

## TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS BUGRES NO MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO (SC)

*Leonardo Batistel<sup>1</sup> & Fernando Grison<sup>2\*</sup> & Aline de Almeida Mota<sup>3</sup> & Masato Kobiyama<sup>4</sup>*

**RESUMO** O tempo de concentração ( $T_c$ ) de uma bacia hidrográfica expressa o tempo para que a água precipitada no ponto mais distante do exutório chegue até o exutório do mesmo. Diante disto, este trabalho objetiva realizar o estudo do  $T_c$  da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (66,41 km<sup>2</sup>), localizada no município de Rio Negrinho, no estado de Santa Catarina. Para isso, utilizou-se os dados de precipitação e de vazão obtidos a partir da aplicação de curvas-chave, analisando-se os hidrogramas resultantes. Buscou-se também verificar a existência de uma relação por meio de análises de correlação e de regressão entre os valores de  $T_c$  e as condições de unidade, expressa pelo índice de precipitação antecedente. Obteve-se um valor médio de  $T_c$  aproximadamente de 26,24 horas. As análises de correlação e de regressão apresentaram resultados pouco significativos, indicando que o  $T_c$  possui comportamento independente das condições de unidade da bacia.

**Palavras-chave:** Hidrograma; índice de precipitação antecedente; ponto de inflexão.

## TIME OF CONCENTRATION IN BUGRES RIVER BASIN IN RIO NEGRINHO (SC)

**Abstract** The time of concentration ( $T_c$ ) of a basin expresses the time for rainwater to travel from the farthest point to the exit of the basin. Then, the objective of the present work was to study the  $T_c$  of the Bugres River Basin, located in the municipality of Rio Negrinho, Santa Catarina state. The precipitation and discharge data obtained from the application of stage-curves were used and the resulting hydrographs were analyzed. An existence of a relationship between  $T_c$  and basin humid conditions expressed by the antecedent precipitation index was verified by using correlation and regression analyses. The mean value of  $T_c$  was about 26.24 hours. Correlation and regression analyses showed little significant results, indicating that the  $T_c$  has a behavior independent of the humid conditions of the basin.

**Keywords:** Hydrograph; antecedent precipitation index; inflection point.

---

<sup>1</sup> Estudante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: leonardobatistel@outlook.com.br

<sup>2</sup> Professor do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Chapecó. E-mail: fernando.grison@uffs.edu.br

<sup>3</sup> Professora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Chapecó. E-mail: aline.mota@uffs.edu.br

<sup>4</sup> Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br  
\* Autor Correspondente

## INTRODUÇÃO

A importância dos estudos hidrológicos para a sociedade é indiscutível. Segundo Hornberger *et al.* (1998), no século XX observou-se um grande aumento da utilização da água, bem como o aumento no risco de sua contaminação. Tal aumento da utilização da água implica na necessidade de realização de estudos em hidrologia aplicada, em busca de conhecimentos científicos para propor orientações para o planejamento e gestão adequados dos recursos hídricos (CHOW *et al.*, 1988).

A variabilidade temporal da vazão no rio, decorrente do escoamento superficial, e a altura de água no mesmo são informações fundamentais para análises hidrológicas de águas superficiais. Um gráfico da vazão total em função do tempo em um ponto é chamado de hidrograma (HORNBERGER *et al.*, 1998). A análise de hidrogramas se mostra como uma importante ferramenta para a compreensão do comportamento da água na bacia hidrográfica.

A separação de um hidrograma em escoamento de base e escoamento superficial é uma tarefa comum, embora não seja fácil (DAVIE, 2008). Nesse processo busca-se distinguir a parcela da vazão de um rio gerada pelo escoamento de base da parcela gerada pelo escoamento superficial.

O tempo de concentração ( $T_c$ ) é um parâmetro hidrológico que foi definido por Mulvaney (1850) como sendo o tempo necessário para a precipitação, que cai no local mais distante do exutório, escoar até a mesmo. A verificação do  $T_c$  de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionada à separação dos escoamentos de um hidrograma.

O Índice de Precipitação Antecedente (API) é um índice que pode expressar a umidade armazenada dentro de uma bacia hidrográfica antes de um evento de precipitação. Pode ser definido como uma soma ponderada dos valores diários de precipitação e é utilizado como um índice de umidade do solo (LINSLEY e KOHLER, 1951).

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo investigar o  $T_c$  da bacia hidrográfica do Rio dos Bugres por meio de hidrogramas e hietogramas e analisar a influência das condições de umidade da bacia hidrográfica sobre o  $T_c$ .

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (BHRB) está localizada no norte do estado de Santa Catarina e inserida em sua totalidade no município de Rio Negrinho (Figura 1). Sua área é de 66,41 km<sup>2</sup> com altimetria variando de 787 a 985 m (GRISON *et al.*, 2014).

O uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica são caracterizados pela predominância de vegetação nativa, composta por Floresta Ombrófila Mista. Posteriormente, a atividade de reflorestamento com pinus se destaca. Os solos predominantes da BHRB são Cambissolos, que compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente bastante heterogêneo, tanto no que se refere à cor, espessura e textura, quanto no que diz respeito à atividade química da fração argila e saturação por bases (GRISON, 2013).

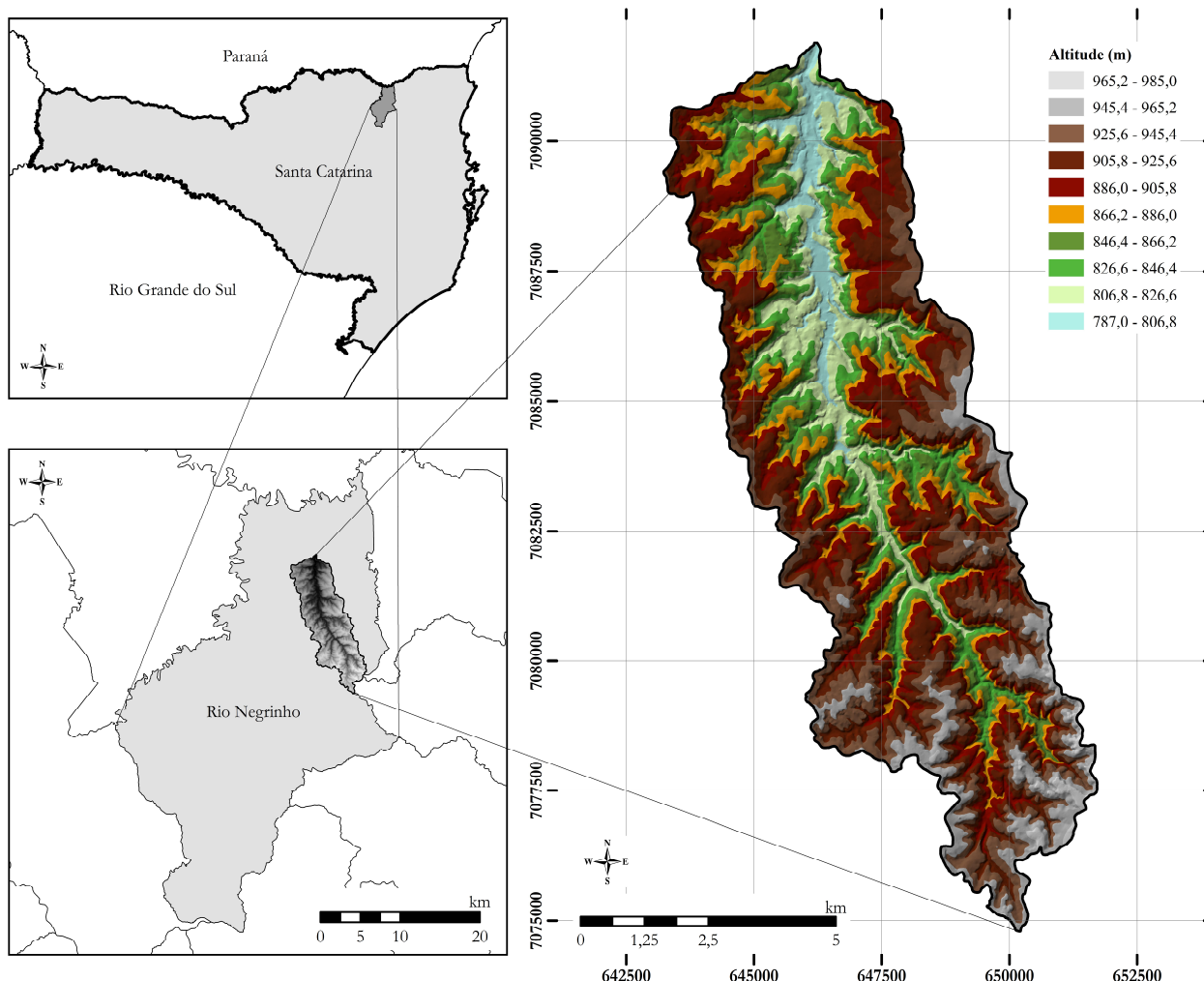


Figura 1 ó Localização da bacia hidrográfica do rio dos Bugres.

### Dados de vazão

Os dados hidrológicos foram obtidos do monitoramento da estação fluviométrica automática instalada no exutório da BHRB. Os dados dessa estação foram monitorados entre os anos de 2011 a 2014, com intervalo de 10 minutos. Para as estimativas de vazões ( $Q$ ) foram utilizadas as curvas-chave dessas estações construídas por Grison (2013).

### Separação dos eventos

Os dados de vazão foram plotados em gráficos expressando o fluxo de água em função do tempo, estabelecendo-se assim os hidrogramas. A partir dos hidrogramas, identificou-se o início da ascensão da vazão e também o ponto correspondente ao reestabelecimento do escoamento de base, assim separando os segmentos correspondentes aos eventos de vazão.

Para facilitar a separação das recessões, utilizou-se o *software* HydroOffice, que possibilita a análise dos dados hidrológicos e exportação dos dados separados para outros *softwares* de análise. Seguiram-se as recomendações expressas por Gregor e Malík (2012), no manual de utilização do *software*.

## Tempo de Concentração

A partir da definição original de  $T_c$ , este trabalho considerou o valor de  $T_c$  como o intervalo entre o tempo final do evento de precipitação e o ponto de inflexão ( $I$ ) do hidrograma (Figura 2a), ponto que separa o escoamento superficial do de base. Para isso, foi utilizado método do cruzamento de retas (KOBAYAMA et al., 2006).

A partir do início da curva de recessão do hidrograma, em escala semilogarítmica, foram desenhadas duas retas descontínuas observando a tendência da curva. O ponto de interseção das retas determina o fim do escoamento superficial (Figura 2a).

A partir da determinação do ponto de inflexão, foi possível verificar o tempo de concentração pela diferença entre o tempo correspondente ao ponto de inflexão e o tempo correspondente ao final da precipitação (Figura 2b).

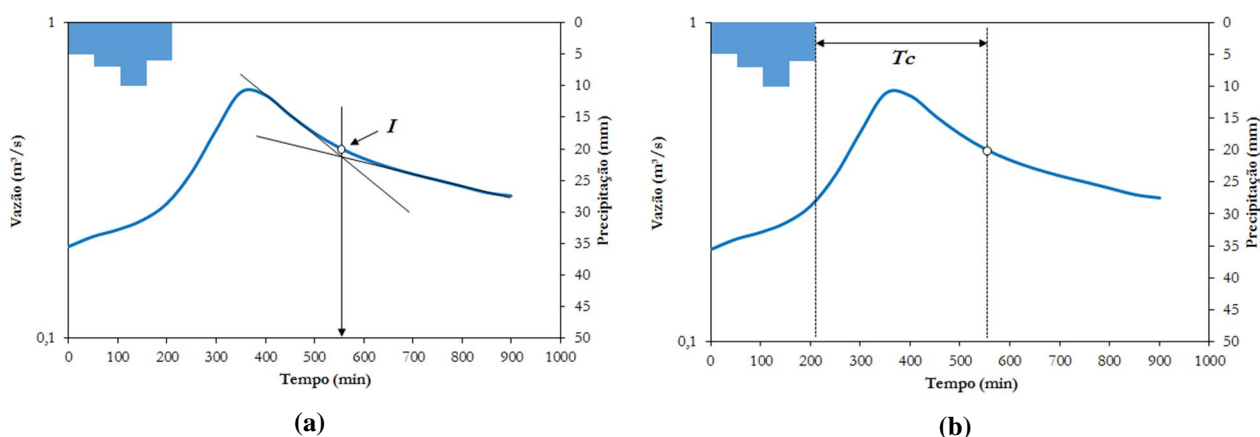


Figura 2 ó Separação de eventos e análise de  $T_c$ . (a) Definição do ponto de inflexão  $I$ ; (b) ó Definição do tempo de concentração.

## Índice de Precipitação Antecedente ( $API$ )

Buscando-se estabelecer uma possível relação de influência da umidade da bacia hidrográfica sobre o  $T_c$ , valores de  $API$  foram estimados para os intervalos de 3, 7, 14, 21 e 30 dias a partir do último intervalo de tempo antecedente à precipitação geradora do evento.

Segundo Linsley & Kohler (1951) o  $API$  é geralmente definido por uma equação do tipo:

$$API = \sum_{i=1}^n b_i \cdot P_i \quad (1)$$

onde  $P_i$  é a precipitação acumulada em  $i$  dias anteriormente ao evento considerado;  $b_i$  é uma constante dada em função do tempo expressa por  $b_i=1/i$ ; e  $n$  é o número de termos arbitrariamente selecionados.

Para isso, foram utilizados os dados de precipitação medidos na estação pluviométrica localizada junto ao exutório da BHRB entre os anos de 2011 a 2014. Ao todo, foram analisados 119 hidrogramas correspondentes a eventos independentes de precipitação. Hidrogramas que apresentaram anomalias foram descartados com o intuito de evitar influências diretas nas análises e nos resultados finais.

Para se verificar as possíveis relações, realizaram-se análises estatísticas de regressão linear simples utilizando o  $API$  como a variável independente ( $T_c=f(API)$ ) e também análises de regressão

linear multivariada, utilizando  $API$  e  $Q_p$  (vazão de pico do hidrograma) como variáveis independentes ( $T_c = f(API, Q_p)$ ) para todos os intervalos de  $API$ s obtidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a distribuição dos valores obtidos para os parâmetros considerados no estudo. Também se verificou os valores mínimos, máximos, médios, o desvio padrão dos parâmetros e o coeficiente de variação (Tabela 1).

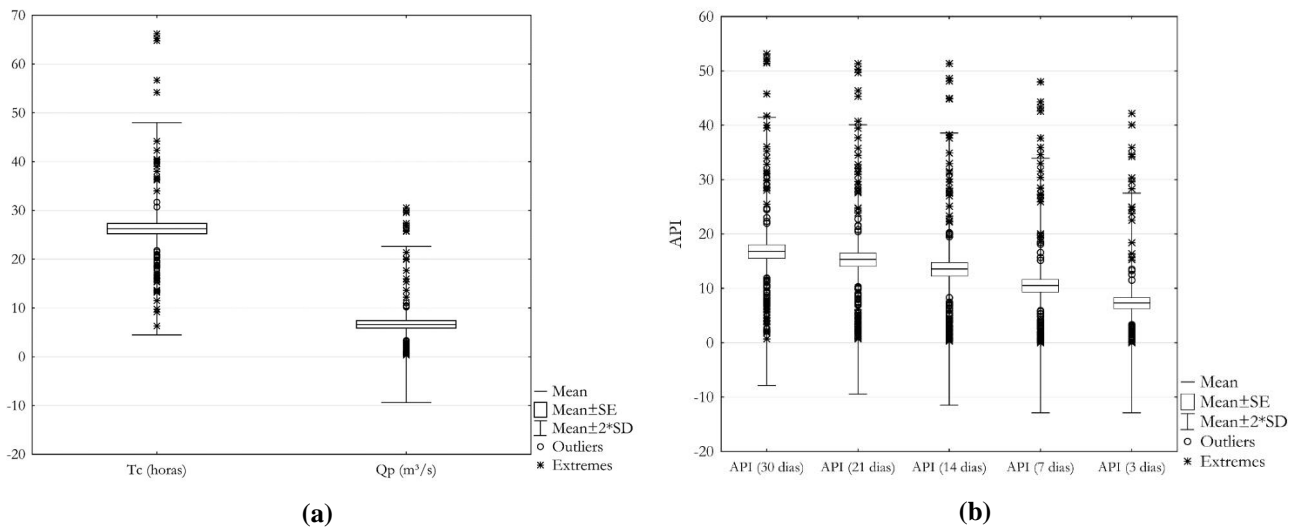


Figura 3 ó Distribuição dos valores: (a) de  $T_c$  e de  $Q_p$ ; e (b) de  $API$ .

Tabela 1 ó Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão de cada parâmetro considerado.

Parâmetros		Mínimo	Máximo	Médio	$s$	$CV$
$API$	30 dias	0,72	53,14	16,81	12,33	0,73
	21 dias	0,72	51,34	15,32	12,37	0,81
	14 dias	0,31	51,34	13,55	12,51	0,92
	7 dias	0,00	47,99	10,52	11,69	1,11
	3 dias	0,00	42,19	7,32	10,09	1,38
$Q_p$ ( $m^3 s^{-1}$ )		0,34	30,55	6,63	7,99	1,21
$T_c$ (horas)		6,30	66,20	26,24	10,88	0,41

$s$  ó Desvio padrão.

$CV$  ó Coeficiente de variação.

Pode-se observar que os parâmetros apresentaram grandes variações em seus valores. Tal amplitude nos valores pode estar associada à aleatoriedade da ocorrência dos eventos. Os eventos de precipitação são bastante variáveis, tanto espacialmente quanto temporalmente. Essa variabilidade pode provocar diferentes comportamentos nas respostas que a bacia hidrográfica vai apresentar em função da ocorrência de um evento. Além disso, a alta variabilidade na estimativa do tempo de concentração deixa evidente o cuidado que se deve ter em relação a estimativas por meio fórmulas empíricas.

Características como a intensidade e duração dos eventos de precipitação influenciam diretamente a forma do hidrograma resultante, o qual também pode sofrer influências das condições de umidade aos eventos, expressas neste trabalho pelo  $API$ .

Para verificar a existência de possíveis relações entre  $APIs$ ,  $Q_p$ , e  $T_c$  através de regressões, inicialmente realizou-se a análise do coeficiente de correlação linear de Pearson (Tabela 2) entre os mesmos. Este coeficiente permite verificar a existência de correlações entre os parâmetros facilitando a escolha das variáveis dependentes e independentes que serão utilizadas nas análises de regressão. O maior coeficiente de correlação foi entre  $T_c$  e  $Q_p$ , ainda assim apresentou valor baixo, 0,54.

Tabela 2 ó Coeficientes de correlação de Pearson e de determinação das regressões.

		$API$					$Q_p$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$T_c$ (horas)	$R^2$	
		30 dias	21 dias	14 dias	7 dias	3 dias			RLS	RLM
$API$	30 dias	1							0,2966	0,5972
	21 dias	0,99	1						0,2544	0,5776
	14 dias	0,98	0,99	1					0,2636	0,5624
	7 dias	0,95	0,95	0,97	1				0,3061	0,5832
	3 dias	0,87	0,87	0,89	0,92	1			0,0890	0,5041
$Q_p$ ( $m^3 s^{-1}$ )		0,49	0,48	0,48	0,49	0,38	1			
$T_c$ (horas)		0,23	0,23	0,25	0,25	0,22	0,54	1		

RLS ó Regressão Linear Simples ( $T_c=f(API)$ );

RLM ó Regressão Linear Multivariada ( $T_c=f(API, Q_p)$ ).

A Figura 4 mostra a análise de correlação linear de Pearson na forma de Matriz Plot, permitindo verificar os parâmetros que apresentam maior ajuste.

Como os valores de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis  $T_c$  e  $API$  e  $T_c$  e  $Q_p$  se mostraram relativamente baixos, optou-se por realizar análises de regressão considerando todos os valores de  $API$ . Os valores do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para as análises para as regressões linear simples e multivariada também estão expressos na Tabela 2.

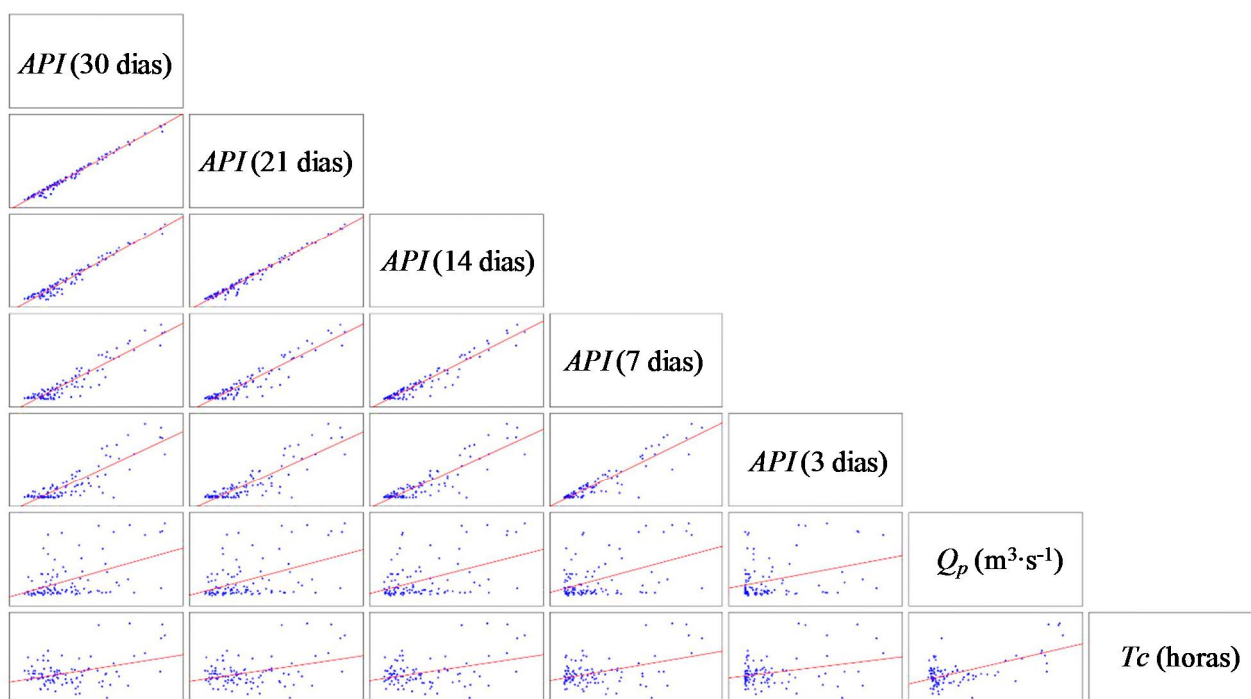


Figura 4 ó *Matrix Plot* da análise de correlação linear de Pearson.

As análises de regressão retornaram valores de coeficientes de determinação bastante baixos (menores que 0,5), o que implica em uma relação pouco considerável entre o tempo de concentração e as condições de umidade da bacia hidrográfica.

Mesmo considerando a  $Q_p$  conjuntamente nas análises de regressão, se obteve valores de  $R^2$  relativamente baixos (menores que 0,6), mostrando que o  $T_c$  independe destas variáveis hidrológicas.

Mota (2012) estudou o  $T_c$  de uma pequena bacia hidrográfica (5,26 ha) próxima a BHRB e obteve uma equação para o tempo de concentração considerando as variáveis  $API$  e  $Q_p$  com coeficiente de determinação bastante significativo (0,89), o que implica a existência de uma relação considerável entre o tempo de concentração e as condições de umidade da bacia hidrográfica. Porém, é importante ressaltar que a escala das bacias neste estudo e no de Mota (2012) são bastante diferentes, sendo aquela muito menor do que a do Rio dos Bugres. A hipótese para diferença entre os resultados desse trabalho e de Mota (2012) é que no caso da bacia menor, o componente que mais influencia o  $T_c$  é a água da precipitação que escoia através do solo. Portanto, o valor de  $T_c$  foi fortemente influenciado pelo  $API$ . Entretanto, no caso desse estudo o percurso da água ocorre quase que totalmente no canal do rio, portanto, a umidade do solo da bacia pode não influenciar diretamente. Por isso, ocorreu o resultado diferente entre o presente trabalho e Mota (2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do regime hidrológico da BHRB através de dados de precipitação e de vazão permitiu averiguar o  $T_c$  da bacia hidrográfica e suas variações. Verificou-se uma grande amplitude nos valores do  $T_c$ , a qual pode estar associada à variabilidade das características dos eventos de precipitação, influenciando diretamente a forma do hidrograma, elemento fundamental na estimativa hidrológica do valor de  $T_c$ .

As análises estatísticas de correlação e de regressão não apresentaram resultados significativos, indicando uma possibilidade na qual o  $T_c$  da BHRB tem comportamento independente das condições de umidade da bacia. Devido aos diferentes resultados entre o presente trabalho e Mota (2012), surgiu uma dúvida sobre qual situação ocorre a influência do  $API$  sobre  $T_c$  em relação à participação do escoamento subsuperficial no percurso da água.

Existe a possibilidade de que o mecanismo de geração de vazão na BHRB não seja controlado significativamente, por suas características pedológicas e hidrogeológicas, fazendo com que o coeficiente de correlação entre  $T_c$  e  $API$  seja baixo.

Salienta-se que é necessário investigar outros parâmetros morfométricos e morfológicos da bacia hidrográfica para estabelecer relações expressivas com o  $T_c$ .

## REFERÊNCIAS

- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill, 572 p.
- DAVIE, T. (2008). *Fundamentals of Hydrology*. 2. ed. New York: Taylor & Francis Group, 200p.

GREGOR, M.; MALÍK, P. (2012). *RC 4.0. User's Manual*. Software for Water Science, 36 p. Disponível em: <<http://hydrooffice.org/>>. Acesso em: 21 de julho de 2015.

GRISON, F.; MOTA, A. A.; KOBAYAMA, M. (2014). Geometria hidráulica de seções transversais do rio dos Bugres. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n.4, p. 205-213.

GRISON, F. (2013). *Estudo da geometria hidráulica do rio dos bugres, no município de Rio Negrinho ó SC*. 236 f. Tese (Doutorado) ó Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HORNBERGER, G. M.; RAFFENSPERGER, J.P.; WIBERG, P.L.; ESHLEMAN, K. L. (1998). *Elements of Physical Hydrology*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 302 p.

KOBAYAMA, M.; GRISON, F.; LINO, J.F.; SILVA, R.V. (2006). Estimativa Morfométrica e Hidrológica do Tempo de Concentração na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis - SC. *In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste*, Curitiba: UFPR, anais, 11p.

LINSLEY, R. K. & KOHLER, M. A. (1951). *Predicting the runoff from storm rainfall*. U.S. Weather Bureau, Research Paper 34, 10 p.

MOTA, A.A. (2012). *Tempo de concentração em pequena bacia experimental*. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

MULVANY, T.J. (1850). On the use of self registering rain and flood gougues. *Proc. Inst. Civ. Eng.* (Irel.) 4(2), p.1-8.