

IV-077 - ESTIMATIVA DE VAZÕES MÁXIMAS NO RIO BENEVENTE (ES) COM AUXÍLIO DE MODELO CHUVA-VAZÃO

Sara Aparecida Francisco⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

José Antônio Tosta dos Reis

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras - Vitória - ES - CEP: 29073-910- Brasil - Tel: (27) 33470002 - e-mail: sara.aparecida.francisco@gmail.com

RESUMO

As enchentes, ou cheias são caracterizadas por fenômenos em que são verificados valores extremos de vazão ou nível, associados a inundações das planícies ou de áreas adjacentes ao canal principal dos cursos de água. Chuvas intensas podem ocasionar esses grandes picos de escoamento, principalmente em áreas mais ocupadas, cujos sistemas de drenagem têm menor eficiência, em função da redução da infiltração da água no solo. Neste contexto, os modelos chuva-vazão podem constituir importantes ferramentas de apoio às atividades de gerenciamento dos recursos hídricos. O presente trabalho teve por objetivo estimar, com auxílio do Método estabelecido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), vazões máximas para uma sub-bacia hidrográfica do rio Benevente, importante curso d'água da porção centro-sul do estado do Espírito Santo. As informações pluviométricas foram obtidas da estação Matilde (DNOS), mantida pela Agência Nacional das Águas, e as características fisiográficas de por meio de *shapefiles* fornecidos pelo GEOBASES e pela EMBRAPA. Para a determinação das equações de chuvas intensas, foram empregados os métodos de Bell, de Chow-Gumbel e o *Software* Pluvio. A apropriação dos tempos de concentração envolveu a aplicação dos métodos de Dooge, Johnstone e Bransby-Williams. Os resultados indicaram que, ainda que o Método SCS constitua alternativa útil e versátil para estimativa de vazões máximas, a combinação diferentes padrões de uso e ocupação do solo, tempos de concentração e intensidades pluviométricas podem produzir valores de vazão que divergem substancialmente entre si.

PALAVRAS-CHAVE: Vazões máximas, rio Benevente, modelos chuva-vazão, *Soil Conservation Service* (SCS).

INTRODUÇÃO

As enchentes, de acordo com Vianna (2000), são caracterizadas por fenômenos em que são verificados valores extremos de vazão ou nível d'água, associados a inundações das planícies ou de áreas adjacentes ao canal principal dos cursos de água. Essas vazões máximas ocorrem também quando o nível de água de lagos, diques, reservatórios ou estuários excede um valor crítico e inunda áreas vizinhas.

Chuvas intensas podem ocasionar grandes picos de escoamento, principalmente em áreas mais ocupadas, cujos sistemas de drenagem têm menor eficiência, em função da redução da infiltração da água no solo (LUCAS *et al*, 2009). Outros fatores como a inclinação do terreno, a cobertura vegetal e o uso do solo também são determinantes nas condições de infiltração da água no solo de uma bacia e, por consequência, na amplitude dos picos de vazão.

Em um projeto de sistema de drenagem ou de controle de cheias, os modelos chuva-vazão são usualmente utilizados para definir uma vazão máxima de projeto, que pode ser utilizada para o cálculo de seções hidráulicas ou de hidrogramas afluentes a uma estrutura de reservação (CANHOLI, 2005). De acordo com Tucci *et al*. (2004), *apud* Santos (2010), visando o controle ou a atenuação das cheias, a estimativa de vazões máximas é de vital importância na determinação de custos e da segurança de projetos de engenharia, dado que serve como base para aplicação de medidas de ordem estrutural.

De acordo com Scharffenberg e Fleming (2010), os hidrogramas produzidos pelo Método chuva-vazão estabelecido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) podem constituir uma ferramenta útil para previsão de vazão, de impactos provocados pela urbanização de uma bacia, de modificações causadas por projetos de vertedouros de reservatórios, para avaliação da redução de danos associados à inundação e para a determinação da planície de inundação e áreas de risco.

O presente trabalho teve por objetivo estimar, com auxílio do Método SCS, vazões máximas para uma sub-bacia hidrográfica do rio Benevente, importante curso d'água da porção centro-sul do estado do Espírito Santo.

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do rio Benevente localiza-se ao sul do Estado do Espírito Santo, situada entre os meridianos 40°33' e 41°00' de Longitude Oeste e entre os paralelos 20°26' e 21°49' de Latitude Sul. Tem uma área de drenagem de cerca de 1.190 km², compreendendo os municípios de Anchieta, Alfredo Chaves, Iconha, Guarapari e Piúma. A bacia se insere na Unidade Hidrográfica Benevente, que inclui as bacias da Lagoa Mãe-bá e do rio Meaípe, em Guarapari (IEMA, 2008). Sua geologia é considerada como bem representativa no Estado do Espírito Santo, sendo composta, em sua maior parte, por rochas cristalinas Pré-Cambrianas (RADAMBRASIL, 1983).

O rio Benevente, que constitui uma importante fonte de abastecimento de água das cidades que integram sua Bacia, percorre uma extensão aproximada de 34 km da sua nascente, na Serra do Tamanco, entre os municípios de Alfredo Chaves e Vargem Alta, até a foz, localizada na cidade de Anchieta, onde se situa um dos maiores manguezais do Espírito Santo, com cerca de 6,5 km de extensão e uma área aproximada de 4,6 km². Dentre os afluentes mais importantes destacam-se, na margem direita, os rios Pongal, Joéba, São Joaquim, Maravilha e Crubixá e, na margem esquerda, os rios Salinas, Grande Corindiba, Caco de Pote e Batatal (FERREIRA, 1998).

A porção da bacia hidrográfica do Rio Benevente considerada nesse trabalho (área hachurada na Figura 1) possui área de aproximadamente 382,37 Km² e declividade média de 0,080, com exutório localizado à jusante da estação fluviométrica de Matilde.

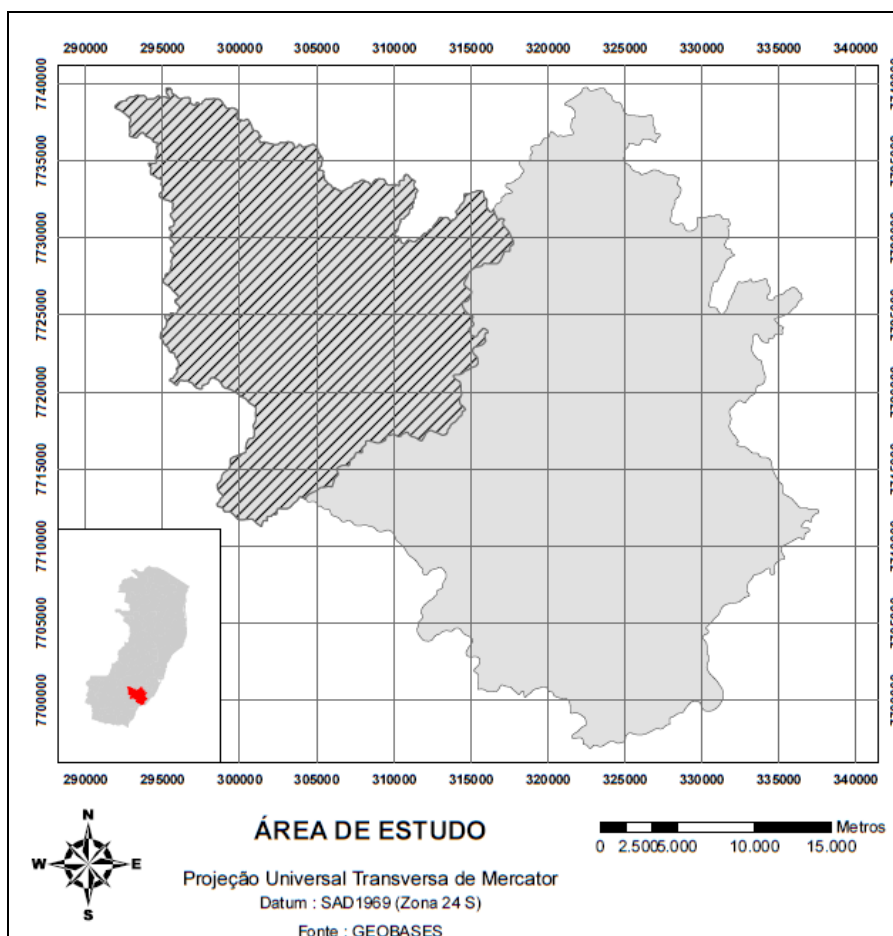


Figura 1: Porção da bacia hidrográfica do rio Benevente considerada no presente estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Características hidrológicas

As informações pluviométricas consideradas neste estudo foram obtidas a partir da estação Matilde (DNOS), estação instalada no Município de Alfredo Chaves, mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Dessa estação foram selecionados 50 registros de precipitações máximas anuais, compreendendo o período entre os anos de 1961 e 2011. A Figura 2 ilustra a rede de drenagem da região de estudo e a estação pluviométrica de Matilde (DNOS).

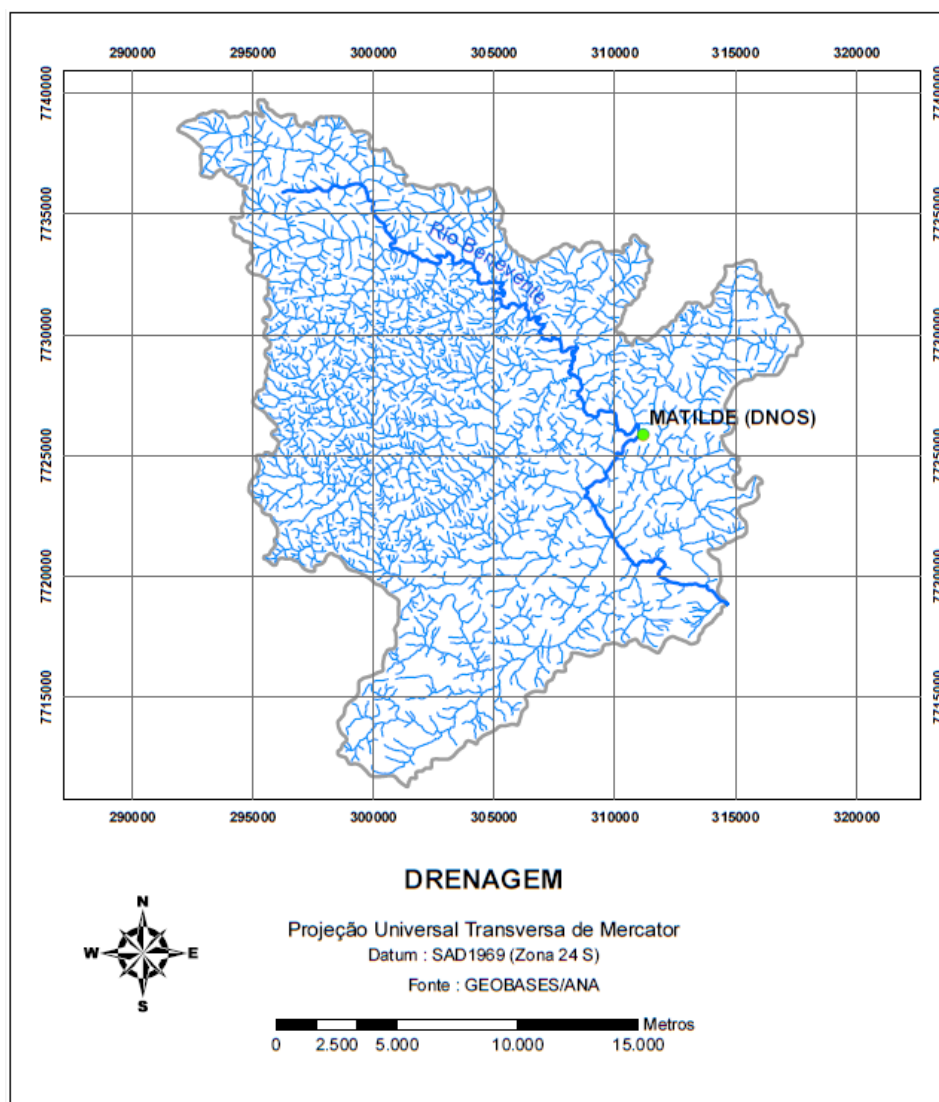


Figura 2: Rede de drenagem da região estudada.

Equações de chuvas intensas

Para a determinação das equações de chuvas intensas, foram empregados os métodos de Bell (RIGHETO, 1998) de Chow-Gumbel (CETESB, 1996) e o *Software Pluvio*.

O método de Chow-Gumbel faz uso da média aritmética e do desvio-padrão de uma série anual de precipitações máximas de um dia de duração, a partir dos quais busca ajustar a distribuição probabilística de Gumbel. O método de Bell, por sua vez, faz associação da altura pluviométrica de uma chuva intensa, para um determinado tempo de duração e período de retorno, à chuva intensa padrão, com duração de 60 minutos e dois anos de período de retorno.

O *Software Pluvio*, programa produzido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa. Atualmente, na versão 2.0, o programa já possui um banco de dados que permite a obtenção de equações para os Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins. Segundo o GPRH, o *software* permite, a partir de procedimentos de interpolação, a estimativa dos coeficientes da equação de chuvas intensas para diferentes localidades dos referido estados.

Tempos de concentração

Neste estudo, a apropriação dos tempos de concentração envolveu a aplicação dos métodos de Dooge (expressão 01), Johnstone (expressão 02) e Bransby-Williams (expressão 03).

$$t_c = 2188 \cdot \frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \quad (01)$$

$$t_c = 20,17 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} \quad (02)$$

$$t_c = 14,6 \cdot \frac{L}{A^{0,1} S^{0,2}} \quad (03)$$

Nas expressões (01), (02) e (03), L representa o comprimento do talvegue (em Km), A a área da bacia (Km²) e S o declividade do talvegue (m/m). Conforme observa Franco (2004), a expressão proposta por Dooge é aplicável a bacias rurais variando com áreas variando de 140 a 930 Km² e a expressão de Johnstone a bacias com áreas variando de 65 a 4200Km². As características fisiográficas necessária à condução do presente estudo foram obtidas de Santos (2010).

Método Soil Convernation Service

O Método *Soil Convernation Service* (SCS, 1966) é empírico e foi desenvolvido pelo Departamento Americano de Agricultura para estimar o escoamento superficial direto resultante de um evento de chuva intensa. Neste método, o escoamento superficial é calculado em função do tipo de solo e as condições de cobertura vegetal de uma bacia retratadas por meio do parâmetro CN.

O valor do parâmetro CN, por sua vez, varia de 0 a 100, sendo definido em função de fatores como os grupos hidrológicos do solo, o tipo de cobertura vegetal e as condições antecedentes de umidade da bacia, que para esse trabalho foi considerada a condição tipo III. O valor de CN adotado foi de 55, obtido do trabalho de Santos (2010).

A aplicação do Método SCS envolve a aplicação das expressões de (04) a (09).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (04)$$

$$P = I \cdot t_c \quad (05)$$

$$P_c = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (06)$$

$$D = \frac{t_c}{7,5} \quad (07)$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0,2t_c \quad (08)$$

$$Q = 0,208 \cdot \frac{(P_c \cdot A)}{T_p} \quad (09)$$

Nas expressões anteriores S representa a retenção potencial do solo (em mm), P a precipitação total (mm), P_c o escoamento direto ou precipitação excedente (mm), D o intervalo de discretização da chuva (h), T_p o tempo de ascensão do hidrograma unitário (h), A a área de drenagem (km²) e Q a Vazão de pico (m³/s).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações (10), (11) e (12) constituem as relações Intensidade-Duração-Frequência determinadas para a estação Matilde (DNOS) pelo *Software* Plúvio e pelos métodos de Chow-Gumbel e de Bell, respectivamente.

$$I = \frac{1370,217 T_r^{0,180}}{(t + 14,722)^{0,765}} \quad (10)$$

$$I = \frac{14,841T_r^{0,1793}}{(t + 11)^{0,1793}} \quad (11)$$

$$I = \frac{6,7197T_r^{0,2094}}{(t - 3)^{0,599}} \quad (12)$$

Nas três últimas expressões I representa a intensidade (mm/min), T_r o período de retorno (anos) e t a duração (minutos).

As Figuras 3 e 4 representam graficamente as intensidades determinadas pelas equações estabelecidas neste trabalho quando da adoção de períodos de retorno de dois e cem anos. Da simples inspeção das referidas figuras (e de figuras similares produzidas para outros períodos de retorno) pode-se observar que as intensidades estimadas a partir da equação estabelecida com aplicação do software Plúvio são invariavelmente superiores às aquelas apropriadas pelos métodos de Chow-Gumbel e de Bell, quando da estimativa de precipitações com durações inferiores à 600 minutos. Adicionalmente, para precipitações com durações superiores a 60 minutos, as intensidades apropriadas pelos métodos de Chow-Gumbel e Bell são similares.

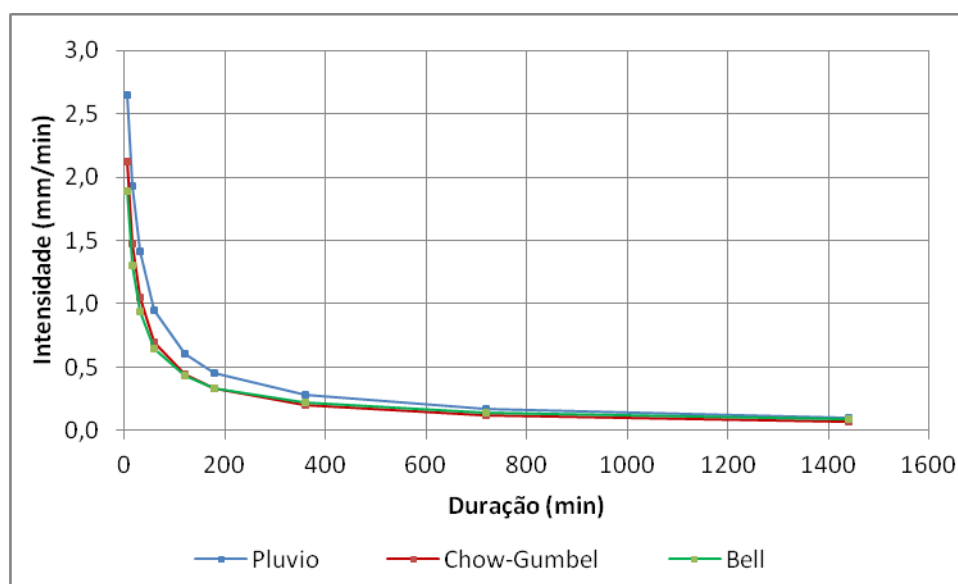


Figura 3: Comparação entre os métodos de determinação da intensidade de chuva para período de retorno de 2 anos - Resultados para a estação Matilde (DNOS).

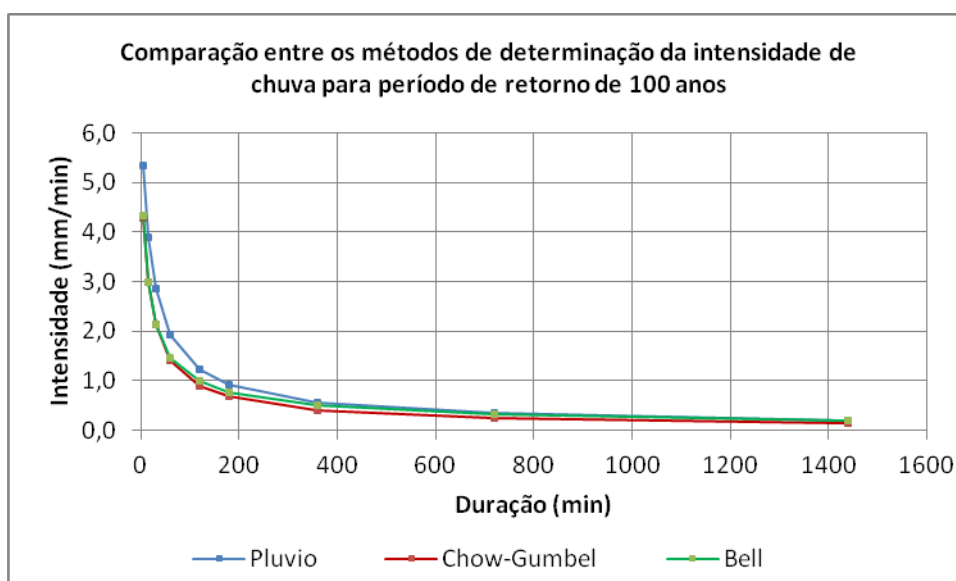


Figura 4: Comparação entre os métodos de determinação da intensidade de chuva para período de retorno de 100 anos - Resultados para a estação Matilde (DNOS).

A Tabela 1 apresenta os tempos de concentração, em minutos, estimados para a bacia hidrográfica do rio Benevente a partir dos métodos de Dooge, Johnstone e Bransby-Williams. É relevante observar que o tempo de concentração estimado a partir de expressão de Johnstone foi substancialmente menor que aqueles apropriados pelas demais expressões consideradas neste estudo, com diferenças variando entre 77% (referente ao tempo de concentração estimado pela expressão proposta por Bransby-Williams) e 100% (Dooge).

Tabela 1: Tempo de concentração estimados para a bacia do rio benevente.

Método	Tempo de concentração (minutos)
Dooge	385
Johnstone	190
Bransby-Williams	337

As Figuras 5, 6 e 7, por sua vez, apresentam as vazões máximas estimadas pelo Método *Soil Conservation Service* para o exutório da sub-bacia estudada, resultantes de um evento de chuva com intensidade estimada pelos métodos de Chow-Gumbel, Bell e pelo *Software Pluvio*, associadas a diferentes períodos de retorno e aos tempos de concentração estimados pelas expressões propostas por Dooge, Johnstone e Bransby-Williams.

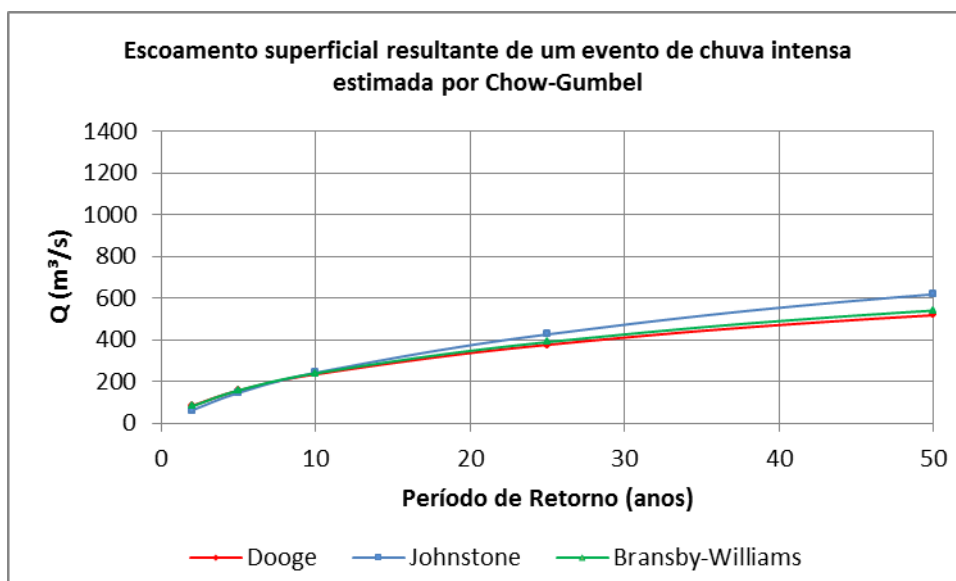


Figura 5: Escoamento superficial resultante de um evento de chuva intensa estimada por Chow-Gumbel para diferentes períodos de retorno e tempos de concentração.

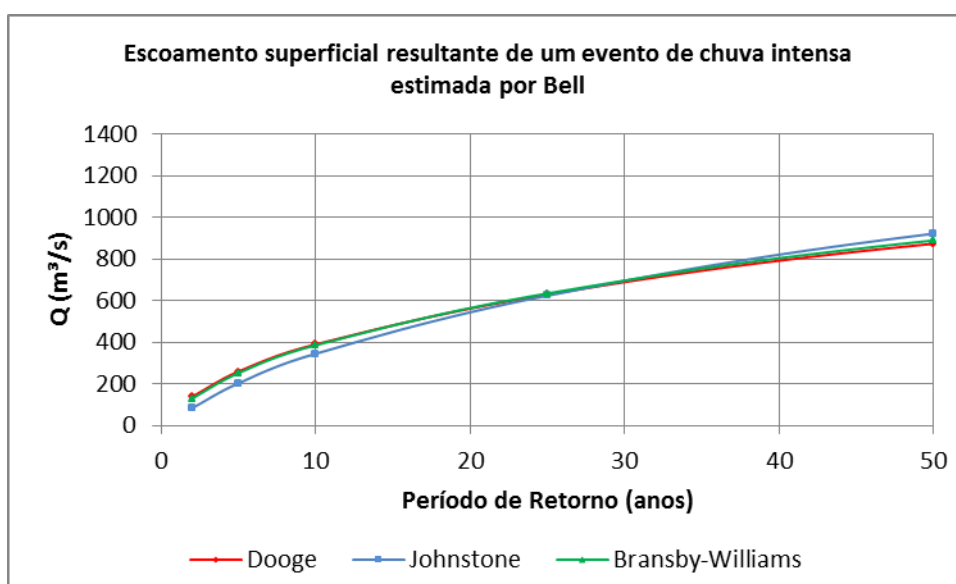


Figura 6: Escoamento superficial resultante de um evento de chuva intensa estimada por Bell para diferentes períodos de retorno e tempos de concentração.

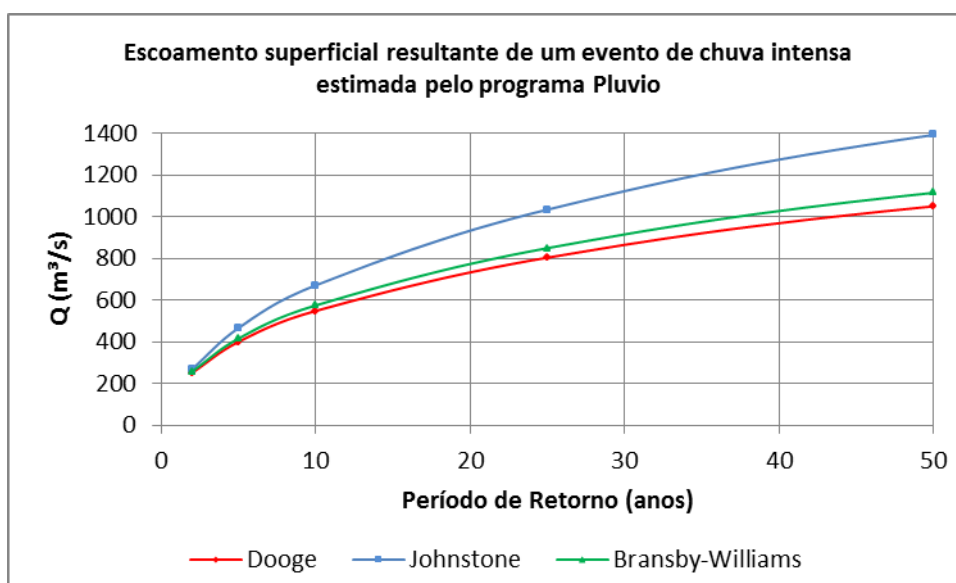


Figura 7: Escoamento superficial resultante de um evento de chuva intensa estimada pelo programa Pluvio para diferentes períodos de retorno e tempos de concentração.

A simples inspeção das figuras 05, 06 e 07 permite observar que as vazões de pico associadas às intensidades pluviométricas estimadas por meio do Software Plúvio foram substancialmente superiores que aquelas estimadas pelas demais alternativas de apropriação de chuvas intensas, quando da adoção de uma mesma formulação para apropriação do tempo de concentração. Adicionalmente, o menor tempo de concentração associados à expressão proposta por Johnstone produziu, usualmente, as maiores vazões de pico no exutório da sub-bacia estudada.

É relevante observar que a estimativa de vazões a partir de modelos chuva-vazão deve ser realizada de maneira cuidadosa para médias e grandes bacias, ainda que existam recorrentes aplicações dos referidos modelos para bacias de diferentes extensões territoriais. Nas estimativas de vazão a partir do Método *Soil Conservation Service*, o tempo de concentração e o parâmetro CN influenciam de maneira significativa nos valores de tempo e de vazão de pico, constituindo parâmetros muito sensíveis às estimativas de vazão.

Deve-se observar, adicionalmente, que as vazões estimadas pelo Método *Soil Conservation Service* não guardaram relação com vazões máximas estimadas para a estação de Matilde a partir da análise probabilística da série histórica de vazões e transpostas, por equivalência de área, para o exutório da sub-bacia estudada.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As intensidades pluviométricas estimadas pelos os métodos de Chow-Gumbel e de Bell são similares, principalmente para precipitações com durações superiores a sessenta minutos. As intensidades estimadas pelo Software Pluvio foram superiores às aquelas estimadas demais métodos considerados neste estudo.

A fórmula proposta por Johnstone produziu os menores tempos de concentração para a bacia estudada. Como o tempo de concentração figura invariavelmente como duração nas equações de chuvas intensas, a adoção da expressão de Johnstone estabeleceu, usualmente, as maiores vazões de pico no exutório da área de estudo.

Ainda que o Método *Soil Conservation Service* constitua alternativa útil e versátil para estimativa de vazões máximas, recomenda-se cuidadosa seleção dos valores referentes às variáveis que lhe dão forma. A combinação de valores para variáveis associadas ao uso e ocupação do solo, tempo de concentração e intensidade pluviométrica podem produzir valores que divergem entre si por ordem de grandeza e substancialmente maiores que os valores de vazões máxima estimadas a partir da análise probabilística de séries históricas de vazões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. São Paulo: Oficina de Textos. 2005.
2. CETESB. Drenagem Urbana – Manual de Projeto. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.
3. FERREIRA, C. C. M. Zoneamento Agroclimático para Implantação de Sistemas Agroflorestais com Eucaliptos, em Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1997.
4. IEMA. Instituto Estadual do Meio Ambiente do estado do Espírito Santo. As águas do Rio Benevente. Disponível em: <<http://www.iema.es.gov.br>>. Acesso em: 31 jul. 2008.
5. LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. A.; SILVA, S. F. D. S.; LUCIO, P. S. Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingú – Pará. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.3, 308-322, 2009.
6. RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 1983. 775p.
7. RIGHETTO, A. M. Hidrologia e Recursos Hídricos. São Calos: EESC/USP, 1998.
8. SANTOS, L. C. C. Estimativas de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos. Dissertação de Mestrado. Espírito Santo. 2010. Universidade Federal do Espírito Santo 2010.
9. SCHARFFENBERG, W. A.; FLEMING, M. J. Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User`s Manual. Hydrologic Engineering Center, HEC. Davis, CA. 2010.
10. SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS. Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical release 55, U.S. Department of agriculture, Washing DC. 1986.
11. TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas**. 1ª Ed. Vol. 11. Editora RHAMA. Porto Alegre: ABRH, 2007.
12. TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. Drenagem urbana. Editora da Universidade UFRGS. Porto Alegre: ABRH, 1995.
13. VIANNA, A. P. P. Utilização de modelagens Hidrológica e Hidráulica Associadas a um sistema de informações geográficas para mapeamento de áreas inundáveis – Estudo de caso: município de Itajubá, MG. Minas Gerais. 2000. Dissertação de Mestrado . Iniversidade Federal de Minas Gerais 2000.
14. VILLELA S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. 1ª ed. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.