

APLICAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO DE VAZÃO DE PROJETO UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA

Micheli Anastácia Welbert Moscon¹, José Antônio Tosta dos Reis², Lucien Akabassi³, Marco Aurélio Costa Caiado⁴

Resumo – A vazão de projeto para uma barragem foi determinada por distintas formulações para determinação do tempo de concentração, intensidade de chuva e cálculo de vazão. Para o cálculo do tempo de concentração, foram utilizadas as fórmulas de Giandotti, Temez e Ven te Chow e o método NRCS – TR-55. Para o cálculo de chuva intensa, foram utilizados o método Chow-Gumbel e o software Plúvio, para o cálculo de vazão de projeto, usados os métodos do Número da Curva + hidrograma unitário (calculado via HEC-HMS) e método racional. Valores de vazão calculados variaram entre 78,3 m³/s e 571,00 m³/s. O uso do Número da curva + hidrograma unitário (HEC-HMS) utilizando tempo de concentração calculado pelo método de Giandotti e intensidade de chuva pelo método de Gumbel originou o menor valor, enquanto o uso do método racional, utilizando tempo de concentração calculado pelo método de Temez e intensidade de chuva pelo programa Plúvio originou o maior valor. As intensidades de chuva geradas pelo Plúvio foram cerca de três vezes superiores àquelas geradas pelo método Chow-Gumbel. Dentre os métodos de cálculo de tempo de concentração, o NRCS – TR-55, um método científico, em contraposição aos demais, que são empíricos, resultou em valores muito próximos aos calculados pelo método Ven te Chow.

Palavras-Chave – vazão de projeto, intensidade de chuva, tempo de concentração.

APPLICATION OF DIFFERENT METHODS for the CALCULATION OF DESIGN FLOW USING GIS AND HYDROLOGICAL MODELS

Abstract - The design flow for a dam was calculated through different methods for determining the time of concentration, rainfall intensity and flow calculation methodologies. In order to calculate the time of concentration, the formulas of Giandotti, Temez and Ven te Chow and method NRCS - TR-55 were used. For the calculation of rainfall intensity, the method of Chow-Gumbel and the software pluvio were used, while, for the calculation of the design flow, the Curve number + unit hydrograph (calculated using HEC-HMS) and rational method were applied. Flow values varied between 78.3 m³/s and 571.00 m³/s. The use of Curve number + Unit hydrograph (HEC-HMS) using concentration time calculated by the formula of Giandotti and rainfall intensity by the Chow-Gumbel method resulted in the lowest value, while the use of the rational method, calculated using concentration time calculated by the Temez fórmula and rainfall intensity by the program pluvio gave the highest value. The rainfall intensity generated by the Pluvio were about three times higher than that calculated by the Chow-Gumbel method. Among the methods for calculating the concentration time, the NRCS - TR-55, a scientific method, in contrast with the others, resulted in values very close to that calculated by the Ven te Chow method.

Keywords - outflows project, rainfall intensity, time of concentration.

¹ Estudante do Curso superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental.. E-mail: michelimoscon@hotmail.com

² Professor da Universidade Federal do Espírito SantoE-mail: jatreis@gmail.com

³ Professor do Instituto Federal do Espírito Santo.. E-mail: lucien@ifes.edu.br

⁴ Professor do Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: mcaiado@ifes.edu.br

INTRODUÇÃO

O cálculo da vazão de projeto de barramentos, sistemas de drenagem ou de qualquer outra obra de engenharia de recursos hídricos deve refletir situações extremas passíveis de ocorrência em determinado tempo de retorno, o qual varia com o elemento projetado. Enquanto dados de vazão são escassos na maioria das bacias hidrográficas de países em desenvolvimento, devido à falta de recursos, planejamento deficiente de programas de monitoramento, indisponibilidade de tecnologia e dificuldades de medição, entre outros, a disponibilidade de dados de precipitação é mais frequente e de fácil acesso.

Em vista disto, várias fórmulas empíricas foram desenvolvidas visando a determinar vazões máximas a partir de dados pluviométricos. Além disso, métodos mais complexos e confiáveis foram desenvolvidos a partir de maior conhecimento dos fenômenos que regem os processos integrantes do ciclo hidrológico, do avanço dos recursos computacionais e da maior disponibilidade de dados hidrológicos (SOUSA, 2009).

Sistemas de informação geográfica e modelos computacionais tem-se mostrado como ferramentas tecnológicas capazes de serem utilizados em conjunto com os diferentes métodos, aumentando a eficiência e rapidez na obtenção de respostas no cálculo de dados hidrológicos.

O valor da vazão de projeto calculados via modelos chuva-vazão podem originar valores variados quando diferentes métodos para cálculo do tempo de concentração, da intensidade da chuva ou outras variáveis são utilizados.

No presente trabalho, foi estudada a variação dos valores de vazão de projeto de um barramento, calculada por meio de dois métodos associados a dois métodos para o cálculo de intensidade de chuva e cinco métodos para o cálculo de tempo de concentração.

ÁREA DE ESTUDO

Os métodos de cálculo de vazão de projeto foram aplicados a um barramento simulado na bacia do córrego Horizonte, situado no sul do estado do Espírito Santo, Brasil. A bacia do barramento possui 9,3 km² e na sua seção, o Córrego Horizonte é um curso d'água de 4ª ordem. A Figura 01 apresenta a localização da bacia do córrego Horizonte.

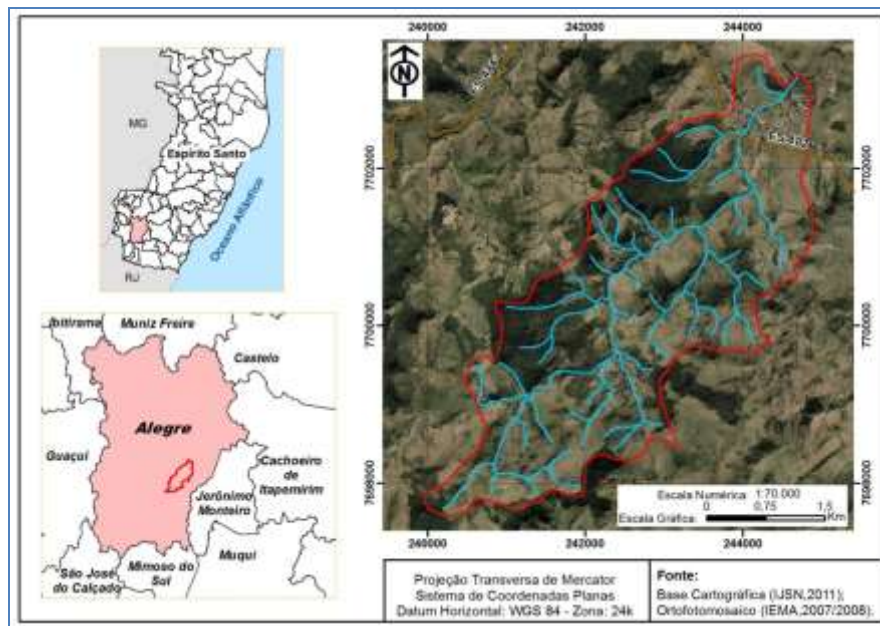


Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Córrego Horizonte.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados fisiográficos e de uso de solo da bacia hidrográfica do córrego Horizonte foram obtidos por meio de técnicas de geoprocessamento utilizando-se fotos aéreas (IEMA, 2007) e shapefiles de hidrografia e curvas de nível com equidistância de 20 metros (IJSN, 2011) que encobrem a região.

Os registros pluviométricos foram obtidos na base de dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Água (ANA) e manipulados por meio do programa computacional HIDRO, sendo utilizados os dados da estação pluviométrica de Rive (Código: 2041003).

Para determinação da equação de Intensidade-Duração-Frequência da área, considerou-se o modelo apresentado na equação (01).

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t+t_0)^n} \quad (1)$$

no qual, i representa a intensidade, T , o período de retorno, t , a duração da precipitação. Os parâmetros k , t_0 , m e n foram determinados pelo método de Chow-Gumbel e pela aplicação do Software Plúvio 2.1.

O método Chow-Gumbel está apresentada em Soprani e Reis (2007). Ele permite estabelecer a equação IDF a partir de uma série de precipitações máximas anuais de 1 dia ocorridas no local de interesse. Aos dados de máximas anuais de 1 dia da estação de Rive, foi ajustada a distribuição probabilística de Gumbel e aplicados coeficientes de conversão entre alturas pluviométricas, estimam-se as precipitações máximas associadas a diferentes períodos de retorno e durações inferiores a 1 dia. Por meio de análises de regressão desses dados, obteve-se a equação de chuvas intensas característica da área.

O Software Plúvio 2.1 foi desenvolvido objetivando a determinação automática de equações de chuvas intensas, requerendo do usuário a localização geográfica do ponto para o qual se deseja obtê-la. Os parâmetros das equações estabelecidas pelo software Plúvio 2.1 são obtidos por um interpolador que considera o inverso da quinta potência da distância entre as localidades para as quais os parâmetros já foram previamente definidos e a localidade para a qual se deseja determinar

a equação. Para obtenção dos parâmetros da equação IDF da bacia, foram utilizadas as coordenadas geográficas do centro do distrito de Rive, município de Alegre.

Utilizando-se os dois métodos acima citados, foi obtida a intensidade de chuva com período de retorno de 10.000 anos e duração igual ao tempo de concentração (T_c) da bacia do barramento. O tempo de concentração foi calculado através de quatro procedimentos distintos: Equações de Ven Te Chow, Temez e Giandotti e o método NRCS – TR-55. Para cada valor de T_c , foram obtidos dois valores de intensidade de chuva, um para cada método discutido acima. As equações de Ven Te Chow, Temez e Giandotti estão apresentadas nas equações 2, 3 e 4, respectivamente, enquanto o método NRCS – TR-55 está descrito em seguida.

Fórmula de Ven te Chow

$$T_c = 9,60 \cdot L^{0,64} \cdot S^{-0,32} \quad (2)$$

TC: tempo de concentração (min.);

L: comprimento do talvegue principal (Km);

S: declividade média do talvegue principal (m/m).

Fórmula de Temez

$$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (3)$$

TC: tempo de concentração (horas);

L: estirão (Km);

i: declividade (%).

Fórmula de Giandotti

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,80 \cdot \sqrt{H}} \quad (4)$$

TC: tempo de concentração (horas);

A: área da bacia (Km²);

L: comprimento do estirão (Km);

H: altura média da bacia (m).

O método NRCS – TR-55 considera a bacia hidrográfica dividida em três áreas, conforme o tipo de escoamento superficial predominante. Na área 1, predomina escoamento superficial, na área 2, fluxo concentrado e na área 3, fluxo em canais. Para cada uma dessas áreas é aplicada uma fórmula característica e o tempo de concentração é calculado pela soma do tempo que a água demora para atravessar cada uma delas.

A vazão de projeto foi determinada por meio da aplicação do Método Racional e do Número da curva + Método do Hidrograma Unitário, este último calculado por meio do Programa HEC-

HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) (Hydrologic Engineering Center, 2002), software desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos.

Os dois métodos de determinação da vazão (Método Racional e do Número da curva + Hidrograma Unitário) foram combinados com os dois métodos de cálculo de chuva intensa (Chow-Gumbel e Plúvio) e os quatro métodos de cálculo de tempo de concentração (Ven Te Chow, Temez, Giandotti e NRCS – TR-55), gerando 16 diferentes valores de vazão, os quais foram discutidos e comparados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as informações fisiográficas da bacia do barramento utilizadas no cálculo do tempo de concentração pelas equações de Ven Te Chow, Temez e Giandotti, enquanto a Tabela 2 apresenta os dados requeridos pelo método NRCS – TR-55.

Tabela 1: Dados fisiográficos da Bacia do Córrego Horizonte

Parâmetro	Valor
Área da Bacia (Km ²)	9,31
Diferença de nível média (m)	340,22
Declividade média (m/m)	0,06
Declividade média (%)	6,04
Comprimento do talvegue principal (Km)	6,45
Declividade média do talvegue principal (m/m)	0,06

Tabela 2: Dados fisiográficos da bacia do córrego Horizonte para Cálculo do TC pelo Método NRCS – TR-55.

Área	Parâmetro	Valor	
Área de escoamento superficial	η: coeficiente de manning;	0,520	
	L: comprimento (m)	120,000	
	P: chuva de 24 horas que acontece a cada 2 anos (polegadas)	3,570	
	S: declividade (m/m)	0,200	
Área de fluxo concentrado	S: declividade (m/m)	0,130	
Áreas de Canais	Fluxo acumulado entre 100 e 2000 células	η: coeficiente de manning	0,050
		S: declividade (m/m)	0,037
		R: raio hidráulico	0,160
	Fluxo acumulado entre 2000 e 5000 células	η: coeficiente de manning	0,050
		S: declividade (m/m)	0,129
		R: raio hidráulico	0,320
	Fluxo acumulado entre 5000 e 20000 células	η: coeficiente de manning	0,050
		S: declividade (m/m).	0,023
		R: raio hidráulico	0,640

Os valores de tempo de concentração calculados por diferentes métodos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Tempo de Concentração para a Bacia do Córrego Horizonte

Método	TC (min)
Giandotti	88,95
Ven te Chow	77,68
NRCS – TR-55	74,27
Temez	52,72

O NRCS – TR-55, método de cálculo de tempo de concentração (T_c) baseado em conhecimento científico, em contraposição às equações de Ven Te Chow, Temez e Giandotti, que são empíricas, resultou em valor de T_c muito próximo ao calculado pela equação de Ven te Chow; porém, 41% superior ao calculado pela de Temez e 19,5% menor que o calculado pela de Giandotti. A discrepância reflete as diferenças entre variáveis fisiográficas e hidrológicas da bacia em estudo e aquelas que serviram como base para o desenvolvimento das citadas equações.

A tabela 4 apresenta Intensidades de Chuva calculadas para a bacia do Córrego Horizonte pelo software Plúvio e pelo método de Chow-Gumbel para tempo de retorno de 10.000 anos e duração igual ao T_c calculado pelas equações de Giandotti, Ven te Chow e Temez e pelo método NRCS-TR-55.

Tabela 4: Intensidades de Chuva para a bacia do Córrego Horizonte calculadas usando duração igual ao T_c calculado por diferentes métodos para tempo de retorno de 10.000 anos.

Método de cálculo de T_c	Intensidade Pluviométrica (mm/h)	
	Chow-Gumbel	Programa Plúvio
Giandotti	95,41	293,78
Ven te Chow	104,38	322,74
NRCS – TR-55	107,49	332,77
Temez	133,70	416,25

Os resultados mostram que os valores de intensidade pluviométrica calculados através da aplicação do programa Plúvio foram mais que o triplo dos valores calculados pelo método de Chow-Gumbel.

Os valores de vazões de projeto estimadas pelo Método Racional e Número da curva + Hidrograma Unitário para o período de retorno de 10.000 anos e diferentes tempos de concentração estão apresentados na Tabela 5.

A aplicação de diferentes metodologias resultou em valores de vazão entre 78,3 m³/s e 571,00 m³/s. O uso do hidrograma unitário utilizando tempo de concentração calculado pelo método de Giandotti e intensidade de chuva pelo método de Gumbel originou o menor valor, enquanto o uso do método racional, calculado utilizando tempo de concentração calculado pelo método de Temez e intensidade de chuva pelo programa Plúvio originou o maior valor.

Tabela 5: Vazão de projeto calculada diferentes métodos

Método de cálculo de vazão	Método de cálculo de intensidade de Chuva	Método de cálculo de tempo de concentração	Vazão de projeto (m³/s)
Método Racional	Gumbel	Giandotti	130,87
		Ven te Chow	143,18
		NRCS – TR-55	147,45
		Temez	183,40
	Plúvio	Giandotti	403,00
		Ven te Chow	442,72
		NRCS – TR-55	456,48
		Temez	571,00
Número da Curva + Hidrograma Unitário	Gumbel	Giandotti	78,30
		Ven te Chow	83,30
		NRCS – TR-55	85,10
		Temez	99,60
	Plúvio	Giandotti	375,90
		Ven te Chow	407,50
		NRCS – TR-55	410,20
		Temez	511,40

Os valores de vazão calculados pelo método racional foram, em média, cerca de 20% superiores aos valores calculados pelo método Número da Curva + Hidrograma Unitário.

Os maiores valores de vazão de projeto foram determinados utilizando a metodologia de chuvas intensas através do software Plúvio 2.1. Esse resultado deve-se ao software Plúvio 2.1 ser baseado na metodologia de interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas, o que, dependendo das variáveis fisiográficas e o detalhamento espacial da bacia, pode resultar em valores inapropriados.

Os valores de vazão calculados utilizando intensidades de chuva apropriadas pelo Plúvio foram, em média, 376% superiores às vazões calculadas utilizando intensidades apropriadas pelo método Chow-Gumbel.

CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho demonstram que os diferentes métodos utilizados para a obtenção de vazões máximas em bacias não monitoradas resultam em dados significativamente diferentes, o que faz com que a escolha dos mesmos deva considerar o conhecimento da região de estudo, o domínio e experiência no uso dos modelos a serem aplicados, preferindo-se métodos que tenham sido desenvolvidos para bacias com características semelhantes à bacia objeto do estudo.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, D. F. de e SILVA, L. D. B. da. *Escoamento superficial*. In: Hidrologia. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2012.
- GRECCO, L. B.; MANDELLI, M. S. *Avaliação da Influência das Variáveis Hidrológicas e Fisiográficas no Projeto de Sistemas Urbanos de Macrodrenagem para o Município de Vitória*. Vitória: IFES, 2009.
- IEMA – Instituto Estadual do Meio Ambiente. 2007. Levantamento Aerofotogramétrico na escala 1: 15.000. *Ortofotomosaico*.
- IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves. Downloads de Arquivos Georreferenciados. *Geoprocessamento*. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=483>. Acesso em: 15 dez. 2010.
- Hydrologic Engineering Center. *Hydrologic modeling system (HEC-HMS)*. U.S. Army Davis Corps of Engineers, EUA, 2002.
- PORTO, R.; ZAHED, K.; TUCCI, C. & BIDONE, F. Drenagem Urbana. (2004). In: TUCCI, C. E. M., org. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: ABRH,.
- SOPRANI, M. A. S; REIS, J. A, T. Proposição de equações de intensidade-duração-frequência de precipitações para a bacia do rio Benevente, ES. *Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia* n.2, p. 18-25, 1. Sem. 2007.
- SOUSA, H. T. de. *Sistema Computacional para Regionalização de Vazões*. Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 86p.