

ANÁLISE DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS EM BACIAS URBANAS

Bruno Aragão Martins de Araújo¹; Cleiton da Silva Silveira²; Jackeline Lucas Souza²; José Valmir Farias Maia Júnior³; Francisco Augusto Ferreira Almeida³; Ticiano Marinho de Carvalho Studart⁴

RESUMO -- Neste trabalho avaliou-se a aplicabilidade de alguns métodos de cálculos do tempo de concentração em bacias hidrográficas urbanas. Os métodos escolhidos foram os chamados estritamente empíricos e os locais de estudo foram as bacias urbanas do município de Fortaleza. Os métodos trabalhados foram os de Kirpich, Ventura, Temez, Pickering, Ven Te Chow, Passini, Picking e Dodge. Diante da estimativa do tempo de concentração feita pelos cálculos dos diversos métodos citados, foi feita uma análise comparativa em busca da influência exercida pelas características fisiográficas no resultado encontrado. O método de Kirpich foi escolhido como parâmetro de comparação para os outros métodos, por ser o mais utilizado pela literatura em geral. Os resultados mostram que Ven Te Chow e Picking apresentaram valores bem mais próximos com os referenciais de Kirpich do que os demais métodos quando variando área e declividade.

ABSTRACT -- In this study was evaluated the applicability of some methods of calculation time of concentration in urban watersheds. The methods chosen were called strictly empirical and the study sites were urban watersheds in the Fortaleza's city. The methods worked wereof Kirpich, Ventura, Temez, Pickering, Ven Te Chow, Passini, Pick and Dodge. Given the estimated time of concentration calculations made by the various methods cited, was made a comparative analysis in search of the influence exerted by the physiographic features in the results found. The method of Kirpich was chosen as a benchmark for other methods, for being the most used in literature in general. The results show that Ven Te Chow Picking and had values much closer to the benchmarks with Kirpich than other methods when varying area and slope.

Palavras-chave: tempo de concentração, comparação de métodos, bacias urbanas

¹ Mestrando em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC): brunoaragao_@hotmail.com

² Doutorandos em Eng. Civil - Recursos Hídricos (UFC): cleitonsilveira16@yahoo.com.br e jackeline.souza@hotmail.com

³ Mestrandos em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC): junior_maia_fisica@hotmail.com, e fco_augusto@yahoo.com.br

⁴ Doutora em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC): Professora associada I (DEHA/UFC). Centro de Tecnologia-Bloco 713- Pici - 60451-970–Fortaleza/CE. E-mail: tstudart@fortalnet.com.br

1. INTRODUÇÃO

Para o dimensionamento de obras hidráulicas e o aproveitamento dos recursos hídricos é necessário conhecer a vazão de projeto. Neste sentido, para a determinação mais segura da vazão de projeto é fundamental o conhecimento das características físicas da bacia e o tempo de concentração da mesma.

O tempo de concentração (t_c) é definido como o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle.

Os fatores que influenciam o tempo de concentração de uma dada bacia são: a forma da bacia, a sua declividade média, a sinuosidade e a declividade do seu curso principal, entre outros.

Há diversas fórmulas para calcular o tempo de concentração; a grande maioria leva em conta apenas a declividade do curso principal e a área da bacia. A mais adequada depende das condições específicas para as quais foram geradas. Para tanto é preciso identificar a origem dos estudos, experimentais de campo ou laboratoriais, para que possam ser identificadas suas limitações e aplicabilidade.

Para pequenas bacias urbanas, a abordagem mais comum é seguir a *Technical Release 55* (TR-55) (referência) - *Urban Hydrology for Small Watersheds*.

A determinação do tempo de concentração por meio de fórmulas empíricas está sujeita às imprecisões e incertezas que se devem ao tipo de escoamento que a fórmula procura representar. Uma das formulações empíricas mais usuais em estudos desta natureza é o método de Kirpich, que embora só seja aplicável a bacias hidrográficas muito pequenas (KIRPICH, 1940), na prática, é muitas vezes usado para bacias com um único fluxo principal.

O objetivo deste trabalho é avaliar a sensibilidade de seis métodos de estimativa do tempo de concentração (comumente citados na literatura) com os valores encontrados com o método Kirpich, quanto às características físicas – área e declividade - compatíveis com as encontradas em bacias urbanas. Para tanto, foi usado como parâmetro os valores obtidos em bacias de Fortaleza.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o cálculo do tempo de concentração em bacias hidrográficas é possível utilizar-se de métodos estritamente empíricos e semi-empíricos. Os métodos empíricos baseiam-se em uma relação entre o tempo de concentração e as características fisiográficas da bacia, os quais levam a resultados mais confiáveis (MATA-LIMA, 2006). Segundo o autor, os métodos semi-empíricos

incluem parâmetros relacionados ao uso e ocupação do solo da bacia, apresentando maleabilidade em sua aplicação, viabilizando assim, a previsão do comportamento hidrológico.

Segundo Tucci (1993), o método de Kirpich é aplicável à bacias com área entre 0,50 a 45,3 ha, com canais bem definidos e declives situados entre 3 a 10 %.

Segundo Porto *et al.* (2000) a equação de Kirpich foi desenvolvida a partir de dados obtidos de sete bacias rurais no Tennessee (EUA), com canais bem definidos, inclinação entre 3% e 10% e áreas de 0,50 a 45,3 ha (até 0,5 km²).

A *École Nationale des Ponts et Chaussées* (França) recomenda o método Ventura, que utiliza, além da área da bacia, a diferença de cotas entre o ponto mais afastado e a seção de referência da mesma.

Já o método de Temez (1978) é avaliado como o mais apropriado para bacias naturais de área até 300.000 ha, sendo recomendado pelo IEP (2001).

De acordo com NUNES (2007), no que se refere ao método de Ven Te Chow, as vazões máximas são proporcionais às chuvas efetivas, Neste método a chuva efetiva, ou seja, a chuva excedente é a maior responsável pelas vazões de cheias principalmente em bacias de pequenas escalas e urbanizada.

Segundo Lo Bosco *et al.* (2002), o cálculo do tempo de concentração através do método de Passini foi feito a partir de estudos em bacias hidrográficas italianas.

De acordo com Lança (2000), os dados de comprimento e declividade são suficientes para o cálculo através do método de Picking

O modelo de Dodge é indicado para áreas de drenagem de pequeno porte (CAMPELL *et al.*, 1982).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para se ter parâmetros a cerca de valores de áreas e declividades de bacias urbanas, foram consideradas as características de 19 bacias de Fortaleza no Estado do Ceará, conforme tabela 1. Utilizando os sete métodos, foi feita uma análise de como os parâmetros *área* e *declividade* afetam o tempo de concentração. Nos itens seguintes é feita uma caracterização da área de estudo, uma descrição dos métodos de estimativa do tempo de concentração e a análise estatística utilizada para avaliação dos métodos, tomando como referência o método de Kirpich.

3.1. Região de Estudo

O município de Fortaleza possui uma área de aproximadamente 336 km², estando localizado na zona litorânea do Estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, com coordenadas 3° 45' 47" S e 38° 32' 35" O, a uma altitude de 26,36m, em relação ao nível do mar. A topografia bastante plana contribuiu para o seu tipo de clima. A Figura 1 mostra as bacias hidrográficas de Fortaleza, segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbano. A divisão inclui as seguintes bacias:

- ⇒ Bacia A – Bacia da Vertente Marítima;
- ⇒ Bacia B – Bacia do Rio Cocó;
- ⇒ Bacia C – Bacia dos Rios Maranguapinho e Ceará;
- ⇒ Bacia D – Bacia do Rio Pacoti.

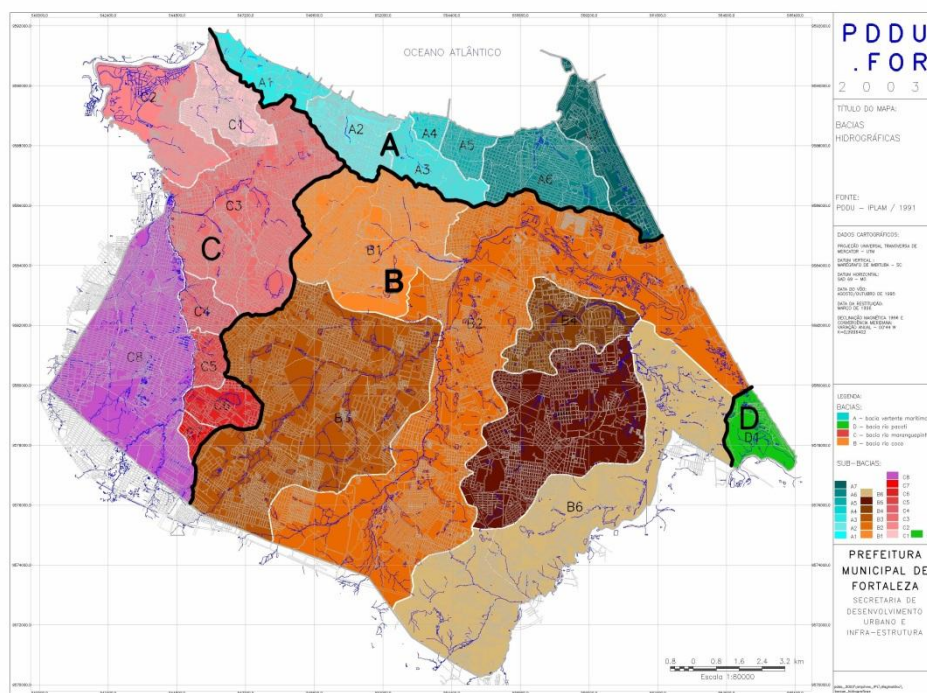


Figura 1 - Bacias Hidrográficas de Fortaleza. Fonte: PDDU, 1976.

Tais bacias hidrográficas são divididas em sub-bacias, conforme tabela 2, e suas características (declividade, área, comprimento do curso d'água e diferença de nível entre o ponto mais remoto da bacia e a seção de deságue) serão usadas como parâmetros deste trabalho.

Na tabela 3 essas sub-bacias são agrupadas em três conjuntos (pequenas, médias e grandes bacias), sendo o primeiro conjunto, designado por bacias pequenas, com áreas de 0,5 a 5 km². O segundo conjunto, designado por bacias médias e grandes, tem áreas de 5 a 10 km², enquanto o terceiro grupo acomoda as bacias grandes com áreas superiores a 10 km².

3.2 Equações de tempo de concentração utilizadas

A avaliação do tempo de concentração de uma bacia é bastante complexa, devido aos inúmeros condicionantes envolvidos, existindo uma grande variedade de expressões de cálculo, merecendo, por isso, grande atenção na sua determinação, pois influencia significativamente no resultado da descarga de projeto.

Existem numerosas fórmulas empíricas para calcular o tempo de concentração em função do comprimento (L) do curso principal, do desnível total (H), e eventualmente da área (A), ou de outros parâmetros escolhidos. A maioria dessas fórmulas é restrita a áreas pequenas.

Nesta seção são mostrados os métodos de estimativa do tempo de concentração em bacias urbanas utilizados neste trabalho: Kirpich, Ventura, Temez, Ven Te Chow, Passini, Picking e Dodge, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Fórmulas empíricas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração

Método	Equação	Nº de Equação	Termos da equação	Comentários	Fonte
Ventura	$t_c = 76,3 \sqrt{\frac{A}{S}}$	(1)	t_c = tempo de concentração [min], A= área da bacia [km ²], L = comprimento de talvegue [km], e H = diferença de cotas [m] do talvegue entre o ponto mais afastado e a seção de referência da bacia [m]	Recomendado pela École Nationale des Ponts et Chaussées (France)	IEP (2001)
Temez	$t_c = 0,3 \left(\frac{L}{i^{0,25}}\right)^{0,76}$	(2)	t_c [h], L= comprimento da linha de água principal [km], i = declive médio da linha de água principal da bacia [m/m].	Esse método é recomendado pelo IEP. É um método muito testado nas bacias hidrográficas da Espanha e é recomendado para bacias naturais de área até 300.000 ha	Temez (1978) e LNEC (1995)
Kirpich	$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	(3)	t_c [min], L [m] e i [m/m]	O valor de t_c obtido deve ser multiplicado por 0,2 ou 0,4, conforme sejam canais de betão ou superfícies asfaltadas, respectivamente; é recomendado para bacias rurais (0,50 - 45,3 ha) com canais bem definidos e de declives situados entre 3 a 10%.	Kirpich (1940), AISI (1984) E Chow etii. (1988) e USDA (1996)
Pasini	$t_c = \frac{0,108(AL)^{1/3}}{i^{0,5}}$	(8)	t_c [h], L [km], A[km ²], e i [m/m]	Derivada a partir de dados de bacias hidrográficas italianas.	Lo Bosco et al.(2002)
Picking	$t_c = 5,3 \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0,333}$	(9)	t_c [h], L [km], A[km ²], e i [m/m]	-	Lança (2000)
Ven Te Chow	$t_c = 0,8773 \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0,64}$	(10)	t_c [h], L [km], e i [m/Km]	-	Lança (2000)
Dodge	$t_c = 21,88 A^{0,77} S^{-0,17}$	(11)	t_c [h], A[km ²], e S [m/m]	Obtidas a partir de dados de dez bacias rurais com áreas de 140 a 930 Km ²	-

3.3 Métrica usada na avaliação

Para avaliação dos métodos é feita uma comparação com base no *viés percentual*, considerando o método de Kirpich como o padrão, dado o seu vasto emprego na literatura.

O viés percentual mede a tendência do modelo para subestimar ou superestimar os valores assumidos por uma variável. O viés percentual é dado pela equação:

$$BIAS = \frac{(P - A)}{A} \times 100$$

Onde o índice P e A indicam previsão e análise verificada, respectivamente. Um valor positivo do *erro de viés* indica uma predisposição do modelo em superestimar os valores, por outro lado, um BIAS negativo, implica em uma tendência de subestimar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta secção são mostrados os resultados obtidos para as bacias urbanas de fortaleza e em seguida é feito um teste de sensibilidade das fórmulas com relação à área e declividade.

4.1. Tempo de concentração para as bacias urbanas de Fortaleza

Fez-se a análise comparativa dos tempos de concentração, calculados através de procedimentos diferentes, bastante difundidos, para diversas bacias hidrográficas reais, com áreas, comprimentos e desníveis conhecidos.

Os tempos de concentração (t_c) para as sub-bacias urbanas de Fortaleza são mostrados na tabela 3. A maior parte das sub-bacias apresenta tempo de concentração inferior a 2 horas, segundo a Fórmula de Kirpich. O método de Dodge apesar de variar com área, assim como Ventura e Passini, apresentou melhores resultados do que estes para os 3 conjuntos de bacias.

Nas bacias grandes (B3, B5 e C3) os métodos de Ventura e Passini apresentam maiores discrepância em relação aos demais métodos. Porém, na sub-bacia B1, região com declividade de

15 % e área superior a 20 km², todos os métodos possuem estimativa de tempo de concentração semelhante, variando de 0,62 a 1,74 horas.

Esse comportamento de superestimação do tempo de concentração das fórmulas de Ventura e Passini também é observado nas bacias pequenas e médias, apresentando tempo de concentração aproximadamente 3 vezes maior do que Kirpich.

4.2 Análise de sensibilidade quanto à área e a declividade

Nas figuras 1,2 e 3 são mostrados os métodos de tempo de concentração que variam com a área (Dodge, Ventura e Passini) em comparação a Kirpich com diferentes declividades. Há uma clara redução do erro com o aumento da declividade. Os métodos de Ventura e Passini apresentam valores bem semelhantes ao método de Kirpich para áreas de até 2 km², indicando que para bacias bastante pequenas independente da declividade, essas fórmulas substituem a equação empírica padrão.

O método de Dodge para maioria das áreas avaliadas apresentou erro inferior aos demais métodos. Para declividade de 1 % numa área entre 18,5 km² e 28,5 km² este método apresenta estimativa de tempo de concentração aproximadamente igual ao de Kirpich. Para a declividade de 5% as áreas onde se espera menores erros são entre 8,5 km² e 13,5km². Enquanto para declividade de 10% a área onde esse método se aplica seria de 4,5Km² a 8,5km².

Na figura 2 são mostrados os métodos de tempo de concentração em função da declividade em comparação a Kirpich para diferentes áreas. Os métodos de Ventura e Passini, em declividades baixas, demonstram divergências relevantes nas áreas grandes. Para pequenas bacias o método de Dodge diverge do método de Kirpich, enquanto para bacias médias e grandes as diferenças tornam-se menores.

Na figura 3 são mostrados os erros percentuais em função das áreas dos métodos em relação ao Kirpich para diferentes declividades. Para declividades de até 1%, Picking e Ven Te Chow apresentam erros percentuais mais moderados em relação aos outros métodos.

Para declividades acima de 5%, Picking e Ven Te Chow apresentam erros percentuais insignificantes, com valores praticamente iguais ao valor de Kirpich devido à sua influência praticamente idêntica da área e da declividade em seus métodos.

Tabela 2- Bacias urbanas de Fortaleza.

BACIA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO AXIAL (km)	ÍNDICE DE COMPACIDADE (kc)	ÍNDICE DE CONF. (Ic)	DECLIVIDADE DA BACIA		DECLIVIDADE DO VALE (%)
						MÉDIA (%)	MEDIANA (%)	
A-1	4,081	13,30	SEM DADO	1,84	SEM DADO	7,10	5,45	SEM DADO
A-2	4,892	11,30	3,25	1,43	0,46	2,19	2,58	1,00
A-3	4,654	11,70	4,55	1,52	0,22	2,95	2,55	0,71
A-4	1,162	5,80	SEM DADO	1,51	SEM DADO	4,17	4,00	SEM DADO
A-5	1,962	7,00	SEM DADO	1,40	SEM DADO	3,25	3,20	SEM DADO
A-6	9,411	15,50	4,30	1,41	0,51	4,10	2,34	0,59
A-7	8,378	22,00	SEM DADO	2,13	SEM DADO	7,00	3,95	SEM DADO
B-1	20,701	23,10	7,15	1,42	0,40	1,95	1,90	15,00
B-3	41,180	36,10	12,80	1,58	0,25	2,57	2,73	0,22
B-4	8,201	15,60	6,00	1,53	0,23	3,28	3,40	0,15
B-5	22,918	25,80	10,60	1,51	0,20	3,19	3,40	0,15
C-1	6,739	14,00	4,25	1,51	0,37	3,76	2,74	0,48
C-2	9,410	SEM DADO	SEM DADO	SEM DADO	SEM DADO	3,70	3,95	0,21
C-3	24,092	28,60	8,20	1,63	0,36	3,45	3,10	0,17
C-4	2,403	7,20	2,15	1,30	0,52	2,59	2,75	0,77
C-5	2,310	7,00	1,30	1,29	1,37	3,49	3,70	0,54
C-6	3,340	7,40	2,90	1,74	0,40	3,19	3,00	0,60
C-7	1,410	5,55	1,50	1,31	0,63	3,14	3,50	0,60

Tabela 3- Tempo de concentração (em horas) para as bacias urbanas de Fortaleza.

Tamanho das Bacias	Pequenas						Médias			Grandes			
	A2	A3	C4	C5	C6	C7	A6	B4	C1	B1	B3	B5	C3
Fórmula de Kirpich	0,97	1,43	0,78	0,61	1,08	0,65	1,47	3,23	1,58	0,63	4,99	5,01	3,91
Fórmula de Ven Te Show	0,89	1,24	0,75	0,60	0,98	0,64	1,26	2,43	1,34	0,62	3,48	3,49	2,85
Fórmula de Picking	0,9	1,26	0,74	0,60	0,99	0,64	1,29	2,54	1,37	0,62	3,70	3,71	3,00
Fórmula de Dodge	1,53	1,59	1,19	1,25	1,43	1,00	2,19	2,61	1,98	1,74	4,74	3,98	3,97
Fórmula Temez	0,73	1,01	0,56	0,41	0,74	0,45	1,00	1,68	1,04	0,80	2,78	2,59	2,08
Fórmula de Ventura	2,81	3,26	2,25	2,63	3,00	1,95	5,08	9,40	4,76	1,49	17,40	15,72	15,14
Fórmula de Passini	2,72	3,55	2,13	2,12	2,97	1,79	4,83	10,22	4,77	1,48	18,60	17,40	15,26

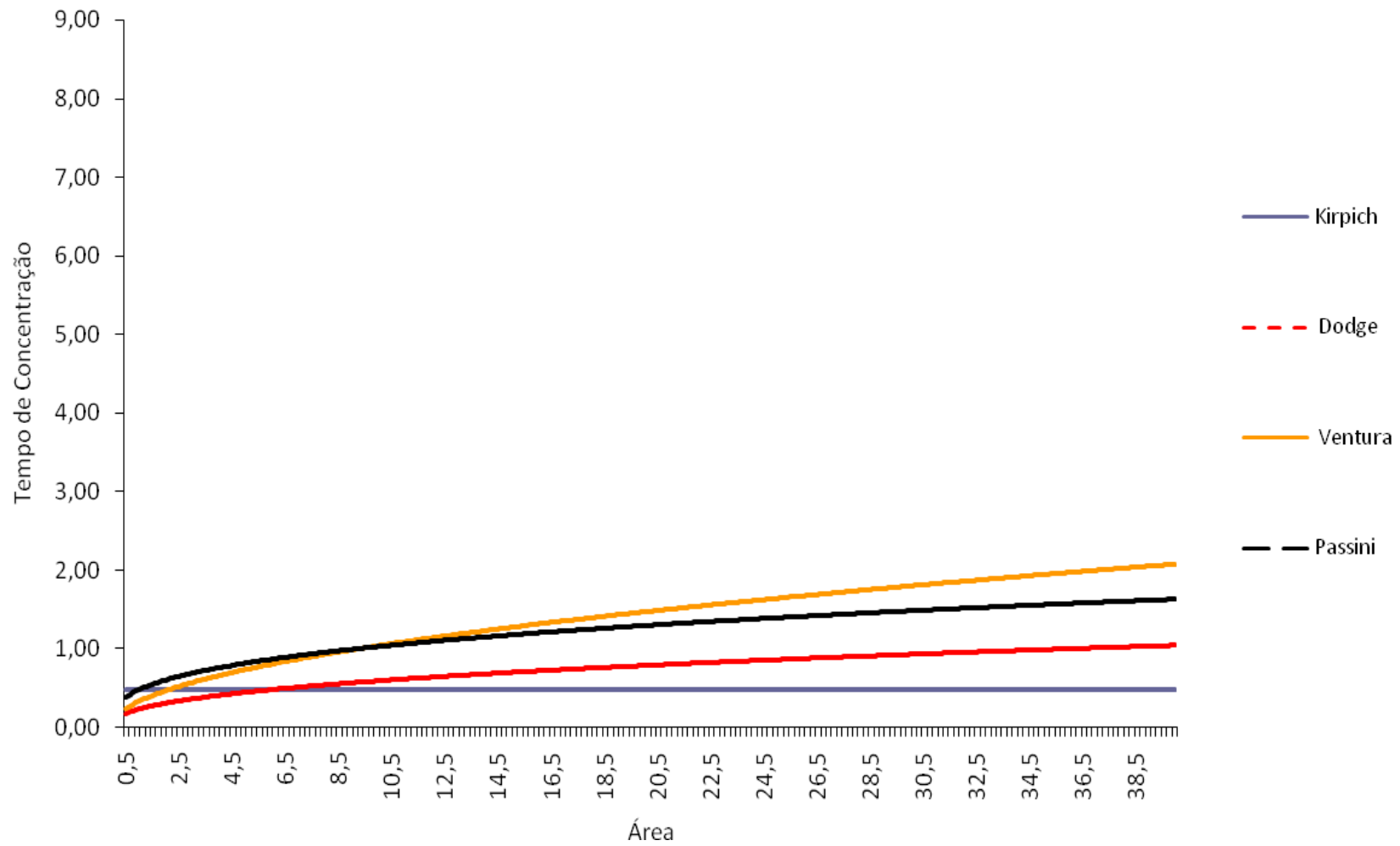


Figura 1: Tempo de concentração em função da área para uma declividade de 1%.

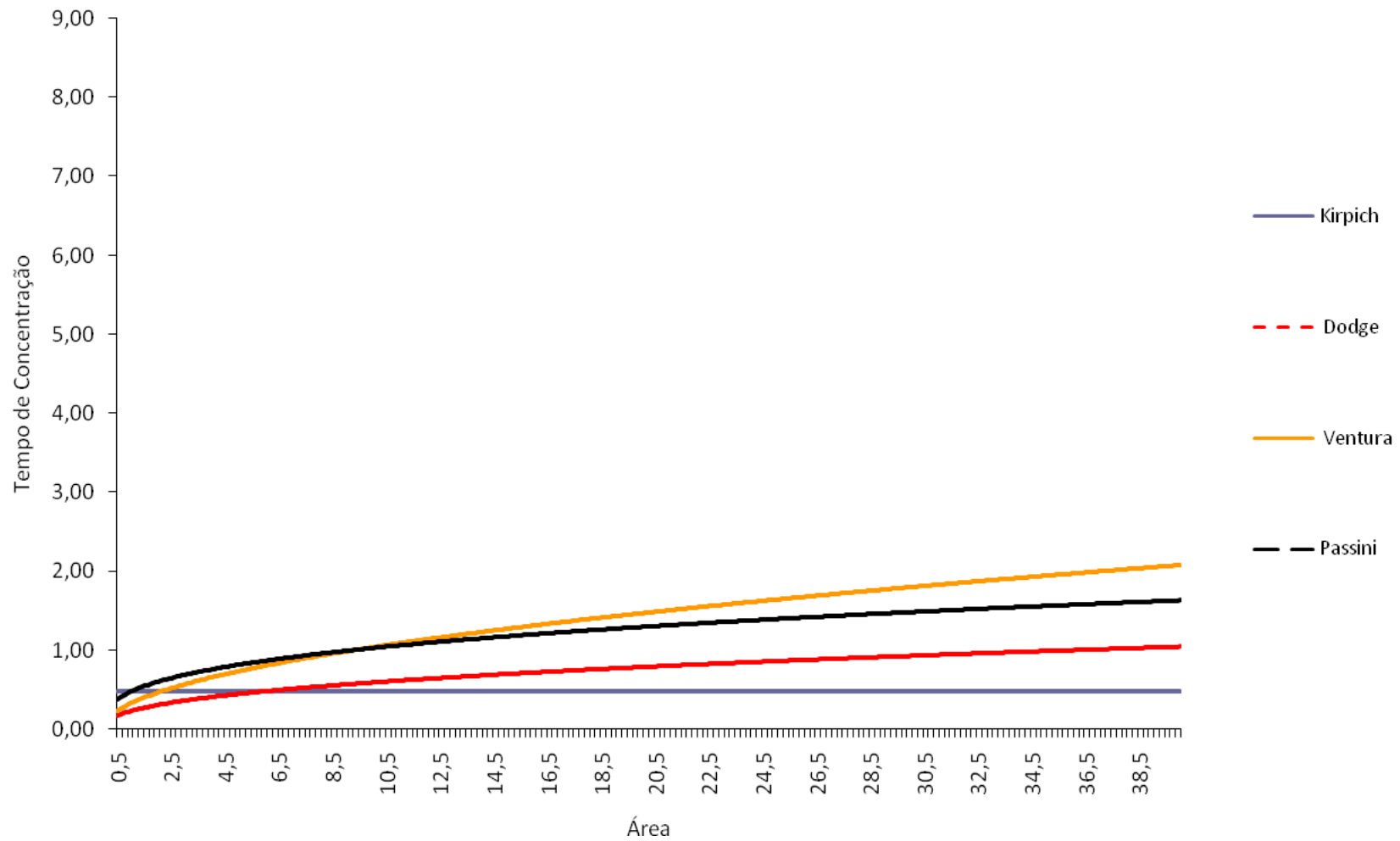


Figura 2: Tempo de concentração em função da área para uma declividade de 5%.

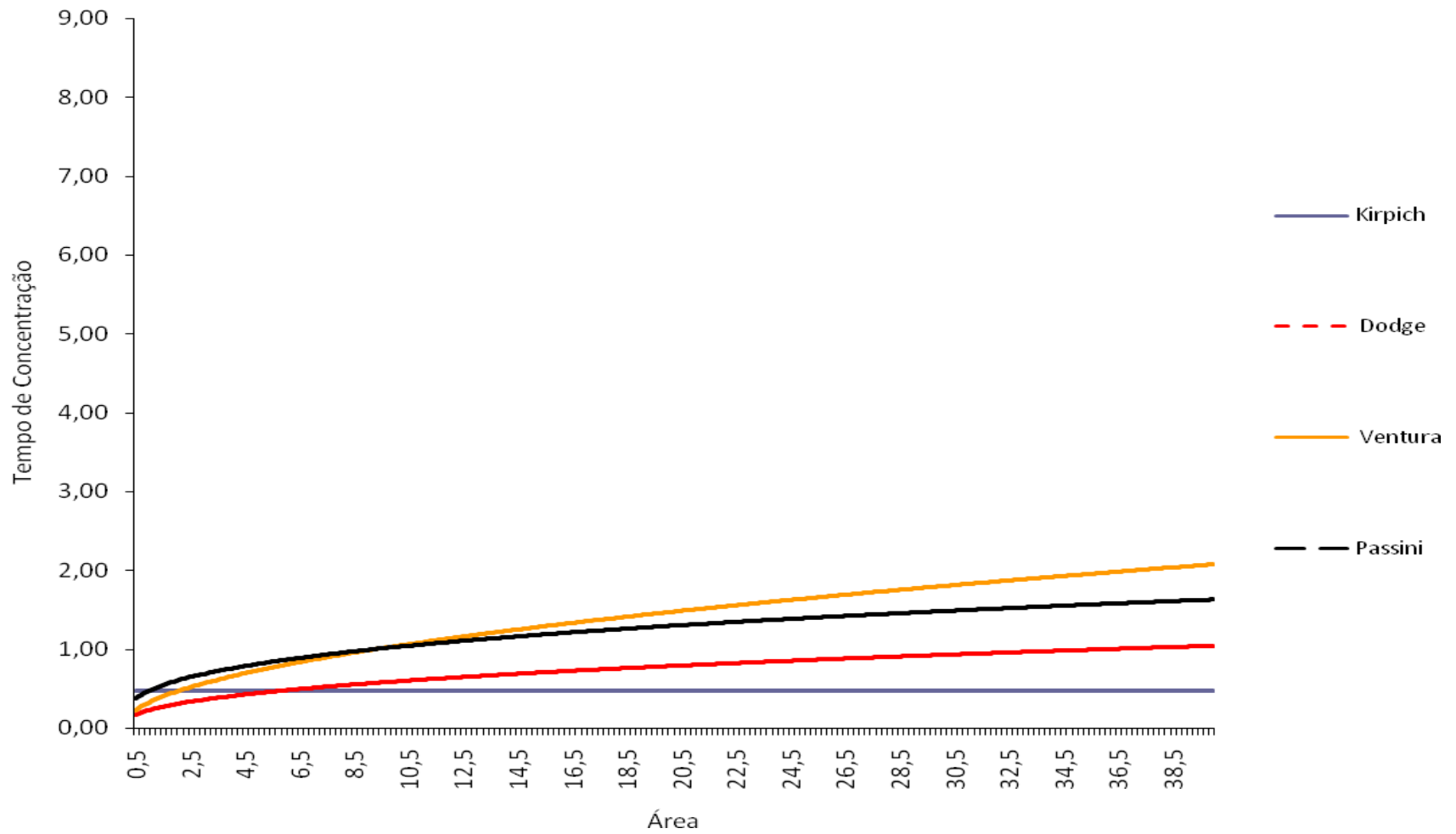


Figura 3: Tempo de concentração em função da área para uma declividade de 10%.

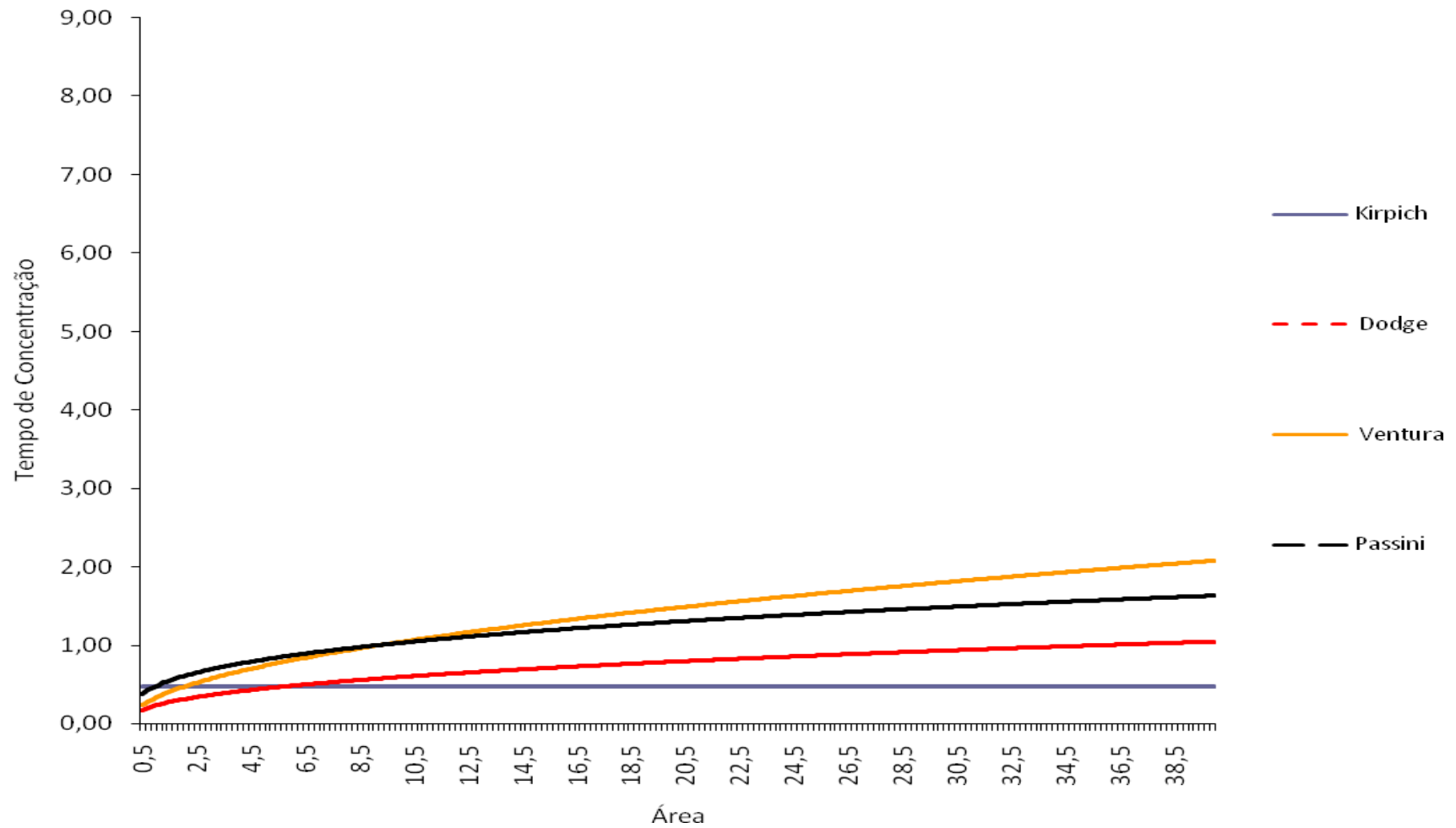


Figura 4: Tempo de concentração em função da área para uma declividade de 15%.

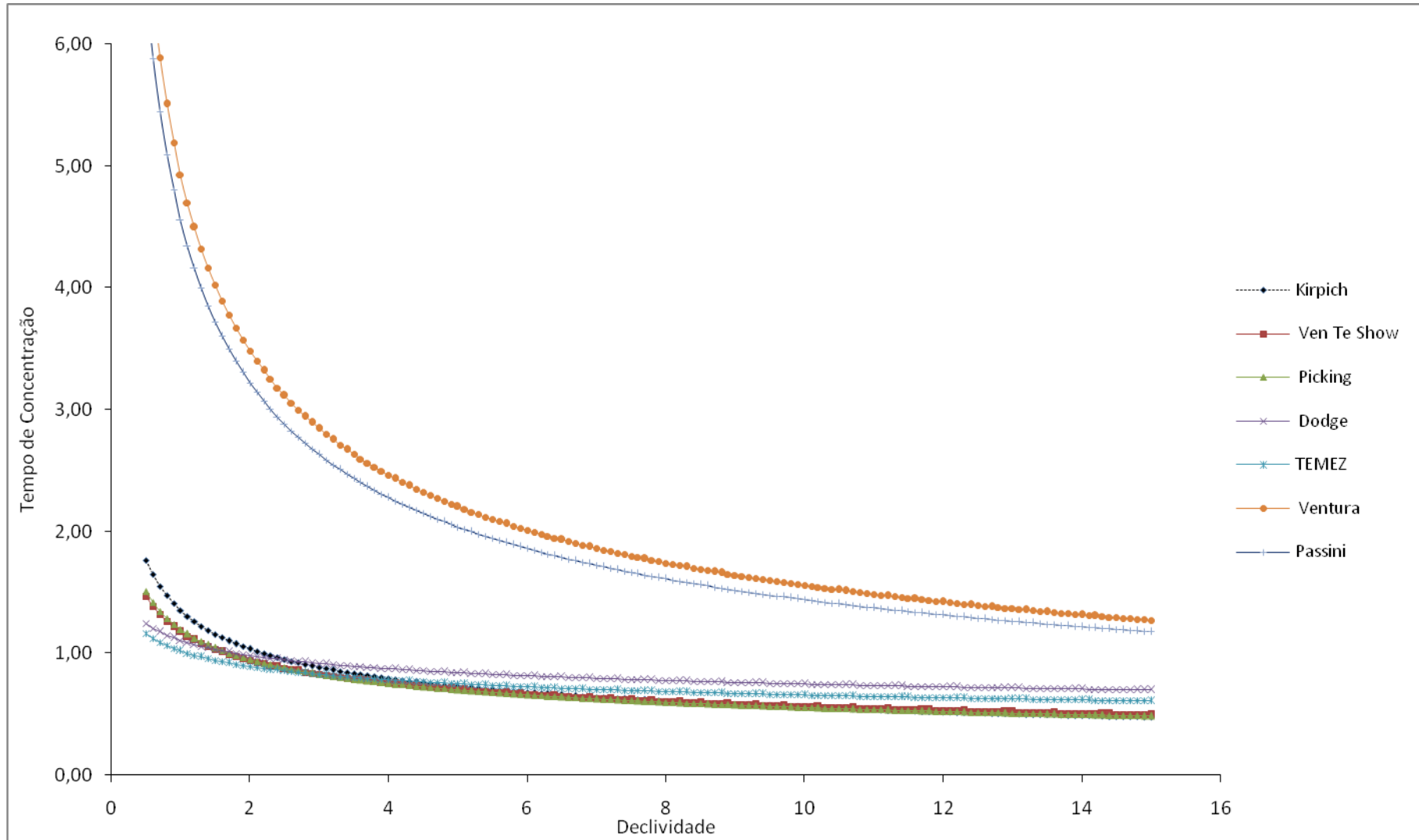


Figura 5: Gráfico do tempo de concentração em função da declividade para uma área de 3 km².

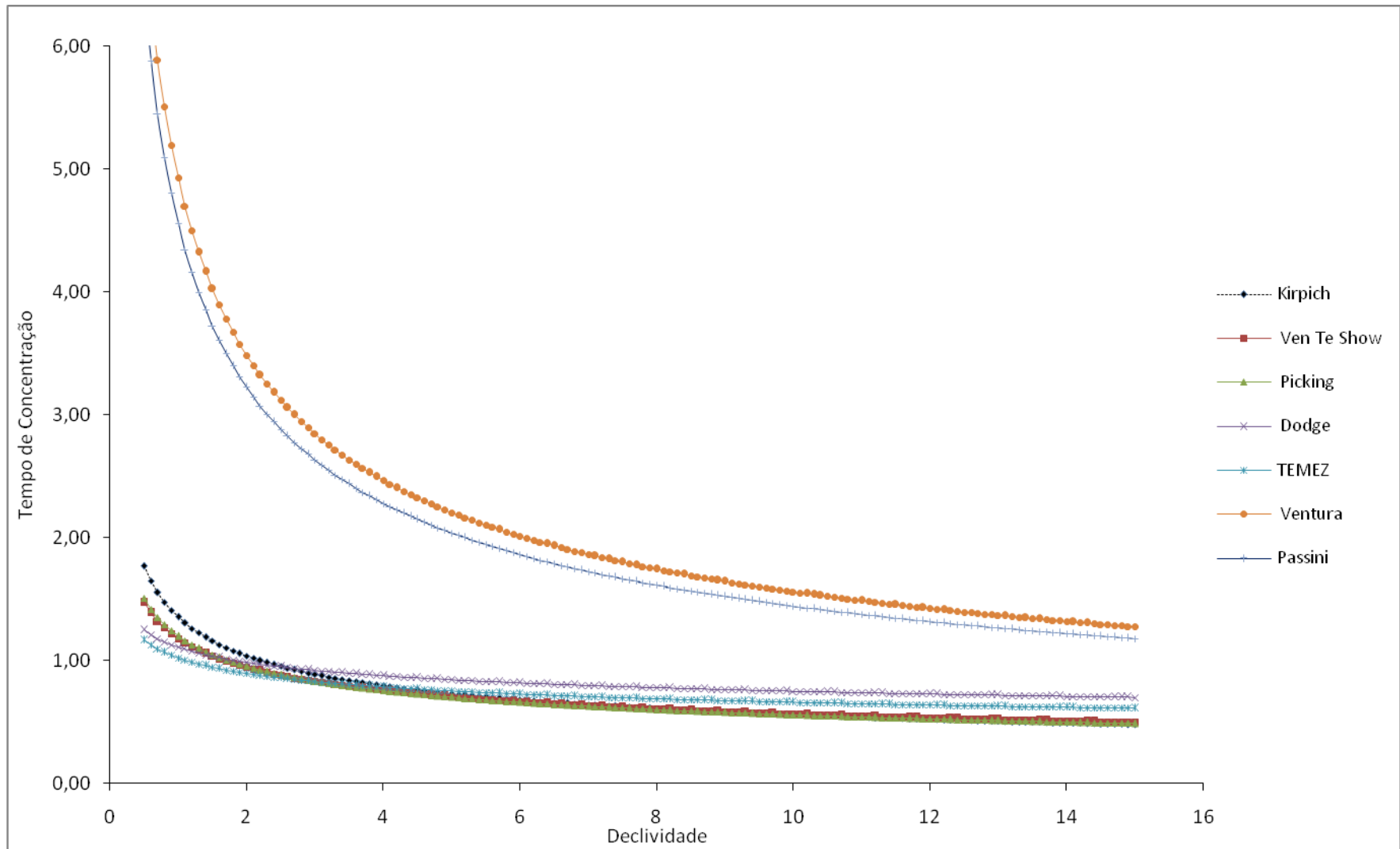


Figura 6: Gráfico do tempo de concentração em função da declividade para uma área de 8 km²

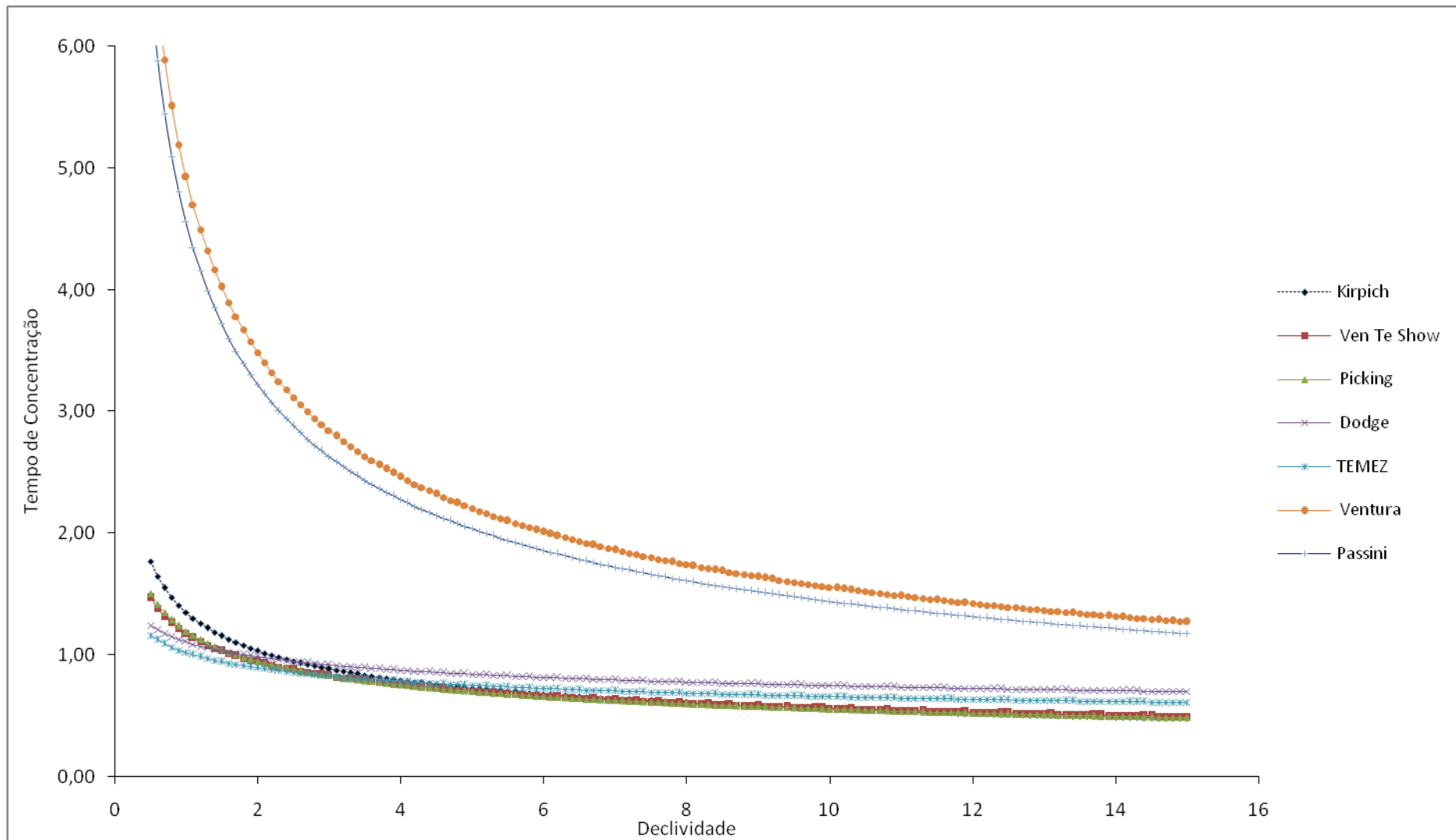


Figura 7: Gráfico do tempo de concentração em função da declividade para uma área de 15 km²

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou metodologias de tempo de concentração em seis métodos com relação ao método de Kirpich, em pequenas bacias urbanas de Fortaleza, verificando que há uma relação direta do método de Kirpich com os métodos Ven Te Chow e Picking, nas variações de área e declividade, onde são mais representativos da variável do estudo.

6 BIBLIOGRAFIA

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. Applied hydrology, New York: McGraw-Hill, 1988.

ESTEVES, R.L.; MENDIONDO, E.M. Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, SP. In: **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Curitiba, nov.2003 – ABRH.

TIBÚRCIO, E.C.; CASTRO, M.A.H.; & TEIXEIRA, A.S. Caracterização e modelagem hidrológica da bacia do Maranguapinho utilizando sistema de informação geográfica, CE. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, Nov.2007 – ABRH.

PORTO, R., ZAHTEL, F. K., TUCCI, C.E.M., BIDONE, F. (2000) Drenagem urbana. In: Tucci, C. E. M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 943p

VILLELA, Swami Marcondes. (1975) Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 273p.

TEMEZ, J.R. *Calculo hidrometeorologico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales*. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, n. 12, 1978.

IEP. *Manual de drenagem superficial em vias de comunicação*. Lisboa: Instituto das Estradas de Portugal (IEP), 2001.

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

KIRPICH, Z.P. Time of concentration in small agricultural watersheds, *Civil Engineering*, v. 10, n. 6, p.362-, 1940.

LANÇA, R.M.M. *Contribuição para o estudo de cheias recorrendo a um modelo distribuído*. Portugal: Universidade de Évora, 2000. (Dissertação de Mestrado).

MATA-LIMA, H. *Hydrologic design that incorporates environmental, quality and social aspects*, *Environmental Quality Management*, v. 15, n. 3, p.51-60. doi: 10.1002/tqem.20092, 2006.

MATA-LIMA, H., SILVA, E., RAMINHOS, C. *Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação*, *REM: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, v. 59, n. 1, p.97-109. doi: 10.1590/S0370-44672006000100013, 2006.

NUNES, FABRIZIA GIOPPO & FIORI, ALBERTO PIO. *A utilização do método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio Atuba*. *Revista Eletrônica Geografar. Curitiba*, v.2, n.2, p.139-155, jul./dez. 2007. ISSN: 1981-089X.

CAMPBELL, ALAN J.; SIDLE, ROY C.; FROEHLICH, HENRY A. *Prediction of peak flows for culvert design on small watersheds in Oregon, 1982*. *Water Resources Research Institute*. Oregon State University. Corvallis, Oregon. Project A-053-ORE.