ANÁLISE DE EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM DIFERENTES TIPOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Kelly Rodrigues do Monte[*1] ,Israel Oliveira Costa*[2,] *Ingrid Barbosa Cronemberger*[3]

Resumo: Tempo de concentração é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia passe a contribuir pra a seção em estudo e depende das características fisiográficas da bacia. Existem diversas formas pra encontrar o tempo de concentração. Cada forma aplica-se uma equação com diferentes parâmetros e características da bacia hidrográfica e a sua escolha deve ser estudada criteriosamente pelo projetista. Nesse trabalho foram expostas as fórmulas que mais se aplicam aos tipos de bacias estudadas, pois, usando a mesma fórmulas para todas as bacias poderia subestimar ou superestimar o tempo de concentração. Depois da pesquisa a alguns autores foi feita um quadro resumo (quadro 1) de acordo com as recomendações para facilitar a identificação da equação mais ideal.

Palavras-chave: Tempo de concentração; Bacia Hidrográfica; Escoamento Superficial.

ABSTRACT: Concentration time is the time range counted from the beginning of the estimation for the entire basin to pass through an aid to a section under study and depends on the physiographic characteristics of the basin. You can find ways to find concentration time. Each of the applications is an equation with different parameters and characteristics of the river basin and its band must be carefully studied by the designer. The work was exposed as formulas that became more common to the types of basins studied, for, using a formula for all basins as underestimating or overestimating the time of concentration. After the research, some authors were completed from the ideal framework according to the recommendations to facilitate the identification of the equation.

Keywords: Concentration Time; Hydrographic basin, Surface runoff.

1)UFRGS, Rio Grande do Sul, Brasil, kellyengenharia@outlook.com , 086981833739.
2)IFPI, Piauí, Brasil, israel.kosta@yahoo.com , 086999832424.
3) Uninovafapi, Piauí, Brasil, ingridcronemberger@gmail.com , 086998142811.

1. INFORMAÇÕES BÁSICAS

A bacia hidrográfica é um sistema que transforma chuva em vazão, dessa forma encontrar a vazão de pico, o volume do escoamento superficial direto e o hidrograma são essenciais na construção de obras hidráulicas (ALVES, 2016).

Para (TOMAZ, 2011, p. 107) o "conceito de pequena, média e grande bacia é um conceito variável entre os hidrólogos. A mesma bacia ser considerada pequena por um e considerada média por outro. Não existe portanto, uma definição correta do que seja pequena, média e grande bacia".

A definição morfométrica de uma bacia hidrográfica é o inicial e mais comum procedimentos em análises hidrológicas, e explica as questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local (BIER, 2013). O tempo de concentração é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia passe a contribuir pra a seção em estudo e depende das características fisiográficas da bacia.

Na tabela 01 são apresentadas as principais caracteristicas fisicas de uma bacia hidrográfica.

Tabela 1 – Principais caracteristicas fisicas de uma bacia hidrográfica.

Características Físicas
Área Impermeável (%)- **AI**
Área (m²) - **A**
Perímetro (m)
Comprimento do talvegue principal (m) - **L**
Comprimento do talvegue de montante para jusante em linha reta (m) -**Lt**
Sinuosidade - **SIN**
Coeficiente de compacidade - **KC**
Fator de forma - **KF**
Cota de montante (m) - **Cm**
Cota de jusante (m) - **Cj**
Desnível (m) - **H**
Declividade da bacia (m/m) - **i**
C
CN

Fonte: Os autores, 2018.

O parâmetro Curve-Number (CN) caracteriza simultaneamente as condições de umidade anterior ao evento chuva-vazão, o tipo geológico e o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, variando teoricamente de 0 a 100, estando seus valores mais elevados associados à solos compactados

e argilosos, com baixa capacidade de infiltração da água e consequentemente à elevada capacidades de produção de escoamento superficial (BIER, 2013).

Os valores de CN estão ligados a diversos parâmetros da bacia como: cobertura vegetal, umidade do solo antecedente, e classe de solo. Nesta perspectiva, e para a aplicação do método CNSCS, os solos devem ser agrupados em quatro categorias, seguindo classificação de (MELLO E SILVA, 2013).

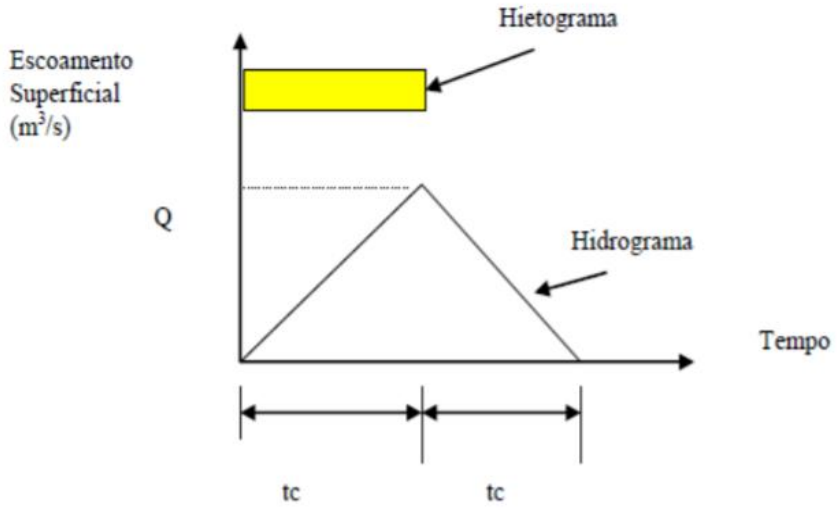
"O tempo de **concentração** é o tempo que leva uma gota de água mais distante até o trecho considerado na bacia." (TOMAZ, 2011).

Para visualizer o tempo de concentração precisa-se entender o conceito de hidrograma de uma bacia hidrográfica que "é o registro da variação de vazão feito no processo de deflúvio durante um tempo" (PORTO, 1992, p. 25).

O tempo de duração da chuva é o tempo de concentração. Conforme o hidrograma triangular da figura 1, tc é o tempo para o escoamento máximo e tc1 mais tc2 o tempo total de escoamento superficial (TOMAZ, 2011).

Na figura 01 está representado o hidrograma que relaciona o escoamento superficial(eixo Y) de uma Bacia Hidrográfica em relação ao tempo de concentração(Eixo X).

Figura 1 - Representação esquemática do hidrograma do método Racional



Fonte: TOMAZ, 2011, p. 107.

Existem inúmeras fórmulas empíricas que fornecem o tempo de concentração para uma bacia. As características físicas mais utilizadas são o comprimento e a declividade do talvegue principal.(PINTO et al,1976).

O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (2012) alerta para a importância de :

> Lembrar que a maioria dessas expressões são empíricas e, portanto, só valem para condições muito semelhantes às de sua determinação. A adoção de qualquer destas fórmulas deve ser precedida de análise cuidadosa para evitar, por exemplo, o equívoco de utilizar em áreas urbanas; fórmulas originalmente desenvolvidas para áreas rurais.

No (Manual De Drenagem De Teresina, 2012, TOMO 03 p. 27 e 28) está escrito que:

> A maneira mais adequada de determinação do tempo de concentração é a partir de dados observados de precipitação e vazão. No entanto, são raras as bacias hidrográficas que dispõem desse tipo de informação. Para contornar esses problemas, são apresentadas na literatura algumas formulações empíricas para a determinação do tempo de concentração.

O quadro 1 mostra o detalhamento das equações do tempo de concentração e a aplicabilidade em bacias hidrográficas de diferentis tipos. Para cada bacia foi detalhado os valores do tempo de concentração que cada equação resultou.

No item 2.1 dos resultados estão as tabelas com os tempos de concentrações usados e pode-se ver também o valor do tempo médio e o desvio padrão para cada bacia

2. PREPARAÇÃO DO ARTIGO

Para a escolha da melhor fórmula foram selecionados três referências principais e que detalhavam os parâmetros das diversas equações do tempo de concentração. As referências DNIT (2005), Mata-Lima (2007) e SILVEIRA (2005), expostas no referencial teórico, foram escolhidas por serem citadas por diversos autores e possuírem uma explicação clara sobre muitas fórmulas de tempo de concentração.

O quadro 1 mostra a aplicabilidade de 13 equações estudadas e aplicadas nesse trabalho para determinar o tempo de concentração no método racional e no método NRCS baseando-se nas referências do DNIT(2005), Mata-Lima (2007) e SILVEIRA (2005).

Encontrou-se várias fórmulas para o cálculo. Mas, entre todas, selecionou-se 13 que mais se encaixavam com as características das bacias em estudo. A principal metodologia usada para a escolha da equação ideal foi a definição dos parâmetros de uso que as referências recomendam.

Fórmula	Equações	Termos	Comentários		
			DNIT(2005)	Mata-Lima(2007)	SILVEIRA(2005)
Ventura	$tc = 240\sqrt{\frac{AL}{H}}$	A (Km²) L (Km) H (m) Tc (Min)	Qualquer tamanho de bacia	Recomendada pela École Nationale des Ponts et Chaussées(France)	Coerentes a sua aplicação pratica a pequenas bacias
Pasini	$tc = \frac{0{,}108(AL)^{\frac{1}{3}}}{i^{0{,}5}}$	A (Km²) L (Km) i (m/m) Tc (h)	Aplicável a bacias de qualquer Tamanho	Bacias Italianas	-
Picking	$tc = 0{,}088333(\frac{L}{\sqrt{i}})^{0{,}333}$	L (Km) i (m/m) Tc (h)	Não indicada para bacias grandes	-	Grande possibilidade de ser uma verdadeira formula para o tempo de concentração em bacias urbanas; Não adequadas para bacias rurais; Suspeita de uma fórmula efetivamente urbana;
Ven Te Chow	$tc = 0{,}8773(\frac{L}{\sqrt{i}})^{0{,}64}$	L (Km) i (m/km) Tc (Min)	Não indicada para bacias grandes	-	Funcionou bem para bacias entre 153 e 11162 km2 em bacias rurais
Federal Aviation Admistration	$tc = 1{,}8 * (1{,}1 - C)L^{0{,}5}i^{-0{,}333}$	L (pés) i (%) C Tc (Min)	-	Bacias urbanas	Merece destaque para bacias urbanas de parcela(pequenas); Melhores resultados em bacias urbanas muito pequenas;
SCS Lag	$t_{lag} = \frac{2{,}587L^{0{,}8}(\frac{1000}{CN} - 9)^{0{,}7}}{1900i^{0{,}5}}$ $tc = t_{lag}/0{,}6$	L (m) i (%) CN Tlag (h) Tc(h)	-	Pode subestimar o Tlag em bacias mistas; Reflete essencialmente o escoamento concentrado; Recomendado para bacias homogenias de até 810 há	Não apresentaram bons resultados em bacias rurais por causa da variável explicativa CN;

Schaake	$tc = \frac{0.503\, L^{0.24}}{i^{0.16} A_i^{0.26}}$	**L (pes)** **i (péss/pés)** **Ai(%)** **Tc(min)**	-	Bacias urbanas, incluindo ruas pavimentadas com sarjetas	Gama de áreas teóricas inferior a 70 há em bacias Urbanas
Epsey	$tc = 1{,}24(\frac{L}{\sqrt{i}})^{0.36}$	**L (milha)** **i (pés/milha)** **tc(h)**	-	Bacias Naturais	-
Bransby Willians	$tc = 0{,}605\frac{L}{i^{0.2} A^{0.1}}$	**L (Km)** **i (%)** **A (Km²)** **Tc(h)**	-	Bacias rurais	-
Pickering	$tc = (\frac{0{,}871 L^3}{H})^{0.385}$	**L (Km)** **H(m)** **Tc (h)**	-	Multiplicar por 0,4(superfície asfaltadas) oi por 0,2(canais de Betão); Bacias rurais de 0,5-45,3 há; Declives 3=10%	-
Kirpich	$tc = 0{,}0195 L^{0.77} i^{-0.385}$	**L (m)** **i (m/m)** **tc(min)**	Bacias médias e grandes	Multiplicar por 0,4 (superfície asfaltadas) ou por 0,2(canais de Betão); Bacias rurais de 0,5-45,3 há; Declives 3=10%	Funcionou bem para bacias entre 153 e 11162 km2 em bacias rurais; Possibilidade de avanças em áreas de até 26 km2; Bacias rurais de grande e médio porte;
Kirpich-Modificada	$tc = 1{,}42(\frac{L^3}{H})^{0.385}$	**L (Km)** **H** **tc(h)**	Próxima a média das 15 expressões analisadas pelo DNIT; Aplicação em uma grande faixa de áreas	-	-
U.S Corps of Engineers	$tc = 0{,}3(\frac{L}{\frac{1}{i^4}})^{0.76}$	**L (Km)** **i (%)** **Tc (h)**	Bacias pequenas (0,03 - 2,5 km2; curso principal de 0,12 a 3,6 km; desnível de 20 a 380 m)	-	Mais representatividade em bacias rurais; Bacias rurais menores que 12000 km2

Quadro 1 - Equações do tempo de concentração e a aplicabilidade em bacias hidrográficas de diferentis tipos.

Fonte: Os autores 2018.

2.1. Resultados E Detalhamento Dos Cálculos Do Tempo de Concentração Para Cada Tipo De Bacia Hidrográfica

Para cada bacia foi detalhado os valores do tempo de concentração que cada equação resultou. Nesse item dos resultados estão as tabelas com os tempos de concentrações usados e pode-se ver também o valor do tempo médio e o desvio padrão para cada bacia.

A metodologia na escolha, foi um tratamento estatístico com as 13 fórmulas escolhidas calculando-se com os resultados dos 13 tempos de concentração a média aritmética e o desvio padrão.

2.1.1 Bacia hidrográfica Tipo 01 - Tamanho pequeno, solo CN C-D e ocupação 50% Floresta e 50% Urbanizada

Tabela 2 – Características da bacia hidrográfica tipo 01

Tipo 01 - Tamanho pequeno, solo CN C-D e ocupação 50% Floresta e 50% Urbanizada	
Características Físicas	**Valores**
Área Impermeável (%)- **AI**	28,6
Área (m²) - **A**	213984,79
Perímetro (m)	1996,14
Comprimento do talvegue principal (m) - **L**	550,80
Comprimento do talvegue de montante para jusante em linha reta (m) -**Lt**	462,84
Sinuosidade - **SIN**	1,19
Coeficiente de compacidade - **KC**	1,21
Fator de forma - **KF**	0,05
Cota de montante (m) - **Cm**	145,00
Cota de jusante (m) - **Cj**	114,00
Desnível (m) - **H**	31,00
Declividade da bacia (m/m) - **i**	0,056
C	0,56
CN	82,13

Fonte: Os autores, 2018.

Tabela 3 – Média e desvio padrão dos tempos de concentração, em minutos, para a bacia hidrográfica tipo 01

Média	**13,81**
Desvio padrão	**10,80**
Tempo de concentração adotado- Formula de Ventura	**14,8**

Fonte: Os autores, 2018.

Tabela 4 – Tempos de concentração encontrados para a bacia hidrográfica tipo 01

Fórmula	Tc (min)
Seelye	9,07
Ventura	14,80
Pasini	13,39
Picking	9,29
Ven Te Chow	0,23
Federal Aviation Admistration	23,41
SCS Lag	20,09
Hathaway	45,36
Schaake	2,02
Epsey	18,13
Bransby Willians	16,51
Pickering	7,62
Kirpich	7,62
Kirpich- Modificada	11,41
U.S Corps of Engineers	8,24

Fonte: Os autores, 2018.

2.1.2 Bacia hidrográfica Tipo 02 - Tamanho médio, solo C-D e ocupação 10% Floresta e 90%Urbanizada

Tabela 5 – Características da bacia hidrográfica tipo 07

Tipo 02 - Tamanho médio, solo CN C-D e ocupação média 10% Floresta e 90% Urbanizada	
Características Físicas	**Valores**
Área Impermeável(%)- **AI**	51,48
Área (m²) - **A**	1662210,27
Perímetro (m)	7295,63
Comprimento do talvegue principal (m) - **L**	2175,30
Comprimento do talvegue de montante para jusante em linha reta (m) - **Lt**	2090,19
Sinuosidade - **SIN**	1,04
Coeficiente de compacidade - **KC**	1,58
Fator de forma - **KF**	0,03
Cota de montante (m) - **Cm**	145,00
Cota de jusante (m) - **Cj**	99,00
Desnível (m) - **H**	46,00
Declividade da bacia (m/m) - **i**	0,021
C	0,76
CN	89,43

Fonte: Os autores, 2018.

Tabela 6 – Média e desvio padrão dos tempos de concentração para a bacia hidrográfica tipo 07

Média	**44,00**
Desvio padrão	**29,71**
Tempo de concentração adotado- Formula de Schalke	**5,00**

Fonte: Os autores, 2018.

O tempo de concentração dessa bacia foi considerado de 5 minutos, pois, o valor encontrados pela fórmula estava abaixo do recomendado pela literatura.

Tabela 7 – Tempos de concentração encontrados, em minutos, para a bacia hidrográfica tipo 07

Fórmula	Tc (min)	Tc (h)
Seelye	19,45	0,32
Ventura	67,29	1,12
Pasini	68,39	1,14
Picking	32,17	0,54
Ven Te Chow	0,56	0,01
Federal Aviation Admistration	40,15	0,67
SCS Lag	75,61	1,26
Hathaway	113,50	1,89
Schalke	2,81	0,05
Epsey	35,44	0,59
Bransby Willians	64,61	1,08
Pickering	31,97	0,53
Kirpich	31,97	0,53
Kirpich- Modificada	47,88	0,80
U.S Corps of Engineers	28,18	0,4697

Fonte: Os autores, 2018.

2.1.3 Bacia hidrográfica Tipo 03 - Tamanho grande, solo CN C-D e ocupação 50% Floresta e 50% Urbanizada

Tabela 8 – Características da bacia hidrográfica tipo 03

Tipo 03 - Tamanho grande, solo médio com CN C-D e ocupação média 50% Floresta e 50% Urbanizada	
Características Físicas	**Valores**
Área Impermeável (%)- **AI**	28,6
Área (m²) - **A**	4300490,00
Perímetro (m)	9842,03
Comprimento do talvegue principal (m) - **L**	2953,06
Comprimento do talvegue de montante para jusante em linha reta (m) - **Lt**	2878,92
Sinuosidade - **SIN**	1,03
Coeficiente de compacidade - **KC**	1,33
Fator de forma - **KF**	0,04
Cota de montante (m) - **Cm**	145,00
Cota de jusante (m) - **Cj**	85,00
Desnível (m) - **H**	60,00
Declividade da bacia (m/m) - **i**	0,020
C	0,56
CN	82,13

Fonte: Os autores, 2018

Tabela 9 – Média e desvio padrão dos tempos de concentração, em minutos, para a bacia hidrográfica tipo 03

Média	**59,09**
Desvio padrão	**39,42**
Tempo de concentração adotado- Formula de Kirpch Modificada	**61,52**

Fonte: Os autores, 2018

Tabela 10 – Tempos de concentração encontrados para a bacia hidrográfica tipo 03

Fórmula	Tc (min)	Tc (h)
Seelye	22,28	0,37
Ventura	110,42	1,84
Pasini	106,06	1,77
Picking	39,97	0,67
Ven Te Chow	0,69	0,01
Federal Aviation Admistration	76,09	1,27
SCS Lag	128,12	2,14
Hathaway	99,36	1,66
Schaake	3,55	0,06
Epsey	39,85	0,66
Bransby Willians	80,40	1,34
Pickering	41,08	0,68
Kirpich	41,08	0,68
Kirpich- Modificada	61,52	1,03
U.S Corps of Engineers	35,82	0,5971

Fonte: Os autores, 2018

3. CONCLUSÃO

Existem diversas formas pra encontrar o tempo de concentração. Cada forma aplica-se uma equação com diferentes parâmetros e características da bacia hidrográfica e a sua escolha deve ser estudada criteriosamente pelo projetista.

Nesse trabalho foram expostas as fórmulas que mais se aplicam aos tipos de bacias estudadas mostrando a importancia do projetista pesquisar e estudar a melhor fomula que se adapta ao tipo de bacia hidrográfica, pois, usando a mesma fórmulas para todas as bacias o tempo de concentraão pode ser subestimado ou superestimado.

Depois da pesquisa a alguns autores foi feita um quadro resumo (quadro 1) de acordo com as recomendações para facilitar a identificação da equação mais ideal.

Encontrou-se várias fórmulas para o cálculo. Mas, entre todas, selecionou-se 13 que mais se encaixavam com as características das bacias em estudo. A principal metodologia usada para a escolha da equação ideal foi a definição dos parâmetros de uso que as referências recomendam.

Um tratamento estatistico foi feito, primeiramente, com os resultados e a equação escolhida foi a que gerou um resultado que mais se aproximou da média e que estava dentro do desvio padrão.

Porém, essa média definiu apenas de início a fórmula que seria usada e depois foi analisado-se e priorizado a aplicação recomendada para a fórmula.

Assim, mesmo encontrando a fórmula com resultado próximo da media, por exemplo, na bacia 90% urbana e 10% rural a fórmula definida pela média não era recomendada para o tipo de bacia com essas porcentagem de urbanização. Então, para esse tipo definiu-se a fórmula através da indicação das referências.

Fez-se uma modelagem e a comparação entre as equações para os diferentes tipos de bacias propostos e considerando os diferentes modelos em relação ao tamanho, tipo de solo, uso e ocupação.

O resultado da comparação entre as equações de tempo de concentração em todas as bacias estudadas para comparar os dados entre bacias com diferentes tamanhos e urbanização são de importante contribuição cientifica para assegurar o melhor método para essas determinadas condições de bacias hidrográficas. Assim, esse trabalho será um instrumento fundamental de subsidio para os profissionais executarem os projetos com maior segurança considerando a fórmula do tempo de concentração mais próxima do real.

4. REFERÊNCIAS

ABREU,Fernando G.;SOBRINHA, Lôide A.; BRANDÃO,João L. B**. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos.** DOI: 10.1590/S1413-41522016146750, Eng Sanit Ambient, 2015.

BIER, Felipe Bublitz. **Caracterização morfométrica e hidrológica da baciaHidrográfica Da Lagoa Da Conceição, Florianópolis – SC.** 2013. 115 Fl. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação). Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, Agosto, 2013.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos,2014. CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos,2005.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R. MAYS, Larry W. **Hidrologia Aplicada.** Editora: Martha Edna Suáres R. 1994. 1234567890. ISBN 958-600-171-7

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia**. Apostila. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Maio. 2008.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** 1. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MATA-LIMA, Herlander; VARGAS, Hugo; CARVALHO, Julia; GONÇALVES, Marcia; CAETANO, Hugo; MARQUES, Andreia; RAMINHOS, Cristina. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso.** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(3): 525-536, jul. set. 2007

PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 11 reimpressão. Ed Edgard Blucher. São Paulo. 2008. 278p.

PORTO, T. F. A. **Drenagem de rodovias e aeroportos.** Edições GRD. São Paulo.1992

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA**, Secretaria Municipal De Planejamento E Coordenação. Plano Diretor De Drenagem Urbana De Teresina.** Rev.01 Volume 25 – Tomo 03 Relatório Final, Teresina, 2012. PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE ,**Dep – Departamento De Esgotos Pluviais, Manual de Drenagem Urbana.** Volume 6, Porto Alegre, 2005.

PRODANOV, Cleber Cristiano ; FREITAS, Ernani Cesar de**. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale,2013.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.1 Jan/Mar 2005, 5-23.

TOMAZ, PLÍNIO **Cálculos Hidráulicos e Hidrológicos para Obras Municipais.** São Paulo: Navegar Editora, 2011. TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da Univers