

HIDROGRAMAS DE CHEIAS PARA A BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS COM BASE EM MODIFICAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Lucas Guimarães da Silva¹; Denise de Lima Belisário¹; LÍlian de Paula Santos¹;
*Marcelo dos Santos Targa²; Maria Dolores Alves Cocco²; Ana Aparecida da Silva Almeida²

¹Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais Universidade de Taubaté –
UNITAU, Taubaté, SP, Brasil

E-mail: eng.lucasguimaraes15@gmail.com

²Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais Universidade de Taubaté –
UNITAU, Taubaté, SP, Brasil

E-mail: [*targa.marcelo@gmail.com](mailto:targa.marcelo@gmail.com) ; maria.cocco@unitau.com.br ; anaaparecida.almeida@gmail.com

*Autor correspondente

RESUMO: O presente trabalho objetivou determinar hidrogramas de cheias para a bacia do Ribeirão das Antas no município de Taubaté, SP com base em modificações no uso e ocupação do solo. Com base no banco de dados ambientais da bacia do Rio Una foi possível obter os parâmetros iniciais que caracterizam a bacia e determinar os demais parâmetros: tempo de concentração (T_c), tempo de pico (T_p), tempo entre picos (t_p) e vazão de pico (Q_p) através da aplicação de equações do método do SCS. As condições de uso e ocupação do solo resultaram da precipitação efetiva (P_e) nos tempo de retorno de 10, 50 e 100 anos. Os resultados apontam que a vazão máxima estimada para o ano 2003 indicou os maiores valores em virtude do aumento do volume escoado na bacia. Conclui-se que a bacia do Ribeirão das Antas possui uma provável redução de áreas urbanizadas na projeção do ano 2029 em virtude do aumento da infiltração de água no solo.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, ciências ambientais, escoamento superficial. hidrogramas.

ABSTRACT: The present study aimed to determine hydrogramas flooding into the basin of the Ribeirão das Antas in the municipality of Taubaté, SP based on changes in the use and occupation of the soil. Using a database, it was possible to obtain the initial parameters that characterize the basin and determine the remaining parameters: time of concentration (T_c), time to peak (T_p), time between peaks (t_p) and peak flow (Q_p) through the application of equations of the SCS method. The conditions of use and occupation of the soil resulted from the effective precipitation (P_e) in the return time of 10, 50 and 100 years. The results indicate that the maximum flow rate estimated for the year 2003 showed the highest values by virtue of the increase in the volume disposed in the basin. It is concluded that the basin of the Ribeirão das Antas has a probable reduction of urbanized areas in the projection of the year 2029 due to the increase of water infiltration in the soil.

Key words: hydrographic basin. environmental sciences. runoff. hydrograms.

1 INTRODUÇÃO

A condição de uso e ocupação do solo é um fator decisivo na caracterização de eventos de escoamento superficial em uma bacia hidrográfica, sendo suficiente para modificar a estrutura do solo (MORUZZI; CUNHA; BRAGA, 2009).

A Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), que integra 39 municípios, situa-se entre as Regiões Metropolitanas dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, as quais possuem grande relevância na manutenção da atividade econômica em todo o território brasileiro e que executa através da produção industrial, atividades portuárias, petroleiras, turismo para o litoral e cidades históricas (EMPLASA, 2017).

A área da bacia do Ribeirão das Antas é composta de uma porção significativa de cobertura de pastagem, inclusive de áreas degradadas com riscos susceptíveis de movimentação de massa com capacidade de degradar a formação e estrutura do solo e promover impactos nos cursos d'água dessa bacia (OLIVEIRA; DIAS; BATISTA, 2006).

Os diferentes usos e manejos do solo em uma bacia hidrográfica estão condicionados à diferentes características que revelam o comportamento da água no solo, dessa maneira, é possível verificar a ocorrência de elevada taxa de infiltração de água no solo e baixa taxa de escoamento superficial em áreas de pastagem, enquanto que em áreas urbanas o solo exige maior resistência a penetração da água (KEMERICH et al., 2014).

O método Curva-Número (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS) tende a superestimar os valores obtidos para o escoamento superficial em grandes eventos, no entanto, quando aplicado em eventos menores, esse escoamento tende a fornecer valores subestimados, que apesar disso, apresenta baixo erro para o cálculo do CN em função da precipitação ao compará-los com valores monitorados (CUNHA et al., 2015).

O método CN não deve ser aplicado de forma generalizada devido à possibilidade de ocorrer variações significativas nos valores estimados de escoamento superficial de uma bacia, recomendando-se adquirir in loco os resultados de infiltração de água no solo (AGUIAR; TARGA; BATISTA, 2007). Mesmo assim, é um método bastante aplicado para estimar o escoamento superficial em bacias hidrográficas, podendo oferecer valores consistentes a partir da combinação com técnicas de geoprocessamento (TARGA et al., 2012).

Uma ferramenta bastante utilizada na relação chuva-vazão corresponde ao método do Hidrograma Unitário (HU), obtido a partir da transformação entre precipitação total e efetiva (CRUZ; RODRIGUES; VERSIANI, 2010). Essa metodologia é resultante do escoamento superficial e precipitação efetiva de 1 mm (MAIA; AMARAL; VERSIANI, 2006).

Assim, estudos que demonstrem a influência das modificações do uso e ocupação do solo no escoamento superficial podem contribuir para o entendimento do funcionamento da relação chuva-vazão em bacias hidrográficas.

O presente estudo objetivou construir hidrogramas de cheias para a bacia do Ribeirão das Antas no município de Taubaté, SP com base em modificações no uso e ocupação do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Esse trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas no município de Taubaté, pertencente à sub-região 2 da RMVPLN, no estado de São Paulo. A figura 1 apresenta a localização geográfica da área de estudo.

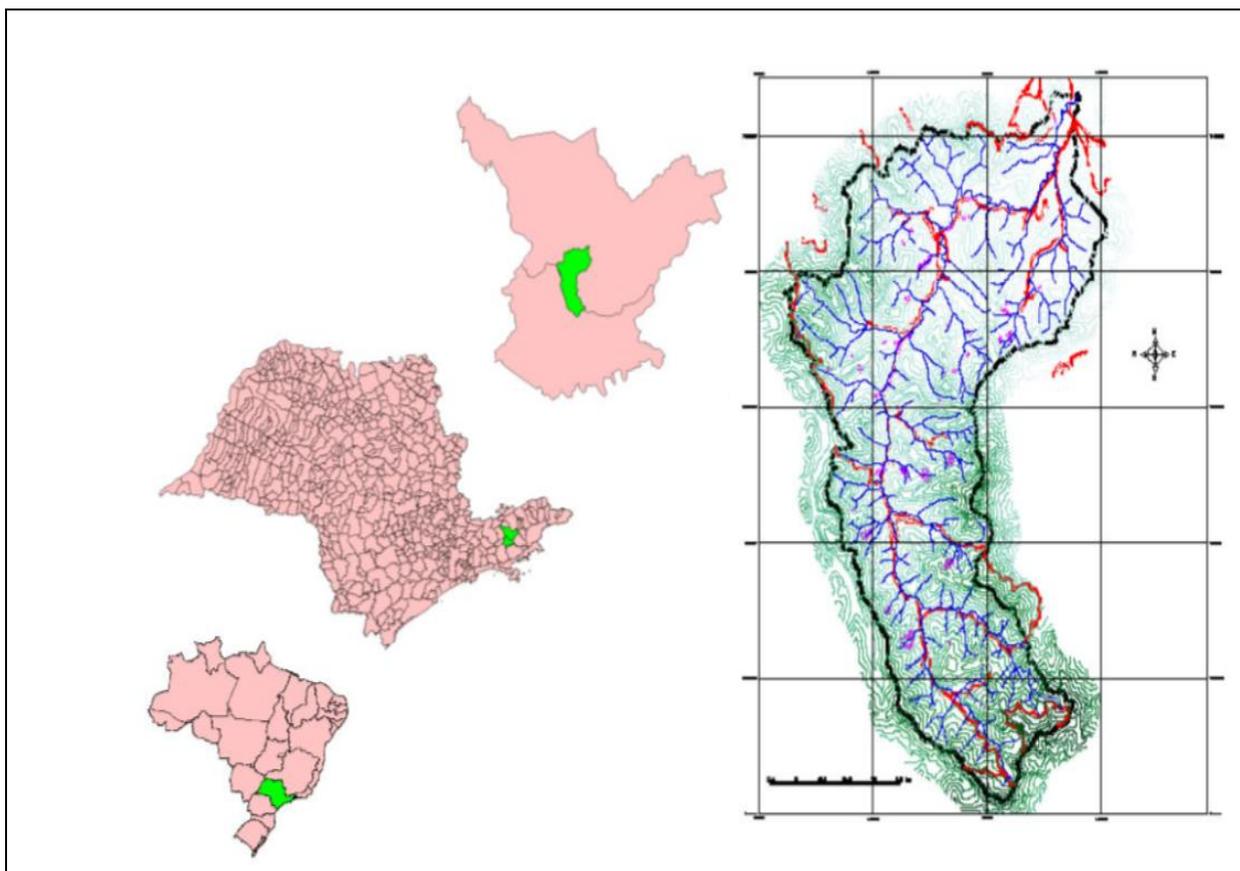


Figura 1: Mapa de Localização da bacia do Ribeirão das Antas
Fonte: UNAVALE, 2012

A bacia do Ribeirão das Antas é caracterizada por ser uma bacia de 29 km², 11 km de extensão e largura variando de 2 a 5 km, localizada nos municípios de Taubaté e Redenção da Serra (UNAVALE, 2012), está compreendida pelo quadrante de coordenadas geográficas 23°07'54''S e 45°33'39''W no canto superior esquerdo, enquanto que no canto inferior direito apresenta 23°13'52''S e 45°29'03''W (VILLARON; BASTISTA, 2011).

A topografia consiste em relevos movimentados com predominância de declividade de 20 a 40% (BATISTA ; BATISTA, 2009), com solos do tipo cambissolos, latossolos, neossolo flúvico e neossolo regolítico (UNAVALE, 2012), com clima do tipo Cwa na classificação climática de Koeppen, caracterizado como tropical de altitude com chuva no verão e seca no inverno e apresenta temperatura média anual do ar de 21,7 °C e precipitação anual de 1347,4 mm (CEPAGRI, 2017), cujo uso e ocupação do solo apresentam significativa área de pastagem (OLIVEIRA; DIAS; BATISTA, 2006).

2.2 Escoamento superficial

Foram utilizados dados de escoamento superficial obtidos por (Ribeiro et al., 2017) que estudou as diferentes condições de uso e ocupação do solo dessa bacia nos anos de 2003, 2016 e projeções para 2029 utilizando-se uma política de conservação.

Os dados de área, altitudes máxima e mínima e comprimento do curso d'água principal foram utilizados para cálculo do hidrograma curvilíneo unitário. A partir desses dados foram calculados os valores de: tempo de concentração (T_c), tempo de pico (T_p), tempo entre picos (t_p) e da vazão de pico (Q_p) através das fórmulas especificadas em Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3 e Eq. 4.

O tempo de concentração da bacia foi encontrado a partir da equação de Kirpich:

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad [\text{Eq.1}]$$

Em que:

T_c = tempo de concentração (min)

L = comprimento do curso d'água principal da bacia hidrográfica (km)

H = diferença de nível entre o ponto mais distante e o exutório considerado (m).

O tempo de pico da bacia foi calculado pela seguinte fórmula:

$$T_p = 0,5t_p + 0,6T_c \quad [\text{Eq.2}]$$

Em que:

T_p = tempo de pico (horas)

t_p = tempo entre picos (horas)

T_c = tempo de concentração (horas).

O tempo entre picos da bacia foi adotado 25 minutos, pois está entre 0,25 e 0,167 do T_c que nesse caso foi calculado pela equação 1 como 126 minutos.

Utiliza-se a equação 3 no cálculo da vazão de pico da bacia.

$$Q_p = \frac{0,208A}{T_p} \quad [\text{Eq.3}]$$

Em que:

Q_p = vazão de pico (m^3/s)

A = área da bacia (km^2)

T_p = tempo de pico (horas)

Em seguida, utilizou-se valores tabelados da relação q_t/q_p e t/T_p do SCS para obter o escoamento superficial da chuva de 1 mm em determinados intervalos de tempo, em horas. A relação entre as vazões encontradas e a precipitação efetiva nos anos adotados para condições de uso e ocupação do solo dessa bacia possibilitou a obtenção dos valores de chuva excedente nos períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos

Com isso, foi determinado o hidrograma de cheia do uso e ocupação do solo para a bacia do Ribeirão das Antas com base na vazão máxima em função da duração da chuva.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse trabalho apresenta valores concernentes à relação chuva-vazão expressa pelos hidrogramas de cheias e à duração das chuvas na bacia do Ribeirão das Antas, estimando o escoamento superficial do solo dessa bacia em função de parâmetros calculados para as chuvas efetivas.

Obteve-se o valor de 125,97 minutos para o tempo de concentração (T_c) da bacia ao aplicar a equação (1) de Kirpich. A entrada desse dado propiciou a obtenção dos demais parâmetros de precipitação máxima necessários a obtenção dos dados de precipitação efetiva e à construção do hidrograma de cheia, tais como: tempo de pico (T_p) de 138,5 minutos, tempo entre picos (t_p) de 25 minutos e vazão de pico (Q_p) de 2,65 m^3/s .

Foi utilizado o método do HU adimensional do SCS para a caracterização do escoamento superficial em função do tempo através da aplicação de valores empíricos tabelados da relação q_t/q_p e t/T_p , conforme mostra a Figura 2.

Na Figura 2, verifica-se que a utilização do HU adimensional ocorre de forma genérica através do desenvolvimento curvilíneo da vazão máxima, levando em consideração que a distribuição dos valores de vazão máxima e unidade de tempo para uma bacia qualquer é uniforme.

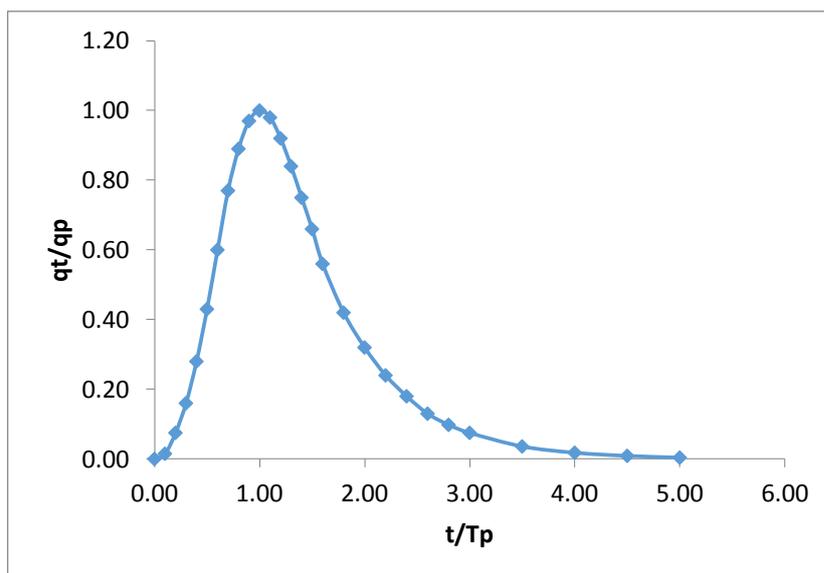


Figura 2: Hidrograma unitário adimensional do SCS

É constatado a efetividade das equações aplicadas na determinação dos parâmetros calculados para a bacia do Ribeirão das Antas através do desenvolvimento da curva do hidrograma para precipitação efetiva de 1 mm da bacia, de acordo com a Figura 3.

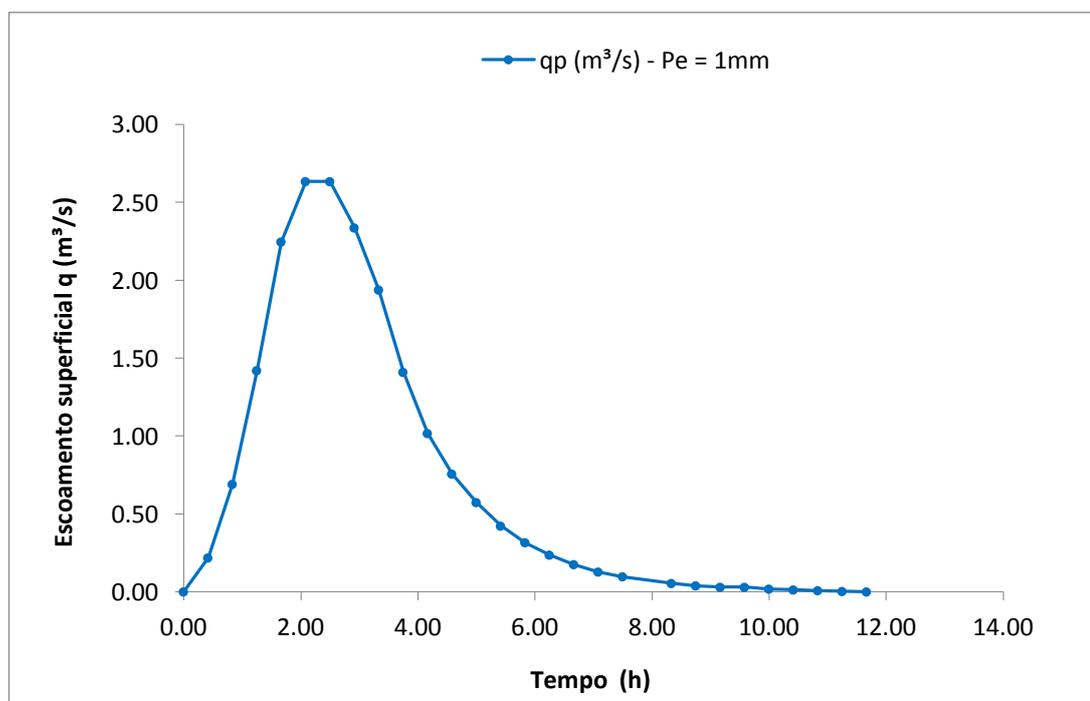


Figura 3: Hidrograma unitário correspondente a uma Precipitação efetiva de 1 mm uniformemente distribuído sobre a bacia do Rio das Antas.

Na Figura 4 é demonstrado o comportamento da bacia quanto ao escoamento superficial de água no solo através de uma precipitação efetiva distribuída uniformemente. As características analisadas podem influenciar nas condições de escoamento e duração da chuva.

O escoamento superficial foi obtido a partir da precipitação efetiva para as três condições apresentadas nos anos de 2003, 2016 e 2029 com tempo de retorno (T_r) de 10, 50 e

100 anos. Em função da adoção de uma política de conservação, os valores obtidos para o ano 2029 apresentaram as menores taxas de vazão máxima em virtude de apresentar as menores taxas de precipitação efetiva em relação aos demais anos analisados. Dessa maneira, ocorreu uma redução do escoamento superficial conforme pode ser observado na Figura 4.

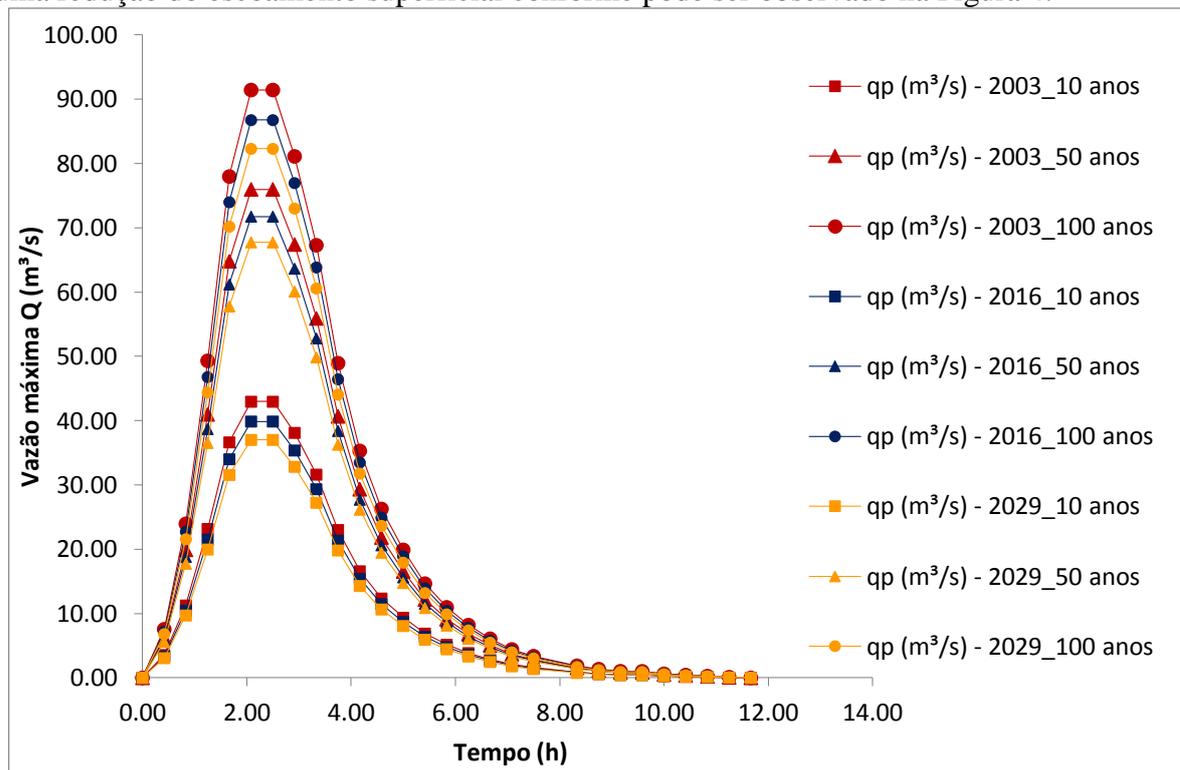


Figura 4: Hidrogramas de vazão máxima da bacia para Tempo de retorno de 10, 50 e 100 anos

Entretanto, a vazão máxima estimada para o ano 2003 indicou os maiores valores em virtude do aumento do volume escoado na bacia. Contudo, as condições de uso e ocupação do solo são representadas por valores de vazão máxima, que fornecem subsídios para a elaboração de projetos de drenagem da bacia do Ribeirão das Antas.

4 CONCLUSÕES

Este estudo possibilitou uma análise da influência das modificações no uso e ocupação do solo no escoamento superficial da bacia do Ribeirão das Antas através da construção de hidrogramas unitários de cheia, contribuindo com a disponibilidade de dados e resultados no entendimento da relação chuva-vazão em bacias hidrográficas.

De um modo geral, a determinação das vazões pelo método do SCS mostrou-se eficiente para a bacia do Ribeirão das Antas, sabendo-se que os dados obtidos para construção dos hidrogramas unitários retrataram o comportamento da chuva em condições simuladas de uso e ocupação do solo. Assim, foi possível verificar a resposta da bacia à precipitação efetiva em função da duração da chuva.

A bacia do Ribeirão das Antas apresentou melhores resultados ao escoamento para a projeção do ano 2029, adotando-se um critério conservacionista para o uso e ocupação da bacia. Ocorreu uma redução do volume escoado e aumento da infiltração de água no solo, com provável redução de áreas urbanizadas.

Os estudos hidrológicos são mecanismos adequados à análise de condições hidrológicas relacionadas ao escoamento superficial de bacias hidrográficas, capazes de gerar alternativas de dimensionamento de projetos de drenagem ou manejo das áreas que compõem a bacia hidrográfica.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. S. G; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 44-56, 2007. Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/37/250>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

BATISTA, A. F.; BATISTA, G. T. Caracterização fisiográfica e avaliação do uso e ocupação das APPs da microbacia do ribeirão das Antas. In.: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 2009, Taubaté. **Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade**, Taubaté, Brasil, 09-11 de dezembro de 2009, IPHABI, p.81-88. Disponível em: <<http://www.ipabhi.org/serhidro/anais/anais2009/doc/pdfs/p84.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA (CEPAGRI). **Clima dos municípios paulistas**. UNICAMP, 2017. Disponível em: < http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_607.html>. Acesso em: 10 dez. 2017.

CRUZ, M. F. M.; RODRIGUES, L. D.; VERSIANI, B. R. Previsão de vazões com a metodologia DPFT e com as redes neurais artificiais. **RBRH**, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 121-132, jan./mar., 2010. Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/8/cbf99b6b9efe23ccdbc3dad03f63f037_956aa085027c3bbdfbf01801f902c5e0.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2017.

CUNHA, S. F. et al. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 837-848, out./dez., 2015. Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/156/3b19fed36cf52712e217179a3483b424_fdc662cf56145d1962c8b009e5280268.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2017.

EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A. **Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMVPLN>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

KEMERICH, P. D. C. et al. Infiltração e escoamento superficial sob diferentes usos e ocupação em uma bacia hidrográfica. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio Claro, v. 37, n. 2, p. 75-88, 2014. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2014_2/2014_2_75_88.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2017.

MAIA, A. L.; AMARAL, I. R.; VERSIANI, B. R. Metodologia DPFT de identificação do hidrograma unitário e das precipitações efetivas: estudo de caso para a bacia hidrográfica de Juatuba-MG. **RBRH**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 79-90, jan./mar., 2006. Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/25/e2816bc880f3707b6efc440831634db5_931ce2d4ba7bb57d54371bf9db144a66.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

MORUZZI, R. B.; CUNHA, C. M. L.; BRAGA, R. A questão do escoamento superficial em áreas degradadas por processos erosivos lineares: a importância de uma estratégia de análise. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 073-088, mai./ago., 2009. Disponível em:

<http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/a_questao_do_escoamento.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017.

OLIVEIRA, E. S.; DIAS, N. W.; BATISTA, G. T. Análise físico-ambiental da bacia do rio Una: suporte à análise físico-química da água. In.: PRIMEIRO SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO PARA ESTUDOS AMBIENTAIS NO VALE DO PARAÍBA, 2006, Taubaté. **Anais GEOVAP 2006**: Primeiro Seminário de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Vale do Paraíba, Taubaté, Brasil, 7 de dezembro de 2006, UNITAU, p.105-114. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br/geovap2006/pdfs/analise_eltalane.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.

RIBEIRO, P. C.; RUDNEN 1; ANA CECILIA1; LETICIA1; MARCELO DOS SANTOS TARGA ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS ANTAS NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ, S

TARGA, M. S. et al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. Disponível em: < http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/905/pdf_670>. Acesso em: 21 nov. 2017.

UNAVALE. Levantamento edafológico (semidetalhado) da sub-bacia do ribeirão das antas. **Relatório técnico**. Taubaté, SP: E-Consulting – Consultoria Ambiental & Tecnologia da Informação Ltda out. 2012. 43 p. Disponível em: <<http://www.unavale.org/antas/PDF/Finais/Levantamento%20Edafologico%20da%20Sub-bacia%20do%20Ribeir%C3%A3o%20das%20Antas.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

VILLARON, M. A.; BATISTA, G. T. Utilização de geoprocessamento para a implantação de uma barragem na micro-bacia do rio das Antas, 2011, Taubaté-SP. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1327-1332. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0849.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.