 2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica rural do Arroio do Ouro, uma sub bacia do Arroio Pelotas que se localiza entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo, na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, (Figura 1), sendo que a sua maior parte situa-se no município de Morro Redondo. A bacia possui uma área de aproximadamente 17,42 Km<sup>2</sup> e é ocupada essencialmente por agricultores familiares nos quais em sua maioria, retiram sua renda de atividades desenvolvidas na área.

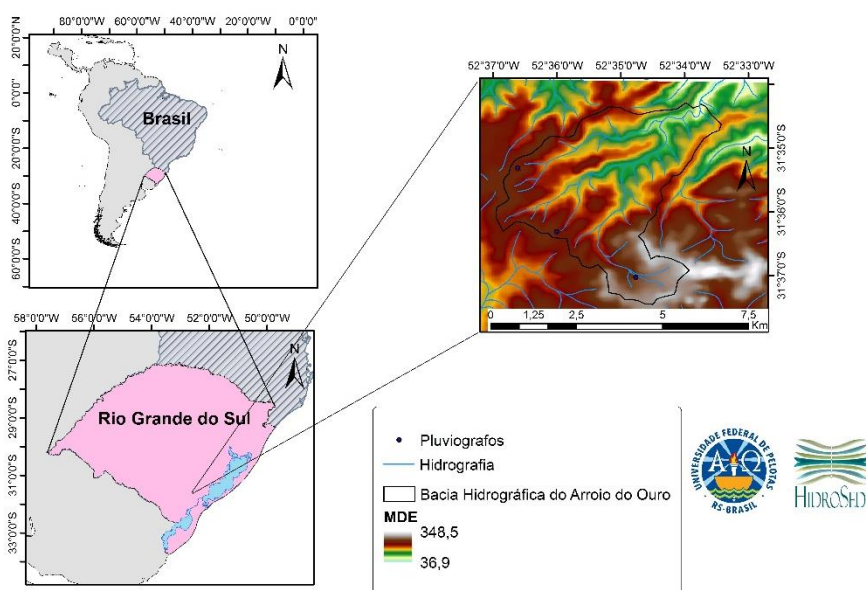


Figura 1. Mapa de localização da Bacia.

Para obtenção dos dados morfométricos necessários para a execução das fórmulas de tempo de concentração, efetuou-se a delimitação automática da bacia através da plataforma colaborativa de análise e mapeamento ARCGIS. O monitoramento da vazão foi realizado com uma estação automática de coletas de dados, localizada no exutório da bacia (Figura 1) e a precipitação obtida em três pluviômetros automáticos distribuídos na bacia (Figura 1).

Selecionou-se para a análise de T<sub>c</sub>, o evento do dia 04/05/2014, que apresentou a maior precipitação acumulada de cinco dias antecedentes ao evento (BARTELS, 2015), uma vez que a precipitação que ocorre sobre o solo umedecido tem maior facilidade de escoamento, levando à estimativa de tempo de concentração inferior ao determinado para o solo seco.

Com objetivo de estimar um valor do tempo de concentração observado (T<sub>co</sub>), mensurou-se T<sub>co</sub> de duas maneiras distintas, uma através da análise do hidrograma e outra através da relação (Gray, 1970), equação 1, onde o tempo de concentração é igual ao tempo de pico sobre 0,6, e adotou-se como tempo de concentração observado a média entre os T<sub>co</sub>'s obtidos.

Para determinação através do hidrograma do evento, observou-se o tempo do pico (T<sub>p</sub>), ou seja o tempo transcorrido desde o início do aumento da vazão até o pico do hidrograma, e com isto foi possível determinar o T<sub>co</sub> (parâmetro de comparação das equações), através da relação (Gray, 1970):

$$T_{co} = T_p / 0,6 \quad (1)$$

Segundo McCuen et al. (1984), e Silveira (2005), o  $T_c$  é a diferença de tempo entre o fim da precipitação efetiva e o fim do escoamento superficial. Entretanto, como é difícil de determinar a precipitação efetiva, no presente trabalho optou-se em usar o fim do evento da precipitação para determinação do tempo de concentração obtido pelo método hidrológico.

O fim do escoamento superficial do rio foi determinado graficamente empregando o logaritmo da relação vazão total x tempo. Neste gráfico, foram desenhadas duas retas, observando a tendência da curva. O ponto de interseção entre elas determina o fim do escoamento superficial (Figura 2). A diferença entre o final da precipitação e o término do escoamento superficial, resulta no  $T_{co}$ .

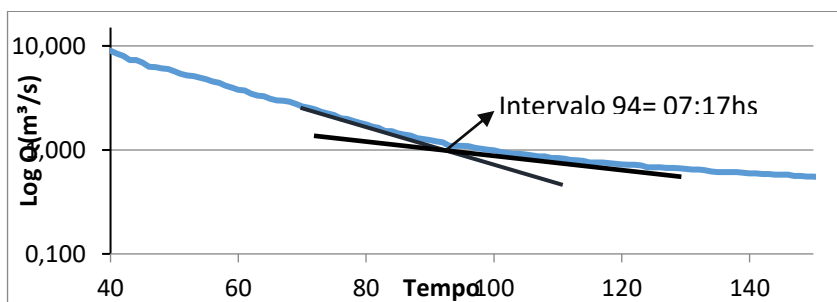


Figura 2: Determinação do fim do escoamento superficial.

Para a obtenção do tempo de concentração calculado foram utilizadas as equações dez observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Equações (métodos) para estimar  $T_c$  em horas.

Nome	Equação	Fonte
Corps Engineers	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$	Silveira (2005)
Dooge	$T_c = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$	Tucci (2004)
Giandotti	$T_c = 0,0559(4,0A^{0,5} + 1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$	Silveira (2005)
Johnstone	$T_c = 0,462L^{0,5}S^{-0,25}$	Tucci (2004)
Kirpich	$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$	Kirpich (1940)
Pasini	$T_c = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$	Lo Bosco et. al. (2002)
Pickering	$T_c = \left(\frac{0,871L}{H}\right)^{0,385}$	Mata Lima et. Al. (2007)
Picking	$T_c = 0,0883L^{0,667}S^{-0,333}$	Silveira (2005)
Vente Chow	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$	Silveira (2005)
Ventura	$T_c = 0,127A^{0,5}S^{-0,5}$	Silveira (2005)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise morfométrica da bacia tem-se a área de drenagem igual a 17,42Km<sup>2</sup>, o comprimento do talvegue principal (L) de 8,36Km, a declividade do Talvegue principal (H) de 187m e a declividade média (S) de 0,1261m/m.

Ao empregar as equações referidas, foi possível obter o tempo de concentração calculado, expresso na Tabela 3. A partir dos resultados observa-se que as equações não demonstraram muita eficiência ao representar o tempo de concentração. Também se observa que a equação de Johnstone demonstrou a

menor variação de tempo de concentração calculado em relação ao observado, com erro médio (EM) de 40% (equação 2).

$$EM (\%) = (Tco - Tcc/Tco) \times 100 \quad (2)$$

Segundo Flavio Reis (2016), cada autor desenvolveu equações adequadas para um determinado tipo de bacia. Sejam elas rurais ou urbanas, pequenas ou grandes, de baixa ou de alta declividade, logo deve-se escolher as expressões que mais se assemelham à bacia que está em análise.

Tabela 2. Resultados da aplicação das equações de Tc e Tco, e os erros médios.

Equação	Tc (min)	EM (%)	Equação	Tc (min)	EM (%)	Tco (min)
Corps Engineers	85	62,22	Pasini	95	57,78	225
Dooge	100	55,56	Pickering	88	60,89	
Giandotti	95	57,78	Picking	44	80,44	
Johnstone	134	40,44	Vente	73	67,56	
Kirpich	45	80,00	Chow			
			Ventura	89	60,44	

#### 4. CONCLUSÕES

Através desta análise foi possível concluir que o tempo de concentração é um parâmetro de difícil de obtenção, uma vez que há sempre uma diferença do valor obtido entre as equações que o determinam. Recomenda-se que para quantificação de um Tc mais fiel as condições, deve-se procurar sempre ajustar a fórmula, ou utilizar um fator de correção específico para a realidade da bacia estudada.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, UFRGS, 2012, 4v.

WONG, T. S.W. Evolution of kinematic wave time of concentration formulas for overland flow. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.14, n. 7, p. 739-744.

BARTELS, G. K. **Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. 2015. 87f. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos). Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas.

GRAY, D.M. **Handbook on the principles of hidrology**. New York. Huntigton: Water Information. Center, 1970.

ALMEIDA, I. K. et al. **Estimativa de tempo de concentração em bacia Hidrográfica**. RS- Brasil, Bento Gonçalves, 2013, p. 1-5.

REIS, F. **Tempo de concentração**. 2016. Disponível em: <<http://www.hidromundo.com.br/tempo-de-concentracao/>>. Acesso em: 05 de Setembro 2018.