

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE EQUAÇÕES DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO SALGADO EM GARARU/SE

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN CONCENTRATION-TIME EQUATIONS IN THE HYDROGRAPHIC BALANCE OF THE SALGADO RIVER IN GARARU/SE

Carlos Gomes da Silva Júnior

Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental. E-mail: cgomes.aju@hotmail.com

Zacarias Caetano Vieira

Professor do curso de Edificações do Instituto Federal de Sergipe. E-mail: zacariascaetano@yahoo.com.br

Daniel Luiz Santos

Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental. E-mail: danluz0508@gmail.com

Resumo: A determinação do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica tem grande importância para estudos de ocorrência de cheias e adoção de medidas estruturais e não estruturais que mitiguem esse problema. Diante do exposto, o presente trabalho objetiva calcular o tempo de concentração da bacia hidrográfica do riacho Salgado, localizado no município de Gararu/SE, a partir de seis fórmulas diferentes, para posterior comparação e análise dos resultados. Para a realização deste trabalho foi feito um levantamento bibliográfico sobre as diversas equações empíricas desenvolvidas para o cálculo do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, sendo escolhidas, dentre as encontradas, seis equações: Equação de Kirpich, Equação de Kirpich Modificada, Equação de Dooge, Equação de Johnstone, Equação de Ventura e Equação de Pickering. Optou-se por trabalhar apenas com equações que tivessem como dados de entrada as características fisiográficas da bacia. Os valores do tempo de concentração variaram de 67,76 minutos a 435,48 minutos, resultando em um tempo médio de 194,17 minutos. Desconsiderando os valores extremos (mínimo e máximo), o valor médio do tempo de concentração foi de 165,45 minutos. Os resultados obtidos com as diferentes equações resultaram em uma alta variabilidade dos valores para uma mesma bacia, resultando das condições iniciais para as quais foi preparada cada equação. Conclui-se que, para estimar o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica

utilizando equações empíricas, devem-se aplicar equações que foram desenvolvidas para bacias com características similares (áreas, declividade, tipo de área, etc.) para que os resultados obtidos sejam o mais próximo da realidade.

Palavras-Chave: Tempo de Concentração. Equações Empíricas. Bacia Hidrográfica.

Abstract: The determination of the time of concentration of a water catchment area has great importance for studies of flood occurrence and future directions of structural and non-structural measures that mitigate the problem. In the face of the present work aims to calculate the time of concentration of the Salt River basin, located in the municipality of Gararu - SE, from six different formulas, for later comparison and analysis of results. It was initially made a bibliographic survey about the various empirical equations developed for the calculation of the time of concentration of a water catchment area, being chosen, among those, six equations: Kirpich, modified Kirpich, Dooge, Johnstone, Ventura and Pickering. The values of the time of concentration ranged from 67.76 minute 435.48 minutes, resulting in an average time of 194.17 minutes. Disregarding the extreme values (minimum and maximum), the average value of the time of concentration was 165.45 minutes. The results obtained with the different equations have resulted in a high variability of concentration-time values to a same basin, resulting from the initial conditions for which were prepared each equation. It is

concluded that, in order to estimate time of concentration of a water catchment area by using empirical equations, one must seek to apply equations that were developed for watersheds with similar characteristics (areas, slope, type of area etc) so that the results obtained are as close as possible to reality.

Keywords: Time of Concentration. Empirical Equations. Hydrographic Basin.

INTRODUÇÃO

O tempo de concentração (T_c) é definido por Araújo et al. (2011) como o tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle, fazendo com que exista várias fórmulas e maneiras para se estimar o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica. Existem alguns fatores que influenciam no tempo de concentração de uma bacia, são eles: forma, declividade média, tipo e grau da cobertura vegetal, comprimento e declividade do curso principal e de seus afluentes, distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e sua saída, bem como as condições do solo em que a bacia se encontra no início da precipitação.

Segundo Ven Te Chow (1988 apud Silveira, 2016), o tempo de concentração corresponde ao tempo necessário para que o escoamento de superfície desloque do ponto mais afastado da bacia hidrográfica até um ponto em consideração. Mc Cuen et al. (1984 apud Silveira, 2016) definem como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante da bacia (em percurso hidráulico) até seu exutório.

A determinação do tempo de concentração

de uma bacia hidrográfica tem grande importância para os estudos de ocorrência de enchentes e futuras indicações de medidas estruturais e não estruturais que amenizem o problema. Os modelos de transformação de chuva em vazão, como o método racional e o hidrograma unitário, amplamente utilizados no Brasil, utilizam-se de dados de tempo de concentração (ESTEVES; MENDIONDO, 2003 apud FLIZIKOWSKI; PELEGRINO; MAIA, 2008).

Mata-lima et al. (2007) dividem os métodos de cálculos de tempo de concentração em estritamente empíricos e semiempíricos. Esses autores definem métodos estritamente empíricos como aqueles que resultam da análise estatística de grandes volumes de informação de campo e que conduzem à obtenção de equações de regressão, baseando-se no estabelecimento de uma relação entre o tempo de concentração e as características fisiográficas da bacia através da análise de regressão linear múltipla, o que leva a que sua aplicação seja mais segura em situações que estiveram na base do seu desenvolvimento. Já os métodos semiempíricos são aqueles que não são estritamente empíricos e estáticos por incluírem parâmetros (tipo de vegetação e densidade, tipo de ocupação e uso do solo, topografia) que variam em função das características ocupacionais da bacia, denotando, portanto, flexibilidade no uso.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo calcular o tempo de concentração da bacia hidrográfica do riacho Salgado, localizado no município de Gararu/SE, a partir de seis fórmulas diferentes, para posterior comparação e análise dos resultados.

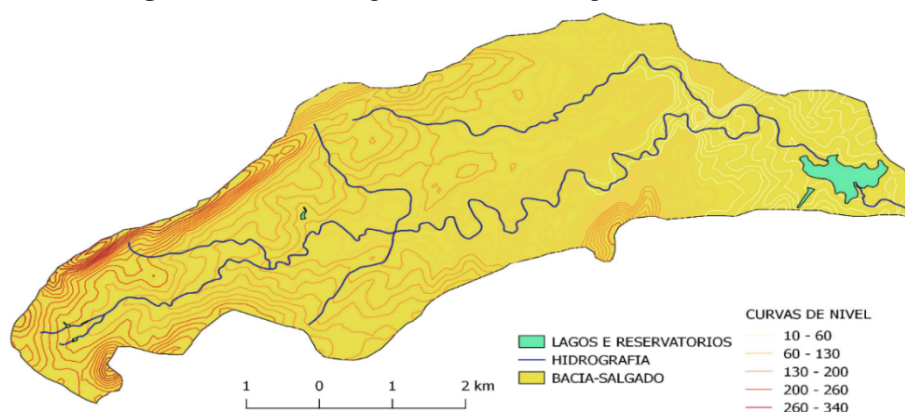
MATERIAIS E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

O município de Gararu está localizado no extremo norte do Estado de Sergipe, limitando-se ao oeste com os municípios de Porto da Folha e Nossa Senhora da Glória, ao sul com Gracho Cardoso, ao leste com Itabi e Nossa Senhora de Lourdes e ao norte com o estado de Alagoas. A área municipal está incluída no

Polígono das Secas, apresentando um clima do tipo semiárido, temperatura média anual de 25°C, precipitação pluviométrica média anual de 700mm, com período chuvoso de março a agosto (BOMFIM; COSTA; BENVENUTI, 2008). O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do riacho Salgado, localizado no Município de Gararu/SE, utilizando-se o software gratuito QGIS (QGIS Development Team, 2018).

Figura 1 - Bacia Hidrográfica do riacho Salgado em Gararu – SE



Fonte: Adaptado de SEMARH (2016).

Metodologia

Para a realização deste trabalho, foi feito um levantamento bibliográfico sobre as diversas equações empíricas desenvolvidas para o cálculo do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, sendo escolhidas, dentre as encontradas, seis equações: Equação de Kirpich, Equação de Kirpich Modificada, Equação de Dooge, Equação de Johnstone, Equação de Ventura e Equação de Pickering. Vale salientar que se optou por trabalhar apenas com equações que tivessem como dados de entrada as características fisiográficas da bacia. As equações ditas semiempíricas necessitam de coeficientes

como: coeficiente de escoamento superficial, coeficiente de retardo, coeficiente de rugosidade e CN (número da curva do método do SCS), que muitas vezes são arbitrados, o que pode ocasionar a dispersão dos resultados. Utilizando-se o software gratuito QGIS 2.18, chegamos as características físicas, abaixo:

Tabela 1 - Características fisiografias da bacia do Riacho Salgado, Gararu - SE

Área da Bacia	34,84 km ²
Comprimento do Talvegue	12,12 km
Diferença de Nível	320 m
Declividade do Talvegue	0,026 m/m

Fonte: Os autores.

Equações de Tempo de Concentração

- Equação de Kirpich

É uma fórmula empírica muito usada que foi desenvolvida em 1940 com dados de sete pequenas bacias rurais do Tennessee, com declividades de 3% a 10% e áreas de, no máximo, 0,50 km² (FRANCO, 2004).

$$T_c = 3,898L^{0,77} S^{-0,385} \quad (1)$$

Na qual:

T_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue, em km;

S = declividade do talvegue, em m/m.

- Equação de Kirpich Modificada

Segundo o DER/SP, para bacias com áreas de drenagem superiores a 100 ha (1 km²), o tempo de concentração poderá ser calculado pela fórmula de KIRPICH modificada (FRANCO, 2004).

$$T_c = 85,2 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (2)$$

Na qual:

T_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue, em km;

H = desnível total do talvegue, em metros.

- Equação de Dooge

Segundo Franco (2004), essa equação foi proposta por Dooge em 1956, com base nos dados de dez bacias rurais da Irlanda, com áreas na faixa de 140 a 930 km². Seus parâmetros refletem o comportamento de bacias médias e escoamento predominante em canais.

$$T_c = 21,88A^{0,41} S^{-0,17} \quad (3)$$

Na qual:

T_c = tempo de concentração, em min;

S = declividade do talvegue, em m/m;

A = área da bacia, em km²

- Equação de Johnstone

De acordo com Franco (2004), essa equação foi determinada com dados de bacias com áreas de 65 a 4200 km², na Escócia (PINTO et al. 1975 apud FRANCO, 2004). Pode ser expressa como:

$$T_c = 20,17 \left(\frac{L}{S} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Na qual:

T_c = tempo de concentração, em min;

S = declividade do talvegue, em m/m;

L = comprimento do talvegue, em km.

- Equação de Ventura

Segundo IEP (2001 apud Mata-lima et al., 2007), essa equação é recomendada pela Escola Nacional de Pontes e Estradas (École Nationale des Ponts et Chaussées, France). DNIT (2005 apud Sampaio et al (2016) recomenda seu uso para bacias grandes e pequenas.

$$T_c = 240 \sqrt{\frac{AL}{H}} \quad (5)$$

Na qual:

T_c = tempo de concentração, em minutos;

A = área da bacia, em km²;

L = comprimento do talvegue, em km;

H = diferença de cotas do talvegue entre ponto mais afastado e a seção de referência da bacia, em metros.

- Equação de Pickering

Segundo Brisa (1974 apud Mata-lima et al., 2007), esse método é equivalente ao de Kirpich e é muito usado nos projetos da Brisa SA.

$$T_c = \left(\frac{0,871L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (6)$$

Na qual:

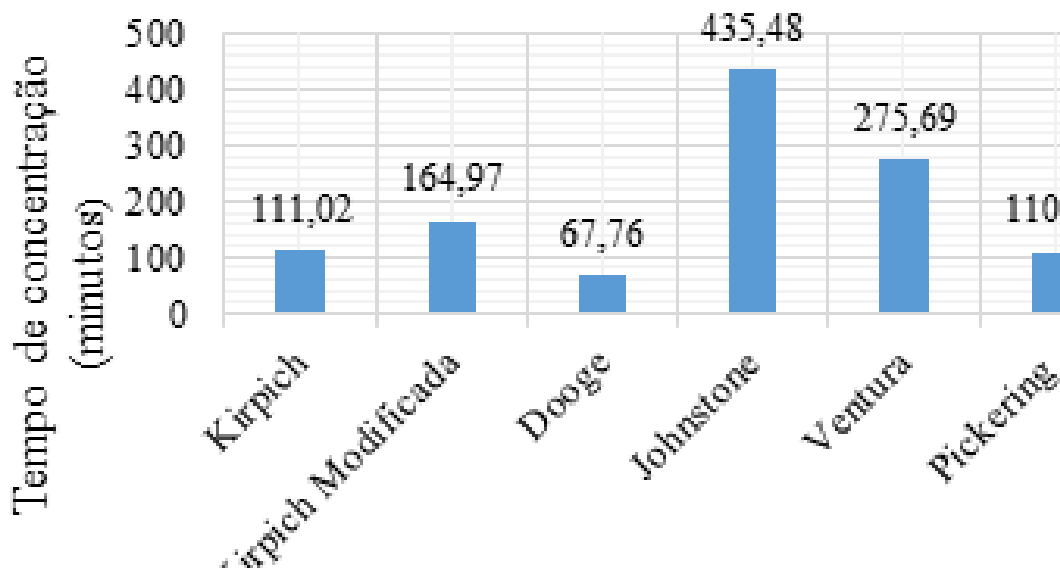
T_c = tempo de concentração, em horas

L = comprimento do talvegue, em km;
H = diferença de cotas do talvegue entre ponto mais afastado e a seção de referência da bacia, em metros.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de tempo de concentração (T_c) calculados a partir as equações empíricas escolhidas para a bacia hidrográfica do riacho Salgado são apresentados abaixo.

Gráfico 1 - Valores de T_c (min) obtidos com fórmulas empíricas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores do tempo de concentração variaram de 67,76 minutos a 435,48 minutos, resultando em um tempo médio de 194,17 minutos. A variação de valores encontrados deve-se ao fato de que algumas equações foram desenvolvidas para situações diferentes das encontradas na bacia hidrográfica do riacho Salgado, como as equações de Kirpich (bacias rurais com até 0,5 km² de área); Dooge (bacias rurais com áreas de 140 a 930 km²) e Johnstone (áreas de 65 a 4200 km²). Dentre as metodologias destacadas, as que foram desenvolvidas para situações mais adequadas com a realidade da bacia hidrográfica deste trabalho foram as equações de Ventura (grandes e pequenas bacias)

e, principalmente, a equação de Kirpich Modificada (áreas de drenagem superiores a 1 km²). Desconsiderando os valores extremos (mínimo e máximo), o valor médio do tempo de concentração foi de 165,45 minutos, praticamente igual ao valor calculado pela equação de Kirpich Modificada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com as diferentes equações resultaram em uma alta variabilidade de valores de tempo de concentração para uma mesma bacia, resultantes das condições iniciais para as quais foram elaboradas cada uma equação.

Conclui-se que, para realizar a estimativa do tempo de concentração de uma bacia

hidrográfica utilizando equações empíricas, deve-se procurar aplicar equações que foram desenvolvidas para bacias hidrográficas com características semelhantes (áreas, declividades, tipo de área etc.), com o intuito de que os resultados obtidos sejam o mais próximo possível da realidade.

REFERÊNCIAS

BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BENVENUTI, S. M. P.; (Org.). **Projeto Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe. Diagnóstico do Município de Gararu.** Aracaju: CPRM, 2008.

ARAÚJO, B. A. M.; SILVEIRA, C. S.; SOUZA, J. L.; JÚNIOR, J. V. F. M.; ALMEIDA, F. A. F.; STUDART, T. M. C. Análise do Tempo de concentração em Função das Características Fisiografias em Bacias Urbanas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. **Anais do XVIII SBRH.** Campo Grande: ABRH, 2011.

FLIZIKOWSKI, L. C.; PELEGRINO, E. C. F.; MAIA, A. G.; **Análise comparativa entre equações de tempo de concentração na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras.** In: VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental, 2008, Irati: UNICENTRO, 2008.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional.** Dissertação do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2004.

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Rem - Revista Escola de Minas,** Ouro Preto: v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007.

QGIS Development Team, 2018. **QGIS Geographic Information System.** Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 09 set. 2018.

SAMPAIO, A. S.; SÀ, P. E. F.; BATISTA, T. L.; STUDART, T. M. C. Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias rurais. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2016, **Anais do XIII SRHN.** Aracaju: 2016.

SILVEIRA, L. B. P. **Tempo de concentração em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia - MG.** Dissertação do Curso de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia: 2016.