

## AVALIAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DO CERRADO DE MINAS GERAIS

### **João Carlos Pereira Maia**

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
joao.maia@ufu.br

### **Hudson de Paula Carvalho**

Doutor em Irrigação e Drenagem, professor Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
hudsonpc@ufu.br

### **Ially Samilly Queiroz Entreportes**

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
iallysamilly@hotmail.com

### **Gabriel Oliveira Silva**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
gabriel2009@hotmail.com

### **Hugo Rolim de Souza**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
hrolim3@gmail.com

### **Pedro Corsino Durant**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
pedrocorsino\_15@hotmail.com

### **Roberto Terumi Atarassi**

Doutor em Irrigação e Drenagem, professor Universidade Federal de Uberlândia (UFU),  
Uberlândia, MG, Brasil  
robertota@ufu.br

## RESUMO

Este estudo tem por objetivo conhecer e analisar o tempo de concentração (tc) da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo em Uberlândia-MG, por meio de hidrogramas obtidos no local e posteriormente compará-lo com o resultado de quatro equações empíricas

fornechas pela literatura. Para obtenção de parâmetros como a área, declividade, comprimento do curso d'água principal e a caracterização do uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens multiespectrais com resolução mínima de 30 m que, juntamente com o modelo digital de elevação e o software QGIS 2.18, possibilitaram traçar a malha hídrica da bacia hidrográfica estudada e obter os parâmetros necessários para o estudo. Para a obtenção dos hidrogramas, a bacia já contava com instrumentos para aferição do nível da água no córrego principal e também dos pluviômetros. Como resultado desta pesquisa notou-se que, dentre as quatro equações estudadas, todas apresentaram discrepância do valor médio real obtido pelos hidrogramas (56 min), concluindo que quando se extrapola o uso da equação empírica para uma bacia com características distintas da bacia que originou a equação, esta pode apresentar valores discordantes do real.

**Palavras-chave:** Equações. Hidrogramas. Parâmetros.

## **EVALUATION OF CONCENTRATION TIME IN A SMALL WATER BASIN IN THE CERRADO OF MINAS GERAIS STATE**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to know and analyze the time of concentration ( $t_c$ ) of the Stream Fundo Hydrographic Basin in Uberlândia-MG, using hydrographs obtained at the site and then compare it with the results of four empirical equations provided by the literature. In order to obtain parameters such as area, slope, length of the main watercourse and characterization of the use and occupation of the soil, multispectral images with a minimum resolution of 30 m were used, which together with the digital elevation model and the QGIS 2.18 software, made it possible to trace the water network of the studied basin and to obtain the necessary parameters for the study. In order to obtain the hydrographs, the basin already had instruments to measure the water level of the respective Stream Fundo and also the rain gauges. As a result of this research, it was observed that among the four equations studied, all presented a discrepancy of the average real value obtained by the hydrograms (56 min), concluding that when the empirical equation is extrapolated to a basin with distinct characteristics of the basin originated the equation, it can present discordant values of the real.

**Keywords:** Equations. Hydrograms. Parameters

## **.1 INTRODUÇÃO**

Bacia hidrográfica é um conceito que determina o total de uma área de terra que drena as águas superficiais a um único ponto de saída. Em outras palavras, bacia hidrográfica é entendida como uma área em que o conjunto de suas águas superficiais converge em direção a um determinado local. Através da topografia dos terrenos, é possível reconhecer os limites de uma bacia hidrográfica. Muitas vezes, a inclinação dos terrenos está voltada na direção do rio principal. Para delimitar tais limites, localiza-se o ponto mais baixo da bacia hidrográfica, também denominado exutório (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

Conhecer as características e especificidades de uma bacia hidrográfica é importante para que haja um melhor entendimento das variáveis existentes em relação ao estudo de bacias, conjuntamente com a possibilidade de poder conhecer e aderir à tecnologias adequadas ao manejo sustentável de áreas que compõem a bacia hidrográfica.

Para determinar as particularidades de uma bacia hidrográfica é necessário conhecer o comportamento de uma variável no decorrer do tempo e do espaço, e suas transformações e agregações de fenômenos. Por consequência, pode-se prever o comportamento da variável em estudo e os seus efeitos em uma escala espaço-temporal. Entre os fenômenos ocorrentes, cita-se a transformação de precipitação em vazão. Esta transformação é um dos mais complexos fenômenos envolvidos em uma bacia hidrográfica, em virtude de diversas variáveis determinantes, como por exemplo, tipo de solo, uso e ocupação do solo, umidade do solo, declividade dos canais, forma da bacia, entre outros (PEREIRA et al., 2016). Quando a precipitação incide sobre a bacia hidrográfica uma parte da água ficará retida no terreno, outra parte infiltrará e o restante escoará pela superfície do solo, ocasionando o escoamento superficial, o qual é definido como o processo que ocorre após a intensidade da precipitação superar a capacidade de infiltração da água no solo e de serem preenchidos os orifícios da superfície pela água da chuva (LINSLEY et al., 1975).

Dentre as variáveis que circundam o estudo de bacias hidrográficas, o tempo de concentração ( $t_c$ ) é uma variável de suma importância, pois seu valor é utilizado em diversas equações e metodologias para estimativas de vazões máximas. O tempo de concentração é

o tempo que leva para que toda a precipitação ocorrida na bacia contribua para a vazão na seção estudada.

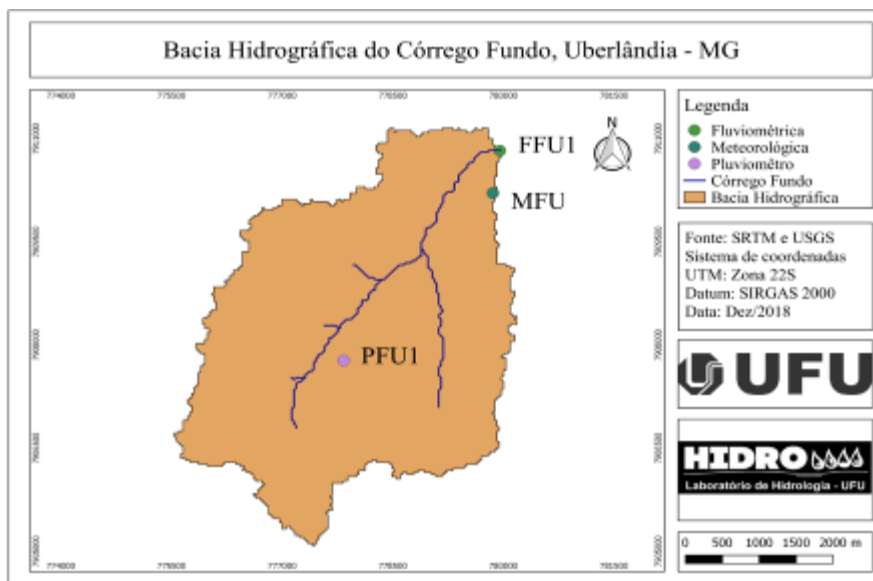
Existem diversas equações para estimativa do tempo de concentração em uma bacia hidrográfica, sendo a maioria delas empíricas, o que exige que o desempenho das equações seja avaliado *in situ*. Mota (2012) avaliou diversas equações para a estimativa do tempo de concentração em uma bacia hidrográfica rural no Estado de Santa Catarina e verificou que as fórmulas existentes subestimaram os valores de tempo de concentração, apresentando erros maiores que 90% em relação ao tempo de concentração medido na bacia hidrográfica.

O presente estudo objetiva estimar o tempo de concentração, por meio do hidrograma na Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, e compará-lo com o tempo estimado por quatro equações empíricas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A bacia hidrográfica do Córrego Fundo possui área total de 17,80 km<sup>2</sup> (Figura 1), localizada no setor oeste da cidade de Uberlândia, tendo como principal formador o Córrego Fundo, afluente do Rio Uberabinha. O Córrego Fundo possui comprimento de 5,73 km e declividade de 0,02 m m<sup>-1</sup>. A bacia apresenta oito classes de uso predominante do solo (Figura 2), sendo área edificada, represa, vereda, pastagem de boa qualidade, vegetação densa, cultura perene, cultura anual e rodovia pavimentada, com áreas de: 3,42; 0,12; 1,70; 9,44; 2,20; 0,34; 0,40 e 0,19 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Figura 1: Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo.

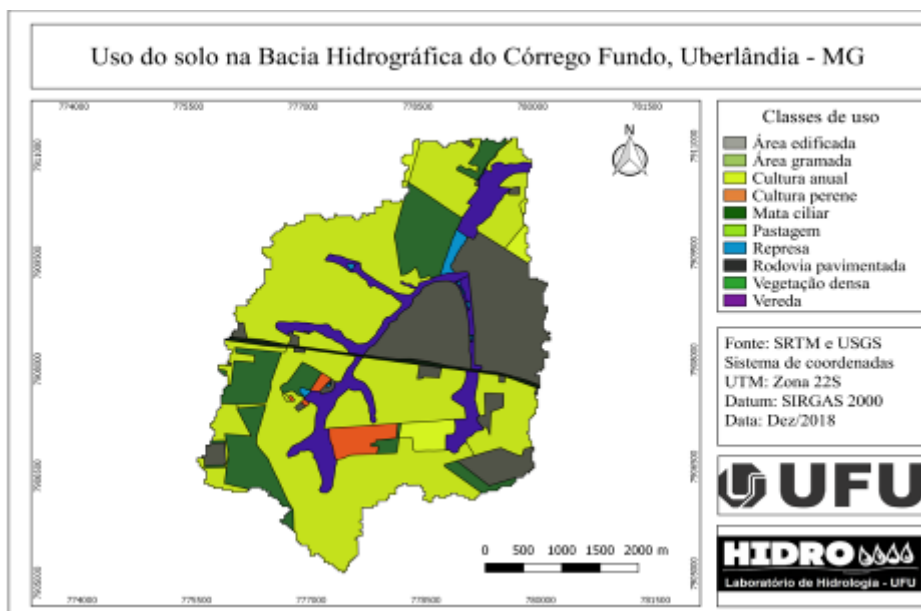


<sup>1</sup> Nota: A sigla “FFU1” indica a localização da estação fluviométrica na bacia do córrego Fundo.

<sup>2</sup> Nota: A sigla “MFU” indica a localização da estação meteorológica na Fazenda Capim Branco.

<sup>3</sup> Nota: A sigla “PFU1” indica a localização do pluviômetro na mesma bacia.

Figura 2: Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Fundo.



Para a caracterização do uso do solo, declividade e cálculo de área da bacia hidrográfica foi utilizada carta de relevo disponibilizada pelo site U.S. Geological Survey

<<https://earthexplorer.usgs.gov/>>, em formato GEOTIFF, resolução espacial de 30 metros e em Sistemas de Coordenadas geográficas e Datum SIRGAS 2000.

As cartas foram trabalhadas no Software de Sistema de Informação Geográfica com código aberto, conhecido como QGIS para a interpolação, e conseqüentemente a obtenção de informações complementares. Verdades de campo foram obtidas por meio de visitas in loco, para aferição da malha hídrica e dos tipos de uso e ocupação do solo.

Os parâmetros utilizados neste trabalho foram vazão e chuva, monitoradas por meio das estações fluviométricas e pluviométricas instaladas na bacia, as quais já se encontravam devidamente instaladas e em operação. A vazão foi obtida indiretamente, por meio da curva-chave, utilizando-se dados de nível da água (cota) medida no Córrego Fundo.

Neste estudo foram avaliadas quatro equações empíricas, utilizadas para a estimativa do tempo de concentração (Equações 1 a 4), conforme parametrização citada em Silveira (2016).

Equação de Izzard (1)

$$t_c = \frac{85,5 * \left( \frac{i}{36286} + C_r \right) * L^{0,33}}{i^{-0,667} * S^{0,333}}$$

Onde:  $t_c$  = tempo de concentração em horas;  $i$  = intensidade da chuva na bacia hidrográfica em  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $L$  = comprimento do curso d'água principal, em km;  $S$  = declividade, dada pela razão entre o desnível máximo e o comprimento  $L$  do percurso do rio principal da bacia, em  $\text{m m}^{-1}$ ;  $C_r$  = coeficiente que considera a superfície da bacia, adimensional (tabelado).

Equação de SCS Lag (2)

$$t_c = \frac{0,057 * \left( \frac{1000}{CN_m - 9} \right)^{0,7} * L^{0,8}}{S^{0,5}}$$

Onde:  $CN_m$  = curva número médio da bacia hidrográfica, adimensional.

Equação de Simas-Hawkins (3)

$$t_c = \frac{0,322 * A^{0,594} * S_{scs}^{0,313}}{L^{0,594} * S^{0,150}}$$

Onde:  $S_{scs}$  = armazenamento de água no solo pelo método do Soil Conservation Service (SCS, 1986), em mm; A = área da bacia, em km<sup>2</sup>.

Equação de Giandotti (4)

$$t_c = \frac{0,0559 * (4 * A^{0,5} + 1,5 * L)}{L^{0,5} * S^{0,5}}$$

A análise estatística das quatro equações do presente estudo seguiu a metodologia dos erros absolutos e relativos, conforme explicitado nas Equações 4 e 5. O erro relativo é dado pela razão do erro absoluto pelo valor mais verdadeiro ou provável, expresso em porcentagem.

$$EA = T_{c_{calc}} - T_{c_{obs}} \quad (5)$$

$$ER = \frac{EA}{T_{c_{obs}}} * 100 \quad (6)$$

Onde: EA = erro absoluto, em min.; ER = erro relativo, em %;  $t_{c_{obs}}$  = tempo de concentração observado, obtido no hidrograma da bacia, em min.;  $t_{c_{calc}}$  = tempo de concentração calculado em cada equação empírica, em min.

Os valores de área (A), declividade (S) e comprimento do curso d'água principal (L), foram obtidos por meio do software livre de informação geográfica QGIS 2.18.16. Segundo Mello e Silva (2013) os valores da curva número médio de cada bacia hidrográfica ( $\overline{CN}$ ), pode ser obtido levando-se em consideração as diferentes situações de uso do solo e grupos hidrológicos, conforme equação 7.

A partir da Tabela 1 é possível observar os valores de CN que variam de 1 a 100.

**Tabela 1:** Valores de CN.

Bacia Hidrográfica	Uso do Solo	Grupo Hidrológico	Área	CN
Fundo	Área edificada	C	3,42	90
	Represa	C	0,12	98
	Vereda	C	1,70	74
	Pastagem boa	C	9,44	74
	Vegetação densa	C	2,20	70
	Cultura perene	C	0,34	83
	Cultura anual	C	0,40	82
	Estrada pavimentada	C	0,19	89
	<b><math>\overline{CN}</math></b>	-	-	<b>77</b>

$$\overline{CN} = \frac{(A_1 * CN) + (A_2 * CN) + \dots + (A_n * CN)}{A_{bh}} \quad (7)$$

Onde: ( $\overline{CN}$ ) = curva número médio da bacia hidrográfica, adimensional;  $A_{bh}$  = Área total da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;  $A_1$  = área corresponde a determinado uso do solo, em km<sup>2</sup>.

Segundo Silveira (2005), o coeficiente que considera a superfície da bacia ( $C_r$ ) é de 0,06, sendo este um parâmetro fixo, segundo o autor. Outro parâmetro analisado foi o armazenamento de água no solo ( $S_{scs}$ ), calculado através da equação 8, descrita pelo Soil Conservation Service (SCS, 1986), que resultou no valor de 75,87 para a bacia em estudo.

$$\overline{CN} = \frac{(A_1 * CN) + (A_2 * CN) + \dots + (A_n * CN)}{A_{bh}} \quad (8)$$



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

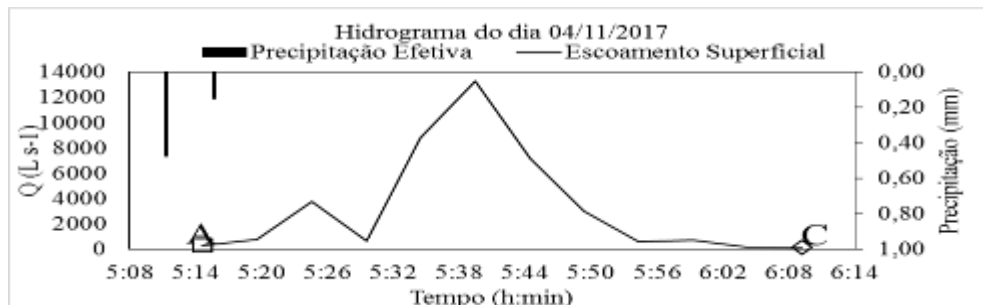
A estimativa do tempo de concentração e da intensidade da chuva da bacia hidrográfica em estudo, foi feita a partir de 12 hidrogramas (Tabela 2), obtidos nos anos de 2017 e 2018.

**Tabela 2:** Valores do tempo de concentração e da intensidade da chuva na Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, obtidos através do hidrograma.

Data	Tc (min)	Intensidade (mm h <sup>-1</sup> )
24/10/2017	55	11,82
28/10/2017	35	15,76
04/11/2017	60	6,85
17/11/2017	20	13,54
04/12/2017	70	7,42
22/12/2017	110	3,01
25/12/2017	50	2,59
24/01/2018	35	2,81
13/02/2018	50	11,64
19/02/2018	110	2,68
29/03/2018	35	2,61
12/04/2018	40	13,63
<b>Média</b>	<b>56</b>	<b>7,86</b>

Na Figura 3 nota-se o hidrograma do dia 04/11/2017, onde o tempo de concentração foi de 60 minutos, sendo possível perceber a ascensão, o pico e a recessão de forma clara e bem pronunciada.

**Figura 3:** Hidrograma característico da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, Uberlândia-MG.



Na Tabela 3 estão dispostos os valores estimados do tempo de concentração da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, obtidos por meio das equações empíricas em estudo.

**Tabela 3:** Tempo de concentração da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo com base nas equações empíricas estudadas.

Equação Empírica	Tc (min)	Erros	
		Absoluto (min)	Relativo (%)
Giandotti	273	-217	-387
SCS Lag	692	-636	-1135
Simas-Hawkins	269	-213	-381
Izzard (valor médio, obtido a partir dos 12 eventos de chuva da Tabela 2)	476	-420	-749

Com base nos resultados obtidos a partir dos 12 hidrogramas levantados na bacia em estudo, foi possível estimar o valor médio do tempo de concentração, o qual obteve o valor de 56 minutos, ou seja, são necessários 56 minutos para que toda a precipitação da bacia contribua com a vazão no curso d'água principal.

Nota-se a princípio que as equações de Giandotti e Simas-Hawkins apresentaram os valores mais baixos de (tc) e também valores similares dentre as equações estudadas. Dentre as variáveis que compõe estas equações, o armazenamento de água no solo ( $S_{scs}$ ) e o que diferencia estas duas. Sabe-se que a equação de Giandotti foi desenvolvida para bacias

rurais na Itália, mas pouco se conhece sobre os estudos que determinaram a formulação da equação em questão. A equação traz como variáveis apenas dados físicos da bacia, dentre os quais a área, o comprimento do curso d'água principal e a declividade, não levando em consideração as condições do uso do solo na bacia e as perdas por percolação no solo. A equação de Simas-Hawkins foi desenvolvida nos EUA com aplicabilidade em 168 bacias rurais com área inferior a 15 km<sup>2</sup> segundo Silveira (2005), ou seja, área inferior ao tamanho da bacia em estudo. Apesar de levar em consideração o armazenamento de água no solo, a equação de Simas-Hawkins desconsidera o uso e ocupação do solo da bacia, o que para a bacia em estudo pode ocasionar um equívoco no (tc) observado a parcela significativa de urbanização na área.

A equação de Izzard apresentou valor de (tc) de 476 minutos, ou seja, superior às duas equações citadas anteriormente. Dentre as equações trabalhadas neste estudo, a equação de Izzard apresenta duas variáveis distintas das demais, sendo elas a intensidade da chuva na bacia hidrográfica e o coeficiente que considera a superfície da bacia, o qual é tabelado. A equação de Izzard, também desenvolvida nos EUA é uma das poucas equações que foi desenvolvida em estudos para bacias com parcelas urbanas e rurais. Apesar do fato anteriormente citado, um fato intrigante e que esta equação desconsidera o tamanho da bacia dentre as variáveis, o que significativamente corrobora para a ocorrência de erros, se levarmos em consideração que podemos utilizar esta equação para grandes e pequenas bacias.

Por fim tem-se a equação de SCS Lag que apesar de utilizar o parâmetro curva número, o qual considera o uso e ocupação do solo, apresentou o maior erro relativo neste estudo, quando comparado com o valor médio encontrado nos hidrogramas da bacia. Um fator chave que pode explicar a má aplicabilidade desta equação pode-se relacionar com o fato desta não considerar o tamanho da área no cálculo do tempo de concentração, visto que a equação foi desenvolvida para bacias com áreas inferiores a oito km<sup>2</sup>, segundo Tucci (2005).

#### **4 CONCLUSÕES**

Neste estudo para a Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, as equações de Simas-Hawkins, Giandotti, SCS Lag e Izzard não apresentarem desempenho satisfatório para a bacia, com erros relativos que variam entre 381 e 1.135%.

Desta forma, sugere-se mais estudos relacionados ao desenvolvimento de equações empíricas específicas para a bacia hidrográfica do Córrego Fundo.

#### **REFERÊNCIAS**

LINSLEY Jr., R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hydrology for engineers**. New York: McGraw-Hill Book Co, 1975. 482 p.

MOTA, A. A. **Tempo de Concentração em Pequena Bacia Experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

PEREIRA, M. A. F.; CAMPO, G. F. N.; KOBIYAMA, M.; CASTRO, N. M. R. Regionalização com geometria hidráulica e fractal: estudo de caso com hidrograma unitário instantâneo geomorfológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p.347-359, 2016.

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.

SILVEIRA, L. B. P. **Tempo de concentração em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia-MG**. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2005. 668 p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 328 p.

---

Recebido em 02/12/2019.

Aceito em 12/12/2019.