

HIDROGRAMAS PARA A BACIA DO RIO ROCINHA NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ, SP

Lílian de Paula Santos¹; Lucas Guimarães da Silva¹; Denise Lima Belissario¹;
*Marcelo dos Santos Targa²; Maria Dolores Alves Cocco²; Ana Aparecida da Silva Almeida²

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

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

e-mail: ¹targa.marcelo@gmail.com; ²liliandepaulasantos@gmail.com;
eng.lucasguimaraes15@gmail.com; denise.belisario@gmail.com ; maria.cocco@unitau.com.br;
anaaparecida.almeida@gmail.com

* autor correspondente

RESUMO

O presente trabalho objetivou determinar os Hidrogramas de Precipitações Efetivas Máximas, a partir do método do Hidrograma Unitário (HU) para a bacia do Rio da Rocinha no município de Taubaté, SP, afluente do Rio Una. Utilizando-se de cenas de satélites Landsat 5 e 8, o local estudado foi classificado com o software Spring 5.4. Com base nas ferramentas obtiveram-se as expectativas de escoamento superficial e a capacidade de infiltração, calculados pelo método Curva Número (CN). Os cálculos de Precipitação Efetivas (Pe) foram feitos com base nos índices de chuvas máximas sobre a bacia simuladas para 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos, num cenário de variação das ações antrópicas (urbanização, mineração, reflorestamento e diminuição de atividade agropecuária) entre os anos de 2003 e 2016 e de projeção de tais ações para o ano de 2030. Os cálculos do CN apresentaram uma tendência de decréscimo de atividades antrópicas em desenvolvimento, o que refletiu nos resultados do potencial de infiltração do solo estudado, tornando-os inversos ao CN nos anos de 2003 e 2016. Entre 2003 e 2016, houve incremento de 9% na infiltrabilidade na Bacia Hidrográfica da Rocinha, resultado de recuperação natural da vegetação nativa, por conta da diminuição de áreas de pasto utilizadas para a prática da pecuária e ao aumento das atividades ligadas ao reflorestamento. Entre 2016 a 2030 estima-se que a infiltrabilidade terá tendência de aumento, porém em menor escala, 3,5%, devido à maior aplicação de terras para reflorestamento com a respectiva extração sistemática decorrente do desenvolvimento desse tipo de uso de solo. Conclui-se, ainda, a resiliência da bacia hidrográfica juntamente com o desenvolvimento de políticas sustentáveis.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, ações antrópicas, ciências ambientais, escoamento, resiliência.

HYDROGRAMS FOR THE ROCINHA RIVER BASIN IN THE MUNICIPALITY OF TAUBATÉ, SP

Abstract

The objective of this work was to determine the Maximum Effective Precipitation Hydrographs from the Hydrographic Unit (HU) method for the Rio Rocinha basin in the municipality of Taubaté, SP, affluent of the Una River. Using Landsat 5 and 8 satellites, the study site was classified with Spring software 5.4. Based on the tools, the expected runoff and the infiltration capacity, calculated by the Curve Number (CN) method, were obtained. The calculations of Effective Precipitation (Pe) were made based on the

maximum rainfall indexes simulated for 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 and 200 years, in a scenario of variation of anthropic actions (urbanization, mining, reforestation and reduction of agricultural activity) between the years 2003 and 2016 and projection of such actions for the year 2030. The CN calculations showed a tendency of decreasing anthropic activities in development, which reflected in the results of the potential of infiltration of the studied soil, making them inverse to the CN in the years of 2003 and 2016. Between 2003 and 2016, there was a 9% increase in infiltrability in the Hydrographic Basin of Rocinha, result of natural recovery of the native vegetation, due to the decrease of pasture areas used for the practice of livestock and the increase of activities related to reforestation. Between 2016 and 2030, it is estimated that the infiltrability will tend to increase, but to a lesser extent, 3.5%, due to the greater application of land for reforestation with the respective systematic extraction resulting from the development of this type of soil use. It also concludes the resilience of the river basin together with the development of sustainable policies.

Key words: hydrographic basin, anthropogenic actions, environmental sciences, outflow, resilience.

1. INTRODUÇÃO

A água presente em todas as atividades humanas, é fundamental na composição da paisagem e do meio ambiente. “Apesar de sua importância nas atividades exercidas cotidianamente, a sociedade moderna tem levado essas condições de escassez e considerável degradação em muitos lugares do planeta” (MENDONÇA e MARQUES, 2011).

Enquanto as modificações provocadas por todos os outros seres são quase assimiláveis (ALBUQUERQUE, 2007), as perdas ambientais devido a ação antrópica são percebidas na quantidade e qualidade dos recursos hídricos destinados à população e à biota.

O escoamento superficial em uma bacia hidrográfica pode ser caracterizado a partir do momento em que a chuva supere a retenção da superfície do solo (TARGA, 2011), e, quando excessivo, promove degradação ambiental, por vezes relacionada ao crescimento populacional e das áreas urbanizadas na bacia hidrográfica. Neste sentido assume importância na bacia o tempo de deslocamento da chuva.

O tempo de deslocamento da água da chuva que cai na região mais remota de uma bacia hidrográfica até o exutório é chamado de Tempo de concentração da bacia (T_c). O uso e ocupação inadequados do solo, caracterizados pelo desmatamento, pela retirada da vegetação superficial e posterior conversão em outro tipo de cobertura e pela urbanização desencadeiam uma série de alterações significativas que, por sua vez, influem na quantidade de água infiltrada, escoada e evaporada, com isso são perceptíveis modificações no tempo de viagem da água e no comportamento hidrológico de uma bacia (ALMEIDA et. al., 2009); (TARGA, 2012).

Quando em desequilíbrio em sua fase terrestre por conta do crescimento da urbanização, o ciclo hidrológico gera o aumento da impermeabilização, provoca a diminuição em áreas de descarga e o aumento do escoamento superficial, consequentemente o crescimento do valor do coeficiente de escoamento (TARGA, 2012).

Pelo agravante no panorama atual nas questões relativas aos recursos hídricos, seu uso e qualidade, compreende-se que se faz necessário pensar em uma forma de gestão que equacione e/ou resolva os questionamentos em relação à escassez, e, consequentemente, apresente meios de utilização adequada para fins de

desenvolvimento sustentável das atividades que garantem a sobrevivência de todas as formas de vida na sociedade.

Dados de imagens de média resolução de satélites como o Landsat Thematic Mapper, tornam possível mensurar o potencial das técnicas de processamento digital de imagens para mapear, monitorar e planejar o uso adequado do solo (TARGA et al., 2015 *apud* LAZZAROTTO, (2000)). O uso da tecnologia aplicada às áreas de bacias hidrográficas possibilita estabelecer a caracterização de uso e ocupação e de sua geomorfologia, “possibilitando assim estudos das condições de escoamento de água na bacia de modo a se ter um padrão, na forma de Hidrograma Unitário geomorfológico” (TARGA, 2011).

O Hidrograma pode ser entendido como a resposta da bacia hidrográfica, em função de suas características fisiográficas que determinam as relações entre chuva e escoamento, ou seja, é o mecanismo que transforma chuva em vazão.

A teoria de HU definida por Lencastre (2006) admite que a bacia hidrográfica comporta-se como um sistema linear e invariante. Para Sherman (1932) são consideradas as seguintes características: linearidade, superposição e invariância no tempo.

a) Chuvas de mesma duração, os escoamentos superficiais correspondentes são iguais;

b) Duas chuvas de mesmo período, entretanto, com volumes diferentes, deverão resultar em hidrogramas, cujas ordenadas são proporcionais aos correspondentes volumes escoados;

c) Considera-se, ainda, que as precipitações anteriores não deverão influenciar a distribuição do escoamento superficial de uma determinada chuva no tempo.

Portanto, segundo figura 1, o HU é dado segundo resultado de um escoamento superficial de uma precipitação efetiva de 1 (um) milímetro ou à unidade (um) 1 centímetro distribuída na área de drenagem e com intensidade uniformemente distribuída no tempo durante a duração da chuva (TARGA, 2011).

Em uma segunda etapa, as informações podem ser empregadas na construção de um hidrograma de projeto para definição de capacidades de obras tais como: galerias de águas pluviais, bueiros rodo-ferroviários, vertedores de barragens e estruturas de proteção contra enchentes.

O objetivo deste trabalho foi definir o Hidrograma Unitário (HU) para a precipitação efetiva de 1 mm sobre a bacia hidrográfica do rio da Rocinha afluente do Rio Una, no município de Taubaté, em função de alterações nos processos de urbanização, mineração, reflorestamento e decréscimo da atividade agropecuária entre os anos de 2003 e 2016 e projeção para 2030. E a construção dos hidrogramas de precipitações efetivas provenientes de chuvas máximas. Para o cálculo da Precipitação efetiva (a chuva resultante do escoamento), os valores de precipitação máxima na área de estudo foram obtidos da região de Taubaté-SP para o período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos (MARTINEZ JUNIOR & MAGNI, 1999). Para a maior clareza dos dados, foram considerados no Hidrograma de projeto os seguintes cenários de Tempo de retorno: 10, 50 e 100 anos.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Caracterização da área de estudo

A bacia do rio Una, localiza-se na margem direita do rio Paraíba do Sul, na Região Metropolitana do Vale e Litoral Norte (RMVPLN), com área de 476 km²

abrange parte de três municípios: Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba, ocupando uma área de, sendo que cerca de 86% do município de Taubaté está dentro da bacia.

A bacia hidrográfica da Rocinha com 67,5 km², é uma sub-bacia do Rio Una, e seus limites estão inseridos totalmente no município de Taubaté, SP.

Foram utilizadas duas cenas de satélite, sendo classificadas com o *software* Spring 5.4, por meio do qual se fez a classificação supervisionada em Maxver e com limiar de aceitação de 100% com as seguintes cenas (POHL. et.al. 2017):

- i) Satélite Landsat 5 de 2003: classificação comparada aos resultados obtidos por Batista et. al; (2005);
- ii) Satélite Landsat 8 de 2016, para uma classificação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo no ano de 2016.
- iii) Foram utilizados para 2030, na projeção de variações no uso e ocupação dos solos da bacia, dados de projeções de crescimento do IBGE e de segmentos econômicos.

2.2. Tipo de solo e cobertura da Bacia Hidrográfica do Una- rio da Rocinha

Para a definição do tipo de solo, recorreu-se à sistematização de dados de Setzer e Porto (1979), para o método Curva Número (CN). Os grupos para as condições do Brasil em quatro tipos hidrológicos distintos de solos foram divididos em:

- i) Grupo A: solos com baixo escoamento superficial e alto potencial de infiltração, em geral, arenosos e com baixo teor de argila, inferior a 8%;
- ii) Grupo B: solos menos permeáveis, arenosos e com profundidade menor que a encontrada no grupo A, apresentam permeabilidade superior à média, com teor de argila inferior a 15%;
- iii) Grupo C: solos com escoamento superficial acima da média, baixo potencial de infiltração, caracterizados por 20 a 30% de argila;
- iv) Grupo D: solos com argilas expansivas, poucos profundos e com alto teor de argila (entre 30 a 40%), com alto potencial de escoamento.

Os tipos de solos presentes na área total da bacia do rio Una são: Latossolo Vermelho Amarelo Álico, com 21738,0ha. (63 %), Podzólico Vermelho Amarelo Álico com 11064,4ha. (32%), Solos Litólicos com 969.5ha. (3%), Latossolo Amarelo Álico com 657.5ha. (2%) e Solos Aluviais com 75.45ha. (0,2%) (BATISTA, et. al. 2005).

Quanto à cobertura de solo, a área é formada por Pasto; Mata Capoeira; Reflorestamento; Pasto Sujo; Pasto Degradado; Áreas Cultivadas; Solo Exposto; Reflorestamento Cortado; Corpos D'água; Atividades Mineraias; Área Urbanizada: 31,34ha; Área Degradada (BATISTA, et. al. 2005).

Na sub-bacia do Rio da Rocinha, foram observados os seguintes tipos de cobertura (Tabela 1).

Tabela 1: Projeção de Ocupação do solo em 2016 – Bacia do Rio Rocinha

Tipo de Cobertura	Proj 2030 (ha)	% Área	Var 30/16	Var 30/03
Mata Capoeira	1792,23	26,54%	8,24%	50,37%
Agricultura	44,12	0,65%	-18,76%	-34,00%
Pasto	2786,59	41,27%	-18,92%	-34,13%
Reflorestamento	1369,59	20,28%	53,06%	203,46%
Solo Exposto	46,84	0,69%	-18,92%	-13,21%
Área Degradada	9,25	0,14%	-18,92%	-13,21%
Área Urbanizada	21,32	0,32%	30,50%	39,69%
Pasto Sujo	326,28	4,83%	-18,92%	-34,13%
Pasto Degradado	90,37	1,34%	-18,92%	-34,13%
Corpos d' água	25,65	0,38%	0,00%	0,00%
Reflorestamento Cortado	195,66	2,90%	244,30%	268,54%
Área Minerada	44,65	0,66%	53,06%	111,99%
Total	6752,54	100,00%		

Fonte: POHL, E. et al.; (2017)

2.3 Infiltração

O presente estudo considera a taxa de infiltração da água no solo como ferramenta preponderante na construção de índices de infiltração e escoamento. A taxa é alta no início do processo, especialmente quando o solo está inicialmente muito seco, entretanto tende a decrescer com o tempo, aproximando-se de um valor constante, caracterizado por taxa de infiltração estável ou velocidade de infiltração básica da água no solo – VIB (CARVALHO e SILVA, 2006).

Dentre os fatores que intervêm na capacidade de infiltração estão: a condição da superfície; o tipo de solo; a condição do solo; a umidade inicial do solo, entre outros.

A velocidade de infiltração básica (VIB) em solos com diferentes tipos de cultura (ocupação) pode ser estabelecida com a metodologia de duplo anel (Embrapa, 1979). Os equipamentos para esse método são dois anéis de aço galvanizado, com diâmetros diferentes, ambos com 20 cm de altura e dois mm de espessura. Instalados de forma concêntrica, na vertical, são fixados cinco cm no solo, com o auxílio de uma marreta. Com essa metodologia, verificaram-se (Tabela 2) os seguintes valores:

Tabela 2: Classificação de VIB em tipos diferentes culturas em solo

Tipo de ocupação de solo	VIB (velocidade de infiltração básica)
Área de eucalipto	60 mm/h
Pasto	22 mm/h
Agricultura	15 mm/h
Café	1,5 mm/h
Floresta	250 mm/h
Pupunha	500 mm/h

Fonte: Sales e Targa, 2017.

Os valores de VIB são importantes mecanismos no dimensionamento de projetos agrícolas de irrigação, drenagem e conservação do solo e da água (PRUSKI, 1993; ALVES SOBRINHO *apud* C. A. POTT; I.C. de MARIA. R, 2003).

Um solo mais úmido terá, inicialmente, uma menor taxa de infiltração devido ao baixo gradiente hidráulico (menor diferença no potencial matricial da água no solo), em consequência, mais rapidamente, a taxa de infiltração se tornará constante (CARVALHO, D.F; SILVA, L.D.B da, 2006).

A impermeabilização do solo, resultado da falta de planejamento dos grandes centros urbanos e pelo desmatamento, gera o aumento de escoamento superficial. A bacia do Rio Una, na qual se encontra a sub-bacia da Rocinha passa também por processos erosivos e inundações de grandes rodovias.

O presente trabalho avaliou, a partir de dados de variação das ações antrópicas (urbanização, mineração, reflorestamento e diminuição de atividade agropecuária) entre os anos de 2003 e 2016 e de uma projeção para o ano de 2030, o cenário da sub-bacia do rio da Rocinha e, com a obtenção de índices de escoamento superficial e infiltração potencial estabeleceu um hidrograma.

As expectativas de escoamento superficial e capacidade de infiltração foram calculadas pelo método Curva Número (CN), aplicável para bacias maiores do que a fórmula racional, em geral acima de 50 ha (0,5 km²) (TARGA, 2011). O respectivo método considera um conjunto de precipitações, as condições do solo, o escoamento, topografia, declividade da área, tipo de solo e drenagem (POHL, E. et.al.; 2017). O método CN (NRCS, 2010) tem como base as seguintes equações:

$$Pe = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [\text{Eq. 2}]$$

Em que:

Pe: o escoamento superficial (mm);

P: a Precipitação máxima em dado período de retorno (mm);

S: a Infiltração potencial (mm)

CN: o Número da curva, adimensional.

Há de se destacar que a variação do escoamento na bacia ocorre também em razão da escolha do valor do CN. Tal método varia conforme o uso do solo (TARGA, 2012) conforme equação 3:

$$CN_{\text{pond}} = \frac{\sum (CN_c (A_c))}{Area_t} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

CN_{pond}: o Valor do Número da Curva ponderado, adimensional.

CN_c: Valor do número da curva de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional.

A_c: a Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em ha.

A_t: a Área total da bacia, em ha.

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica (T_c), por sua vez, pode ser definido como o tempo necessário para a água se deslocar do ponto mais distante até o exutório de sua bacia hidrográfica. O T_c é estimado por meio da velocidade média de deslocamento superficial da água, tal índice está relacionado com a distância e o desnível existentes entre o ponto mais distante até o exutório da bacia hidrográfica (TUCCI, 2000), o que pode ser gerado com a aplicação da equação 4 de Kirpich. Na sub-bacia da Rocinha o T_c é estimado em 100,19h.

$$T_c = \frac{L^{1,15}}{3080H^{0,38}} \quad [\text{Eq. 4}]$$

Em que:

T_c = tempo de concentração (horas)

L = Distância máxima de viagem na bacia (m) (distância do rio da nascente a foz (que significa comprimento do cursop

H = diferença em elevação entre os extremos da distância máxima (m)

Para o cálculo da Precipitação efetiva, isto é, aquela que vai gerar o escoamento, os valores de precipitação máxima na área de estudo foram obtidos na região de Taubaté-SP para o período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos (MARTINEZ JUNIOR & MAGNI, 1999).

Os hidrogramas para cada pulso de escoamento gerado em cada intervalo de tempo unitário também foram calculados. A taxa de descarga (qt) é obtida pela metodologia: $qt = qt/qp) \cdot qp$ (TARGA, 2011). Nesse procedimento cada hidrograma é colocado na escala de tempo, em que a descarga de pico (qp) ocorre T_p horas depois do começo da chuva (começo do intervalo de tempo, por exemplo, para o intervalo de tempo de $t = 1.5$ para $T = 2.0$ a descarga pico ocorre em $t = 1.5$ (começo do intervalo de tempo) + 2.0 (tempo para a ocorrência do pico equivalente a este intervalo) = 3.5 horas. A descarga de pico da hidrógrafa da chuva máxima da área (q) é considerada o coeficiente de drenagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo a área considerada situa-se em sua totalidade no município de Taubaté-SP, sendo o Rio da Rocinha uma sub-bacia do UNA. É cortada pela rodovia SP-125 Oswaldo Cruz e pela rodovia SP-121 Major Gabriel Ortiz Monteiro. A área total da bacia é de 67,5km² e o curso do rio da Rocinha é de 12,83km.

A bacia da Rocinha no ano de 2016 obteve como resultado os dados que apresentam a variação percentual da ocupação observada no período de 2003 até 2016. A projeção da ocupação de solo para o ano de 2030 nesta mesma bacia hidrográfica foi realizada com base em diversos indicadores socioeconômicos, relacionados a cada tipo de uso de solo em questão. Os tipos de desenvolvimento econômico atual neste período, e futuro em médio prazo são reflorestamento e mineração.

Uma projeção de ocupação de solo em 2030 na bacia da Rocinha, assim como as variações projetadas entre 2030 e os anos de 2003 e 2016 das respectivas áreas foram apresentadas na (Tabela 1).

Como consequência do processo de reflorestamento de eucaliptos para extração de celulose, projetou-se que em 2030 a área de eucalipto cortado deve estar estabilizada em um sétimo da área coberta por esse tipo de ocupação, o que indica crescimento de 244,30% desse tipo de cultura.

Índice em decréscimo, a área de uso agrícola foi caracterizado por pequenos cultivos de agricultura familiar. Esse tipo de ocupação, segundo projeção, terá decréscimo de 18,76%, a mesma taxa observada no período 2003-2016 e as áreas de curso d'água foram mantidas sem alteração da projeção.

Para as demais áreas (pasto, pasto sujo, pasto degradado, solo exposto e área degradada) considerou-se a diferença do espaço total e o que estará sendo ocupado pelas culturas (ocupação e uso do solo) em crescimento, para este tipo de ocupação, estima-se um decréscimo de 18,92%.

Por fim, há de se ressaltar que a legislação ambiental exige o reflorestamento de mananciais e nascentes, o que irá refletir no crescimento da Mata Capoeira.

A Tabela 3 apresenta as classes de uso do solo em função dos valores de CN ponderado nos anos de 2003, 2016 e 2030, nota-se, com isso, redução crescente do CN em função do aumento do reflorestamento e da recuperação de matas na região ao longo dos anos.

Tabela 3. CN Ponderado 2003, 2016 e 2030 para a micro bacia do Rocinha

Tipo de Cobertura	CN	2003			2016			2030		
		Área	% Área	CN Pond	Área	% Área	CN Pond	Área	% Área	CN Pond
Mata Capoeira	55	1191,91	17,65%	9,71	1655,76	24,52%	13,49	1792,23	26,54%	14,60
Agricultura	81	66,85	0,99%	0,80	54,31	0,80%	0,65	44,12	0,65%	0,53
Pasto	72	4230,26	62,65%	45,11	3436,67	50,89%	36,64	2786,59	41,27%	29,71
Reflorestamento	62	451,32	6,68%	4,14	894,79	13,25%	8,22	1369,59	20,28%	12,58
Solo Exposto	88	53,97	0,80%	0,70	57,77	0,86%	0,75	46,84	0,69%	0,61
Área Degradada	88	10,66	0,16%	0,14	11,41	0,17%	0,15	9,25	0,14%	0,12
Área Urbanizada	90	15,26	0,23%	0,20	16,33	0,24%	0,22	21,32	0,32%	0,28
Pasto Sujo	75	495,32	7,34%	5,50	402,40	5,96%	4,47	326,28	4,83%	3,62
Pasto Degradado	78	137,19	2,03%	1,58	111,45	1,65%	1,29	90,37	1,34%	1,04
Corpos d'água	98	25,65	0,38%	0,37	25,65	0,38%	0,37	25,65	0,38%	0,37
Reflorestamento Cortado	88	53,09	0,79%	0,69	56,83	0,84%	0,74	195,66	2,90%	2,55
Área Minerada	90	21,06	0,31%	0,28	29,17	0,43%	0,39	44,65	0,66%	0,60
CN Ponderado Total				69,24			67,38			66,61

Com os dados de chuva máxima de Martinez Junior e Magni (1999) e por meio das Equações 1, 2, 3 e 4 estimaram-se as precipitações efetivas máximas na bacia (Tabela 4).

Tabela 4. Precipitação Efetiva da bacia do rio da Rocinha em função do tempo de concentração em minutos e do período de retorno em anos

Duração (minutos)	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
60	41,0	53,2	61,3	65,8	69,0	71,5	79,1	86,6	94,1
120	50,1	64,8	74,5	80,0	83,8	86,8	95,9	104,9	113,9
97,5	46,7	60,4	69,5	74,7	78,2	81,1	89,6	98,0	106,5

Por meio do Hidrograma Unitário adimensional de 1 mm de escoamento superficial da bacia do rio da Rocinha, pode-se estimar os hidrogramas dimensionais (m³/s) provenientes de pulsos maiores de escoamento superficial.

Dessa forma, a partir do Escoamento Superficial (Tabela 5) foi possível a obtenção do hidrograma de cada pulso de escoamento superficial a partir do Hidrograma Unitário adimensional (Figura 1).

Tabela 5. Escoamento superficial em milímetros para a micro bacia do Rocinha para os anos de 2003, 2016 e 2030 em função do período de retorno

Escoamento Superficial (mm)	Período de Retorno (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
2003	4,25	9,52	13,81	16,46	18,39	19,96	24,97	30,24	35,78
2016	3,36	8,09	12,03	14,49	16,29	17,76	22,47	27,45	32,72
2030	3,03	7,54	11,34	13,72	15,47	16,90	21,49	26,35	31,51

Os hidrogramas foram calculados para cada pulso de escoamento produzido em cada intervalo de tempo unitário pela relação $t=(t/T_p)*T_p$ e a pela taxa de descarga (q_t), calculada como $q_t = (q_t/q_p)*q_p$ utilizando-se os dados da (Figura 1), conforme metodologia descrita por Targa (2011). Os valores de T_p e q_p para 1 mm de escoamento na bacia do ribeirão da Rocinha são encontrados na (Figura 1).

Observa-se na (Figura 2) que com a geração de uma Precipitação Efetiva unitária de 1 mm, a vazão do rio Rocinha atingiria um pico máximo de vazão da ordem de 11,31 m³/s num tempo unitário (tu) de 75 minutos e/ou tempo em horas (th) de 1,25.

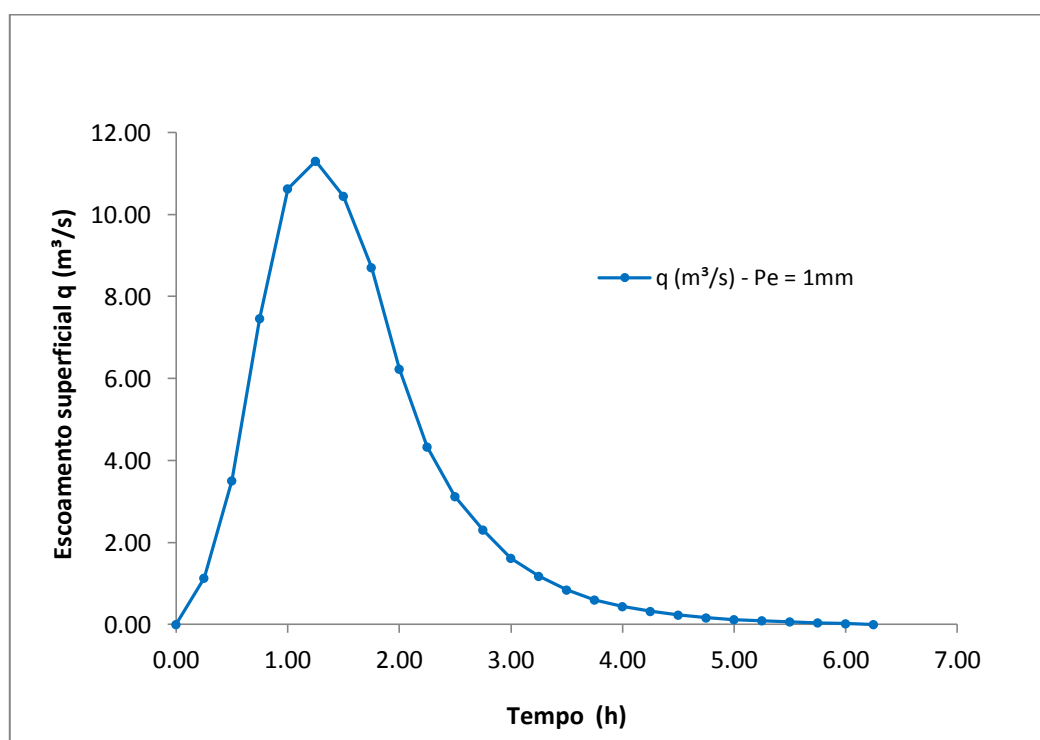


Figura 2: Hidrograma unitário para 1mm de escoamento superficial sobre a bacia do rio Rocinha

Com as Precipitações efetivas apresentadas na Tabela 5, considerando apenas os anos 10, 50 e 100 anos destacados no Hidrograma de projeto (Figura 3), a descarga de pico da hidrógrafa da chuva máxima da área (q) considerada o coeficiente de drenagem atingiria, respectivamente: 13,81 mm, 24,97 mm, 30,24 mm, respectivamente, para chuvas máximas no ano de 2003. Em 2016, esses valores seriam 12,03 mm, 22,47 mm, 27,45 mm, respectivamente, para chuvas máximas nos anos acima citados. E a projeção para 2030 foi calculada em 11,34 mm, 21,49 mm, 26,35 mm, respectivamente no período acima citado.

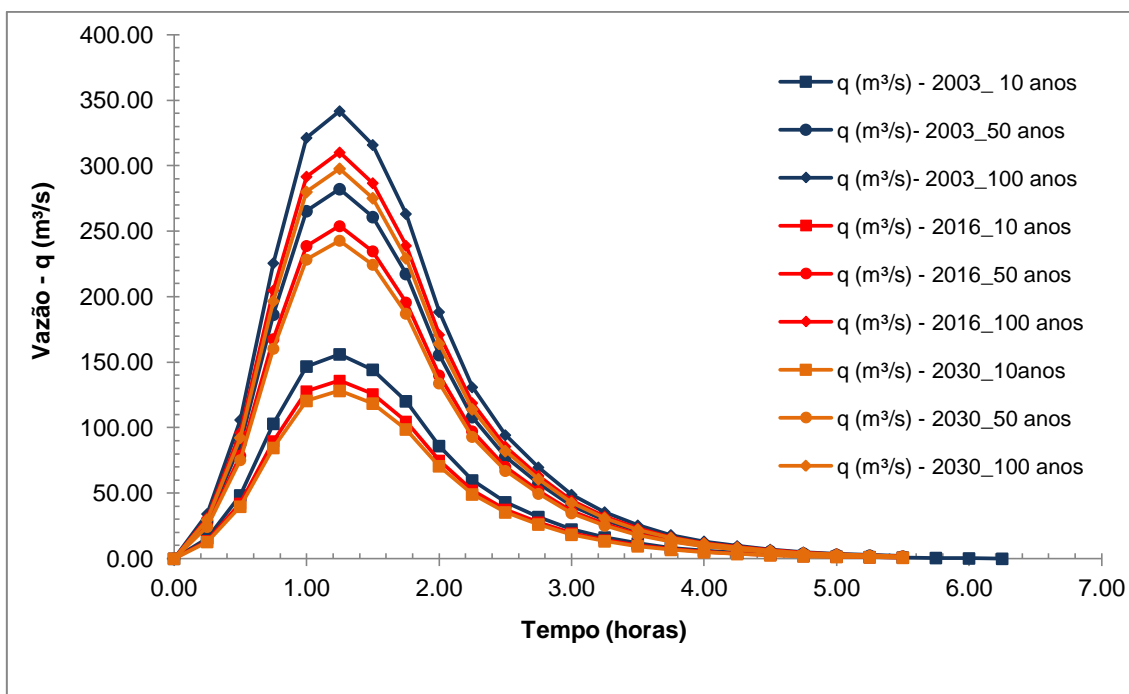


Figura 3: Hidrograma para a Bacia da Rocinha para escoamento superficial proveniente de chuvas máximas de 2003, 2016 e 2030, para tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos.

Esses valores expressos na (Figura 3) e representam a redução contínua do tempo de retorno da precipitação se comparado os anos de 2003, 2016 e 2030. Ao analisar-se (Figura 4) o q máximo no tempo de retorno em 10, 50 e 100, respectivamente, observa-se redução no escoamento superficial. Em 2003, o tempo de precipitação de 1,25 t (h) representava 156,08 m^3/s de chuva (10 anos), 282,20 m^3/s (50 anos) e 341,76 m^3/s (100 anos). Em 2016, o tempo de precipitação nos mesmos tempos retorno foi de 135,96 m^3/s (10 anos), 253,95 m^3/s (50 anos) e 310,23 m^3/s (100 anos). Em 2030, a projeção mostra índice de 128,16 m^3/s (10 anos), 242,87 m^3/s (50 anos) e 297,80 m^3/s (100 anos).

4.CONCLUSÃO

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica ocorre em função de suas características geomorfológicas (relevo, área, geologia, forma, rede de drenagem, solo etc) e do tipo da cobertura vegetal. As características físicas e também as bióticas, principalmente àquelas relacionadas com a cobertura vegetal do solo desempenham importante papel nos processos relacionados à fase terrestre do ciclo hidrológico e influenciam nos índices de infiltração, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e subsuperficial e a quantidade de água.

O uso do método do Hidrograma Unitário possibilitou conhecer as características físicas da bacia e o comportamento do ciclo hidrológico tendo como base um cenário de mudanças no uso e ocupação do solo nos anos de 2003, 2016 e projeção para 2030, e a geração de hidrogramas de escoamentos provenientes de precipitações efetivas maiores.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento evidenciou uma forma de gestão sustentável sendo desenvolvida para o uso e ocupação do solo, com destaque para a recuperação natural da vegetação nativa, aliada à diminuição de áreas de pasto,

voltada para pecuária e do aumento das atividades ligadas ao reflorestamento. Com as ações antrópicas sendo modificadas ao longo dos anos avaliados, foi possível observar a resiliência da Bacia hidrográfica da Rocinha. Com a redução do escoamento superficial houve aumento do índice de infiltrabilidade de 9% entre os anos de 2003 e 2016. E entre 2016 e 2030, estima-se que a infiltrabilidade nesta mesma bacia ainda se incremente, porém em menor escala, 3,5%.

5. REFERÊNCIAS

ABIKO. A. K. Urbanismo: História e Desenvolvimento. São Paulo. 1995. Disponível em http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00016.pdf. Acesso em 22 set. 2017.

ALBUQUERQUE, B.P. **As Relações entre o Homem e a Natureza e a Crise Sócio-ambiental**. Rio de Janeiro, RJ. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 2007. Disponível em <http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/monografia/13.pdf>. Acesso em 25 set. 2017.

ALMEIDA, A.Q et al. Relação entre cobertura florestal e resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2507-2513**, Natal, 2009, p. 2057-2513. Disponível em <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.25.38/doc/2507-2513.pdf>> Acesso em: 14 nov. 2017.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112 p.

CARVALHO, D.F; SILVA, L.D.B da, 2006. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- Instituto de tecnologia- Departamento de engenharia IT 113 – HIDROLOGIA, 2007/2008. Disponível em <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>>. Acesso em 11 de nov. 2017

C. A POTT; I.C. de MARIA. R. Bras. Ci. Solo, 27:19-27, 2003. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, Curso de Pós-Graduação do Instituto Agrônomo – IAC. Campinas (SP). Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n1/v27n1a03.pdf>>. Acesso em 14 de nov. 2017.

BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; Fidalgo, C.C.E. . Banco de dados ambientais da Bacia do Rio Una, Bacia do Rio Paraíba do Sul. Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, 51:1-16. 2005.

BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. ; CATELANI, C. S.;TARGA, M. S. BANCO DE DADOS AMBIENTAIS GEORREFERENCIADOS VOLTADO À RECUPERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DE UMA BACIA DE MÉDIO PORTE, O MODELO DA BACIA DO RIO UNA, PARAIBA DO SUL, SP. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, 2005, João Pessoa. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro: ABRH, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGOPECUÁRIA – EMBRAPA, 1979, **Centro Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 235 pp.

LENCASTRE, A. e FRANCO, F. M., 2006, **Lições de hidrologia**. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa

MENDONÇA, F; MARQUES. G. de S. **A degradação ambiental e qualidade da água em bacia hidrográfica de abastecimento público: rio Timbú – PR**. Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná. Entre-Lugar, Dourados, MS, ano 2, n. 3, p. 111-136, 1º semestre de 2011. Disponível em <<file:///C:/Users/L%C3%84DLIAN/Downloads/965-6320-1-PB.pdf>>. Acesso em 14 de nov. 2017.

MARTINEZ JUNIOR, F. & MAGNI, N. L. G. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. DAEE-USP. São Paulo DAEE/CTH, 1999. 141p.

NRCS. **Estimation of Direct Runoff from Storm Raifall**. In: ____ Hydrology. National Engineering Handbooks. National Resources Conservation Service. USDA, Washington, USA, 2010. Part 630. Cap. 10 79p. Disponível em: SHERMAN, L. K. - **Streamflow form rainfall by the unit graph method**. *Engineering News*. 108:501-505, 1932.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 2012. 195-211, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>)

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. **Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo**. Boletim Técnico do DAEE, São Paulo, v.2, nº 2, p. 82-135, mai/ago 1979.

SHERMAN, L. K. - **Streamflow form rainfall by the unit graph method**. *Engineering News*. 108:501-505, 1932.

SOARES, P.V. et.al. Mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul em base do meio físico e precipitação. **Ambi-Agua**. Taubaté, v.3, n.1,p.26-42, 2008 (doi:10.4136/ambi-agua,40).

POHL, E. et.al. **Escoamento superficial na bacia hidrográfica da Rocinha, Taubaté, SP**. Universidade de Taubaté – UNITAU, Taubaté,SP, Brasil. Programa de Pós-Graduação (Mestrado em Ciências Ambientais), p. 1-11, 2017.

RODRIGUES, N. D. A. ; BATISTA, G. T. ; TARGA, M. S. . Estudo do uso e cobertura do solo e do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Serragem no município de Tremembé, SP. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté - UNITAU, Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Recursos Hídricos,). p. 1 - 27.. 2012.

SALES, P. A.; TARGA, M. S. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES USOS E COBERTURAS NA BACIA DO RIO UNA. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, UNITAU, RECA, p. 1-13, 2017.

TARGA, M. S. **Vazão de projeto em bacias hidrográficas rurais com áreas em declive**. Programa de Pós-Graduação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade de Taubaté – UNITAU, Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Recursos Hídricos, (<http://www.agro.unitau.br/dspace>). p. 1 -20, 2011.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; MOSTARDA NETO, N.; MARIA FILHO, P. J. Hidrogramas para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Serragem no município de Tremembé, SP. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, UNITAU, Repositório Eletrônico Ciências Agrárias – RECA, Coleção de

Recursos Hídricos, p. 1-10, 2015<http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/284/1/Hidrogramas_Bacia_Serragem.pdf>.

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 (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>)

TUCCI, C. E. **M. Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4) 2000. 944p

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 250 p.