

## ESTIMATIVA DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA

*Isabel Kaufmann de Almeida*<sup>1\*</sup> & *Jamil Alexandre Ayach Anache*<sup>2</sup> & *Victor René Almeida*<sup>3</sup> & *Teodorico Alves Sobrinho*<sup>4</sup>

**Resumo** – O tempo de concentração da bacia hidrográfica é utilizado para estimar as vazões máximas nos projetos hidrológicos. O conhecimento do comportamento da bacia, com relação ao tempo de concentração, auxilia na prevenção e minimização das consequências de desastres naturais e na poluição pontual nos recursos hídricos. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho de dez equações empíricas amplamente utilizadas em estudos hidrológicos. Para tanto, os valores do tempo de concentração estimados por essas equações foram comparados aos obtidos da análise de hidrograma resultante do monitoramento hidrológico da sub-bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, Campo Grande, MS. Dentre as equações testadas, a de Giandotti é a que resulta valor de tempo de concentração mais próximo ao obtido pela análise do hidrograma do evento considerado.

**Palavras-Chave** – Recursos hídricos, hidrologia, bacia hidrográfica.

**Abstract** – The concentration time of a drainage basin is used to estimate the maximum flows in hydrological projects. The knowledge of the basin behavior, in relation to the concentration time, helps in minimizing and preventing the consequences of natural disasters and the source pollution of the water resources. This work aimed to evaluate the performance of ten empirical equations largely used in hydrological studies. To do so, the concentration time values estimated using these equations were compared to the time obtained from the hydrograph which resulted from monitored data of Córrego Guariroba drainage basin, Campo Grande, MS. Between the evaluated equations, Giandotti showed to be more adequate to the study area, considering the analyzed events.

**Keywords** – Water resources, hydrology, watershed.

<sup>1</sup> Doutoranda em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), viaeng@uol.com.br.

<sup>2</sup> Mestrando em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), jamil.anache@ufms.br.

<sup>3</sup> Especialista em Engenharia Sanitária, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), viaeng.vra@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor Associado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), bolsista de produtividade CNPq, teodorico.alves@ufms.br.

## INTRODUÇÃO

O tempo de concentração é importante para a análise hidrológica em bacias hidrográficas, sendo essencial na estimativa de vazões máximas. Dentre todos parâmetros de tempo, o tempo de concentração é o mais utilizado (Mc Cuen *et al.*, 1984; Wong 2009). Conforme Pavlovic e Moglen (2008), esse parâmetro reflete a velocidade com que o divisor de águas responde a eventos de precipitação. Fang *et al.* (2007) atentam quanto à importância da precisão na estimativa do tempo de concentração ( $T_C$ ) pois, se o valor do  $T_C$  é subestimado, tem-se como resultado uma vazão de pico superestimada e vice versa.

Na literatura especializada encontram-se diversas definições para o tempo de concentração, juntamente com processos de estimativa relacionados. Segundo Chow et al (1988), o tempo de concentração corresponde ao tempo gasto para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado da bacia até sua foz. Eagleson (1970) define como o tempo necessário para o escoamento superficial atingir o estado de equilíbrio. Mc Cuen *et al.* (1984) afirma que é o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até seu exutório.

Pesquisadores desenvolveram fórmulas empíricas através de métodos experimentais e analíticos para determinar o tempo de concentração (Kirpich, 1940; Wong 2001; entre outros). Estudiosos aplicam a equação unidimensional da onda cinemática para estimar o tempo de fluxo ao longo da bacia hidrográfica e consideram o resultado como sendo o tempo de concentração. A evolução dessa aplicação foi verificada por Wong (2009). Apesar da importância do tempo de concentração nos projetos hidrológicos, os projetistas ficam, muitas vezes confusos com a variabilidade de fórmulas disponíveis na literatura por desconhecerem a aplicação adequada de cada fórmula. Diversas metodologias têm sido frequentemente testadas visando identificar a mais adequada à região de estudo. Sharifi e Hosseini (2011) propuseram método, aplicado em 72 bacias e sub-bacias hidrográficas, para identificar a equação mais eficaz na determinação do tempo de concentração. Fang *et al.* (2008) encontraram ampla diferenças entre os tempos de concentração estimados por diferentes fórmulas que usam parâmetros de bacias hidrográficas. Silveira (2005) avaliou o desempenho de 23 fórmulas para bacias rurais e urbanas e mostrou que o desempenho dessas fórmulas para bacias rurais é melhor que para urbanas.

Nesse contexto, desenvolveu-se este trabalho, tendo como objetivo avaliar o desempenho de dez equações empíricas disponíveis. Para tanto, os valores do tempo de concentração estimados por essas equações foram comparados aos obtidos da análise de hidrograma resultante do monitoramento hidrológico da sub-bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, responsável por parte do abastecimento de água potável para o município de Campo Grande, em Mato Grosso do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do Córrego Guariroba localiza-se no município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, entre os paralelos 20° 28' e 20° 43' de latitude Sul e os meridianos 54° 29' e 54° 11' de longitude Oeste, ocupando área de 36.190 ha (Figura 1).

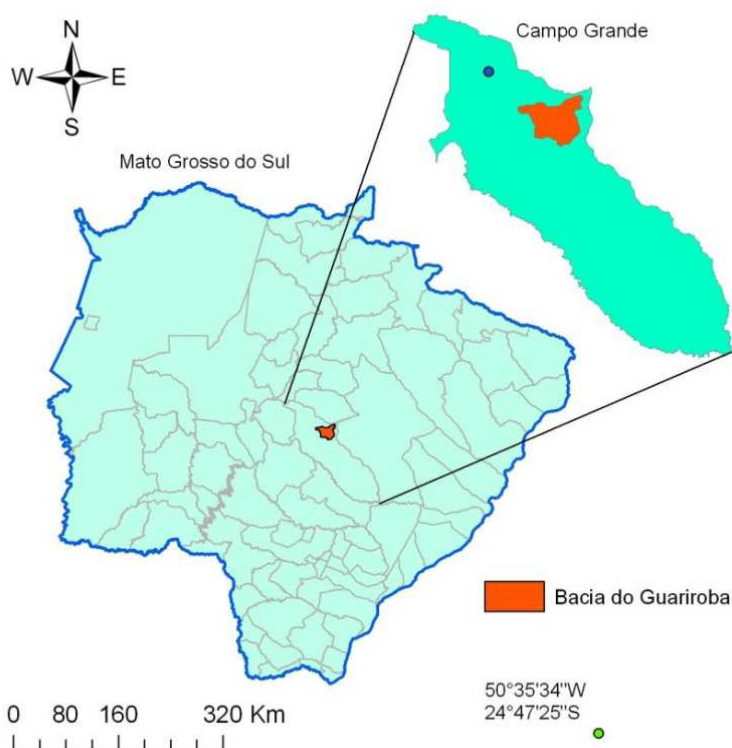


Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia do Córrego Guariroba.

### Caracterização morfométrica da sub-bacia

A caracterização física, dados de elevação e declividade da sub-bacia hidrográfica do Córrego Guariroba foram obtidos com base em carta topográfica 1:100.000 (DSG, 1965) e imagem de satélite 1:5.000 (IKONOS, 2006). Estes dados foram georreferenciados na projeção transversa de mercator (UTM, fuso 21, SAD 69) em ambiente SIG. A malha hidrográfica digitalizada em SIG foi ordenada a partir da metodologia de Strahler (1964).

### Monitoramento de dados fluviométricos

A vazão foi monitorada em seção transversal do curso de água principal, Foz (Latitude: 20°33'5,633" S e Longitude: 54°17'26,646" W).

O monitoramento da cota linimétrica, foi realizado com a instalação de sensor de nível do tipo *Levelogger* com *datalogger*, na seção de interesse. Na determinação da seção de medição de vazão e instalação do linígrafo, deu-se prioridade ao trecho retilíneo do rio com margens paralelas, altas e estáveis, fora da zona de influência de obras existentes e que apresentasse águas tranquilas e protegidas do impacto de objetos carregados pelas enchentes.

A descarga líquida foi medida utilizando-se da metodologia que consiste no uso de molinete hidrométrico para determinar a velocidade da água de forma não estrutural em pontos significativos. A largura do rio na seção de medição determina o número de verticais para a medida da velocidade. Definiu-se o número de verticais e a profundidades para medição de velocidade em cada vertical de acordo com o recomendado por Santos *et al.* (2001). Adotou-se o método da meia seção para cálculo da vazão das seções transversais do curso d'água. A vazão foi monitorada no período de 19/09/2011 a 20/10/2012, com realização de campanhas mensais ou bimestrais, de acordo com as mudanças climáticas. Além das medições de velocidade, também foram realizados levantamentos batimétricos na seção a fim de detectar qualquer variação da mesma em relação à profundidade de água.

## Estimativa de tempo de concentração pela análise de hidrogramas

Para determinação da intensidade e duração da precipitação média sobre a bacia foram utilizados dados das estações pluviométricas Fazenda Saltinho (Latitude: 20°37' 35,526" S e Longitude: 54°21' 38,475" W), Fazenda Rincão dos Tocos (Latitude: 20° 38' 27,274" S e Longitude: 54° 15' 36,288" W) e Fazenda Soberana (Latitude: 20° 40' 52,180" S e Longitude: 54° 19' 1,649"). Buscou-se identificar eventos chuvosos extremos que causaram incremento significativo da vazão na seção monitorada (Foz). A seguir, fez-se a avaliação desses eventos, no que se refere à intensidade, duração e simultaneidade de ocorrência, visando garantir a idealização de que a precipitação tenha ocorrido de maneira homogênea, simultânea e distribuída em toda a sub-bacia hidrográfica do Guariroba. A não ocorrência de precipitação antecedente é fator climático importante para seleção do evento, 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. Da análise do hidrograma gerado obteve-se o tempo do pico ( $T_p$ ), como sendo o tempo transcorrido desde o início do aumento da vazão até o pico do hidrograma, Figura 2.

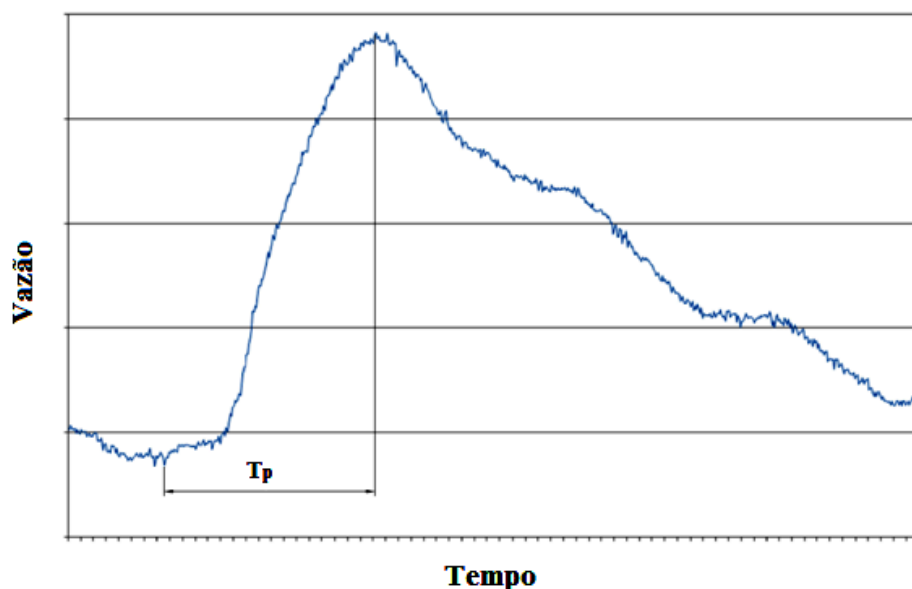


Figura 2. Hidrograma de evento, ilustrando a obtenção do tempo do pico.

Determinado o tempo de pico ( $T_p$ ), o tempo de concentração ( $T_c$ ) foi calculado utilizando-se a relação, (Gray, 1970):

$$T_c = \frac{T_p}{0,6}$$

## Estimativa de tempo de concentração utilizando equações

Através de pesquisa bibliográfica, fez-se levantamento das diferentes metodologias desenvolvidas para o cálculo do tempo de concentração de bacia hidrográfica. Para o estudo foram selecionadas as equações de Corps Engineers, Dooge, Giandotti, Johnstone, Kirpich, Pasini, Picking, Ven te Chow e Ventura, que necessitam apenas das características fisiográficas da bacia (Tabela, 1).

Tabela 1. Equações (métodos) para estimar o Tc em horas.

Nome	Equação	Fonte
Corps Engineers	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$	Silveira (2005)
Dooge	$T_c = 0,365 A^{0,41}S^{-0,17}$	Tucci (2004)
Giandotti	$T_c = 0,0559(4,0A^{0,5} + 1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$	Silveira (2005)
Johnstone	$T_c = 0,462 L^{0,5}S^{-0,25}$	Tucci (2005)
Kirpich	$T_c = 0,0663 L^{0,77}S^{-0,385}$	Kirpich (1940)
Pasini	$T_c = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$	Lo Bosco <i>et al.</i> (2002)
Pickering	$T_c = \left(\frac{0,871 L^3}{H}\right)^{0,385}$	Mata Lima <i>et al.</i> (2007)
Picking	$T_c = 0,0883 L^{0,667}S^{-0,333}$	Silveira (2005)
Ven te Chow	$T_c = 0,160 L^{0,64}S^{-0,32}$	Silveira (2005)
Ventura	$T_c = 0,127 A^{0,5}S^{-0,5}$	Silveira (2005)

Resultados decorrentes das aplicações das equações aos dados da sub-bacia foram comparados ao obtido da análise do hidrograma do evento de precipitação adotado.

Na sequência, foram calculadas as diferenças percentuais entre o valor de Tc obtido da análise do hidrograma com os valores obtidos pela aplicação das equações selecionadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise morfométrica, a área total (A) drenada pela bacia é de aproximadamente 362 km<sup>2</sup>, o comprimento do talvegue principal (L) é de aproximadamente 32 km, a diferença de cotas, de montante a jusante do talvegue principal (H) é de 100 m e sua declividade média é de 0,00312 m/m. Os resultados da aplicação das equações de Corps Engineers, Dooge, Giandotti, Johnstone, Kirpich, Pasini, Picking, Ven te Chow e Ventura estão apresentados na Tabela 2. Os resultados estão arredondados a duas casas decimais.

Tabela 2. Valores de Tc obtidos com a aplicação das equações selecionadas.

Método	Tc (hs)	Método	Tc (hs)
Corps Engineers	7,99	Pasini	43,25
Dooge	10,90	Pickering	8,85
Giandotti	21,93	Picking	6,10
Johnstone	11,08	Ven te Chow	9,34
Kirpich	8,84	Ventura	43,24

Após a análise dos dados disponíveis adotou-se o evento chuvoso de curta duração e significativa intensidade ocorrido em 23 de fevereiro de 2012 com os seguintes registros: Fazenda Saltinho (das 10:48 às 15:22, 44,25 mm), Fazenda Rincão dos Tocos (das 11:25 às 15:40, 27,00 mm) e Fazenda Soberana (das 11:11 às 15:45, 19,00 mm). Dentre todos os analisados, esse evento foi escolhido por ter ocorrido de maneira distribuída na bacia, com registro simultâneo nas três estações pluviométricas monitoradas e pela inexistência de registros de ocorrência de precipitação significativa nos cinco dias que antecederam o evento.

Fez-se a análise do hidrograma relativo ao evento selecionado. O tempo transcorrido desde o início do aumento da vazão (12:57 de 23 de fevereiro de 2012) até o pico do hidrograma (02:07 de 24 de fevereiro de 2012) foi de 13 horas e 10 minutos. A seguir, dividiu-se o tempo de pico por 0,6 obteve-se como resultado o tempo de concentração estimado de aproximadamente 21 horas e 56 minutos para a sub-bacia hidrográfica do Guariroba.

As diferenças percentuais entre o valor de Tc obtido da análise do hidrograma e o valor obtido pela aplicação das equações avaliadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Diferenças entre os valores de Tc obtidos com as equações e análise do hidrograma

Método	Dif. (%)	Método	Dif. (%)
Corps Engineers	63,58	Pasini	-97,13
Dooge	50,32	Picking	72,20
Giandotti	0,05	Pickering	59,67
Johnstone	49,50	Vente Chow	57,43
Kirpich	59,71	Ventura	-97,08

As equações utilizadas neste trabalho foram desenvolvidas para bacias rurais. No entanto, a variedade de resultados obtidos demonstram que as mesmas foram desenvolvidas em bacias específicas, com características distintas e situações diferentes entre si e diferentes, também, das encontradas na sub-bacia do Guariroba.

O valor do tempo de concentração estimado pela equação de Pasini apresentou a maior diferença percentual, evidenciando que, dentre os métodos analisados, é o que mais se distancia do resultado obtido da análise do hidrograma. O método de Giandotti apresentou a menor diferença percentual.

Neste trabalho, considerou-se apenas um evento de precipitação. Para melhor estimativa do valor do tempo de concentração da sub-bacia estudada, faz-se necessário a análise de número maior de eventos significativos e que os mesmos sejam monitorados de maneira contínua e efetiva em toda a área da sub-bacia.

## CONCLUSÃO

Dentre as equações testadas, a de Giandotti foi a que mais se adequou ao estudo realizado na sub-bacia do Guariroba, apresentando valor de Tempo de Concentração mais próximo ao obtido pela análise do hidrograma do evento considerado.

## REFERÊNCIAS

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1988) *Applied hydrology*. New York. McGraw-Hill, 570 p.



DSG (Diretoria do Serviço Geográfico). (1979). Carta Lagoa Rica. Escala 1:100.000. *Ministério do Exército*. Região Centro-Oeste do Brasil. Carta.

EAGLESON, P. S. (1970). *Dynamic hydrology*. New York. McGraw-Hill, 462 p.

FANG, X., THOMPSON, D. B., CLEVELAND, T. G., PRADHAN, P., and MALLA, R. (2008). Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 134 (2), pp. 202–211.

FANG, X., THOMPSON, D. B., CLEVELAND, T. G., and PRADHAN, P. (2007). Variations of time of concentration estimates using NRCS velocity method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133 (4), pp. 314–322.

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

KIRPICH, Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10 (6), pp.362.

LO BOSCO, D., LEONARDI, G., SCOPELLITI, F. (2002). *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*. Italy: Facoltà di Ingegneria, Università Degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, (Serie didattica).

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. (2007). Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Rev. Esc. Minas* 60 (3), pp. 525-536.

MC CUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W. J., (1984). Estimating urban time of concentration. *Journal of Hydraulic Engineering* 110 (7), pp 887-904.

PAVLOVIC, S. B., and MOGLEN, G. E. (2008). Discretization issues in travel time calculation. *Journal of Hydrologic Engineering* 13(2), pp. 71–79.

SHARIFI, S. AND 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* 137 (11), pp. 712-719.

SILVEIRA, A.L.L. (2005). Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10, pp.5-23.

WONG, T. S.W. (2009). Evolution of kinematic wave time of concentration formulas for overland flow. *Journal of Hydrologic Engineering* 14 (7), pp. 739-744.

WONG, T. S. W. (2001). Formulas for time of travel in channel with upstream inflow. *Journal of Hydrologic Engineering* 6 (5), pp. 416–422.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F.C. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba-PR, 372p.

S. GRIMALDI, A. PETROSELLI, F. TAURO, and M. PORFIRI. (2012) Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrological Sciences Journal* 57 (2), pp. 217-228.

STRAHLER, A. N. (1964). *Quantitative Geomorphology of Basin and Channel Networks: Handbook of Applied Hydrology*. Mc graw Hill, New York, pp. 4, 39-4, 76.

TUCCI, C. E. M. (2005) *Modelos hidrológicos*. 2 ed. Porto Alegre. Ed. UFRGS, 669p.

TUCCI, C. E. M. (2004) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3 ed. Porto Alegre. Ed. UFRGS, 944p.