

ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO POTENCIAL E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA SUB-BACIA SETE VOLTAS, TAUBATÉ-SP, PELO MÉTODO DO NÚMERO DA CURVA (CN)

Luiz Valerio de Castro Carvalho¹; Osiris Martins¹; Marcelo Santos Targa²

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

² Prof. Dr. Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté-SP. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

autor correspondente: luizvaleriocc@gmail.com; osiris.martins@gmail.com; targa.marcelo@gmail.com

RESUMO

O estudo das bacias hidrográficas ganhou apoio com a promulgação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433/1997) e sua definição como a unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos. Este trabalho objetivou estimar a infiltração potencial e o escoamento superficial da bacia Sete Voltas, no município de Taubaté-SP, pelo método do número da curva (CN) no período de 2003 para 2030. Definiram-se duas projeções conservacionistas (APP e Reflorestamento) e uma outra com pastagens para o manejo do gado bovino. Como resultados projetou-se: a) aumento da mata em 60,6% caso as APP sejam respeitadas; b) reduções em 19,2%, 17,5% e 16,4% das áreas ocupadas por Pasto, Reflorestamento e Agricultura, respectivamente, reforçando prognósticos quanto a intensificação de conflitos socio-econômicos; c) aumento mínimo da infiltração potencial em 12,9% e sua redução em 10,3% para o cenário Pastagens; d) que o tempo de retorno de 50 anos para um escoamento superficial igual ou superior a 10 mm estimado para 2003 seria alcançado com TR 20 anos (Pastagens) a 100 anos (Reflorestamento). Segundo as projeções, concluiu-se que haverá a redução do escoamento superficial da sub-bacia Sete Voltas em 2030 para valores inferiores aos de 2003 devido, minimamente, à conservação das APP.

Palavras-chave: precipitação efetiva; rio Una; uso do solo.

ABSTRACT

The study of hydrographic basins gained support with the promulgation of the National Policy on Water Resources (Law No. 9.433 / 1997) and its definition as the territorial unit for the management of water resources. This work aimed to estimate the potential infiltration and surface runoff of the Sete Voltas basin, in the municipality of Taubaté-SP, by the curve number (NC) method from 2003 to 2030. Two conservationist projections (APP and Reforestation) and one with pasture for cattle management. The following results were projected: a) increase of the forest in 60.6% if the PPPs are respected; b) reductions of 19.2%, 17.5% and 16.4% in the areas occupied by pasture, reforestation and agriculture, respectively, reinforcing prognoses regarding

the intensification of socio-economic conflicts; c) minimum increase of potential infiltration by 12.9% and its reduction by 10.3% for the Pastures scenario; d) that the return time of 50 years for a runoff equal to or greater than 10 mm estimated for 2003 would be achieved with TR 20 years (Pastures) to 100 years (Reforestation). According to the projections, it was concluded that there will be a reduction of the surface runoff of the Sete Voltas sub-basin in 2030 to values lower than those of 2003, due to the conservation of the APP.

Key-words: rainfall excess; Una river; land use; runoff curve number.

1. Introdução

O estudo das bacias hidrográficas é importante por envolver os fluxos naturais e antrópicos, com suas propriedades físicas, químicas e biológicas às qualidades sociais, econômicas e culturais. Nelas observam-se simultaneamente e em diferentes escalas o ciclo hidrológico com as chuvas e as secas, o avanço do urbano com a impermeabilização do solo, os efeitos das flutuações econômicas com o progresso ou decadência do centro histórico das cidades e das culturas no campo e, como rugosidade, a manutenção do manejo do gado bovino por tradição frente a alternativas como a silvicultura ou a preservação da mata em encostas para o aumento do volume d'água nos córregos e ribeirões. Por ser uma área de delimitação simples, função da estabilidade relativa de seus divisores, é tomada pelo planejamento como uma unidade básica da ação, ideia reforçada pela Lei Nº 9.433/1997 denominada Política Nacional dos Recursos Hídricos.

Ao se entender a água como recurso, logo, dotada de valor econômico, incentiva-se o uso ordenado e a preservação. Interessa também o investimento em projeções de seu comportamento frente às variações na atmosfera e à superfície terrestre. Lançam-se mão, portanto, de modelos e métodos como o do número da curva de escoamento superficial (CN) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA-SCS). Este modelo básico leva ao conhecimento da capacidade de infiltração e do escoamento da bacia a partir de dados físicos, pedológicos e do uso do solo frente a um regime pluviométrico conhecido. Sua aplicação se volta, mas não se restringe, ao dimensionamento de barragens e reservatórios.

Este trabalho tem por objetivo, a estimativa da infiltração potencial (S) e do escoamento superficial (Pe) da sub-bacia Sete Voltas em Taubaté, SP para o ano de 2003 e a uma projeção para 2030, tomando como entrada as precipitações intensas disponibilizadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo para tempos de retorno de dois a duzentos anos. Optou-se por 2003 pela disponibilidade de dados quanto ao uso solo. Definiram-se três projeções: a regeneração da mata nas Áreas de Preservação Permanente (APP); a soma desta projeção com o avanço da silvicultura; o retrocesso da silvicultura com o retorno as pastagens para o manejo do gado bovino, mantendo as mesmas áreas com mata de 2003.

A escala espacial é importante para a análise do clima à superfície da terra uma vez que há trocas de energia e água entre a superfície da terra e a atmosfera. São exemplos a incidência da radiação solar com ocorrência na escala planetária ou superior a 10.000 km, os biomas na macroescala ou 1.000 km, as feições do terreno ou os efeitos da urbanização na mesoescala ou de 1 a 100 km e estruturas individuais ou características do solo na microescala ou igual ou menor a 100 m (RASMUSSEN et al., 1993). São a precipitação e a evaporação importantes processos nesta troca. Por precipitação entende-se qualquer umidade derivada da atmosfera e depositada na superfície terrestre (VILLELA; MATTOS, 1975), enquanto por evaporação o processo em que a

água se torna vapor em função da energia disponível nesta superfície e outras condições atmosféricas como a pressão de vapor (SHUTTLEWORTH, 1993).

Uma vez precipitada parcela desta água é interceptada pela vegetação ou retida no solo enquanto outra é transportada, em processo conhecido por escoamento (Q) e que engloba tanto a água que escorre pela superfície [sobre o solo], sub-superfície [ao longo do perfil do solo], em deslocamento subterrâneo [através do embasamento geológico] ou mesmo pelos rios. Afetam este processo a duração, a intensidade e a recorrência das precipitações, a área de drenagem, o relevo, a permeabilidade e capacidade de infiltração do solo e fatores antrópicos (VILLELA; MATTOS, 1975). O escoamento superficial, a porção da precipitação que não foi interceptada, armazenada em alguma depressão ou se infiltrou, pode ser estimado a partir de modelos como o do número da curva de escoamento superficial (CN) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos EUA. Neste modelo o escoamento superficial é estimado a partir da precipitação e do potencial máximo de infiltração do solo. Os fatores determinantes para o CN são o grupo hidrológico do solo (de A a D), o uso do solo e suas especificidades e eventos anteriores de escoamento. Este método descreve as condições médias da bacia, úteis em projetos. Sua precisão diminui quando precipitações além da média histórica são registradas e quando o escoamento é inferior a 12,7 mm ou meia polegada (RAWLS et al., 1993).

Modelos chuva-vazão, como o CN, são úteis por preverem o escoamento superficial potencial de uma bacia em função de mudanças no uso do solo, auxiliando ações conservacionistas ou mesmo gerando dados fluviométricos onde não há medição. No modelo ou método CN é preciso enquadrar os solos em um dos quatro grupos hidrológicos, de A a D, em ordem decrescente de capacidade de infiltração. Revisões quanto ao enquadramento dos solos brasileiros foram realizadas, entre outros, por Setzer e Porto (1979) e Lombardi Neto et al. (1989). A partir destes estudos foi possível reclassificar nos grupos A e B solos argilosos que contenham argilas do tipo 1:1 não expansíveis, apresentam boa porosidade total, são profundos e com gradiente textural irrisório. Estudos de Bertolani e Vieira (2001) indicaram uma taxa de infiltração média para um argissolo vermelho-amarelo abrupto. Pott (2001) se deparou com velocidades de infiltração básica no mínimo oito vezes superiores a $7,62 \text{ mm h}^{-1}$ para latossolos de texturas argilosa e média e argissolo de textura arenosa e média (SARTORI et al., 2005).

O processo de infiltração é controlado pelo movimento da água no solo, que continua mesmo após o seu término. Este movimento é responsável pela disponibilidade de água para as plantas, pela evaporação na superfície do solo, pelo escoamento superficial, a recarga dos aquíferos, pela erosão do solo e pelo transporte de produtos químicos para as águas superficiais e subsuperficiais. E o afetam a condutividade hidráulica do solo e sua capacidade de reter e disponibilizar água, características físicas como o tamanho das partículas [textura] e morfológicas como porosidade, teor de matéria orgânica e tipo de argila presente. Solos mais porosos apresentam menor capacidade de retenção e condutividade hidráulica. Por outro lado, maiores teores de matéria orgânica aumentam a capacidade de retenção. Solos com argilas expansíveis como a montmorilonita apresentam menor condutividade hidráulica e maior retenção quando comparados a solos com argilas não expansíveis como a caulinita (RAWLS et al, 1993).

A área de drenagem fonte de um dado escoamento pode ser entendida como uma região hidrológica incluída no processo de movimento da água dos oceanos para os continentes e seu retorno. Quando os limites desta área coincidem com os limites topográficos e todo o escoamento concentra-se em um único ponto, o exutório, têm-se uma bacia hidrográfica. Suas características físicas somados ao regime hidrológico auxiliam na definição de seu comportamento e na determinação de dados onde estações hidrométricas não estão presentes. Além da área, importa conhecer: o tempo de concentração (TC), tempo para que toda a bacia contribua para o

escoamento superficial; a declividade do relevo, por influenciar na velocidade do escoamento superficial; a variação da altitude e elevação média, por influenciarem a precipitação, a evaporação, a transpiração e o escoamento (VILLELA; MATTOS, 1975). Características geológicas afetam o escoamento superficial, o movimento d'água em subsuperfície, a infiltração e os processos de formação do solo (ANA, 2013).

A aplicação do método CN a bacia do Ribeirão Itaim, uma sub-bacia do rio Una, localizada em Taubaté, AGUIAR et al., 2004 avaliaram a variação do escoamento superficial em função da mudança de uso do solo entre 1986 e 2003 a partir de precipitações intensas para o Estado de São Paulo e tempos de retorno de dois a cinquenta anos (). SANTOS et al., 2014 para a mesma bacia, projetou o escoamento superficial para 2020 a partir de mudanças conservacionistas no uso do solo com a aplicação da Lei N° 4.771/1965 (RODRIGUES et al., 2014), e do avanço da urbanização desordenada com baixo índice de permeabilidade do solo e da adoção de políticas públicas de desenvolvimento sustentável com a implantação de lotes maiores que 500 m². Estes trabalhos apontam para o retorno aos índices de escoamento de 1986, caso seja a bacia ocupada por urbanização desordenada (Tabela 1). Nestes estudos padronizaram-se os solos no grupo hidrológico C.

Tabela 1. Escoamento superficial (Pe) e infiltração potencial (S) calculados pelo método do número da curva (CN) para a sub-bacia do ribeirão Itaim, bacia do rio Una localizada em Taubaté-SP, para os anos de 1986 e 2003 e projeções para 2020 amparadas na Lei N°4.771/65 e nos processos de urbanização desordenada e desenvolvimento sustentável

Lâmina (mm)	1986 ¹	2003 ¹	2020 Lei 4.771/65 ²	2020 Urbanização Desordenada ³	2020 Desenvolvimento Sustentável ³
Pe _{TR 2}	10,6	6,5	0,8	11,0	8,0
Pe _{TR 50}	42,3	32,9	14,8	42,5	36,0
S	89,1	116,8	188,6	87,8	105,9

Fonte: ¹ Aguiar et al. (2004); ² RODRIGUES et al. (2014); ³ estimado de SANTOS et al. (2014)

A aplicação do método CN para a previsão do escoamento superficial na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela em Alto Rio Grande-MG demonstrou como este método, no geral, superestima os valores observados para eventos isolados. Trabalho em que os solos (latossolos, argissolos e cambissolos) foram enquadrados no grupo hidrológico B (SILVA, 2006).

2. Material e Método

2.1. Localização e descrição da sub-bacia Sete Voltas

A sub-bacia Sete Voltas compõe a bacia do rio Una, afluente do rio Paraíba do Sul (Figura 1). É o seu principal dreno o rio das Almas com 36,584 km de extensão, renomeado para ribeirão Grande e dos Macucos à montante. Com 12.127,46 ha e perímetro de 74,59 km, se localiza na porção sudeste de Taubaté em perímetro rural e no limite com os municípios de Pindamonhangaba, Roseira e São Luiz do Paraitinga, todos integrante da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), estado de São Paulo. Está inserida quase que por completo na unidade de conservação federal APA Rio Paraíba do Sul. Predominam na sub-bacia o clima subquente úmido, com temperatura média entre 15 e 18 °C em pelo menos um mês e três

meses secos (IBGE, 2002), o bioma Mata-Atlântica (IBGE, 2004), as unidade de relevo Depressão do Rio Paraíba do Sul e Serra do Mar (IBGE, 2012) e o domínio fitogeográfico dos mares de morros (AB'SÁBER, 2003).

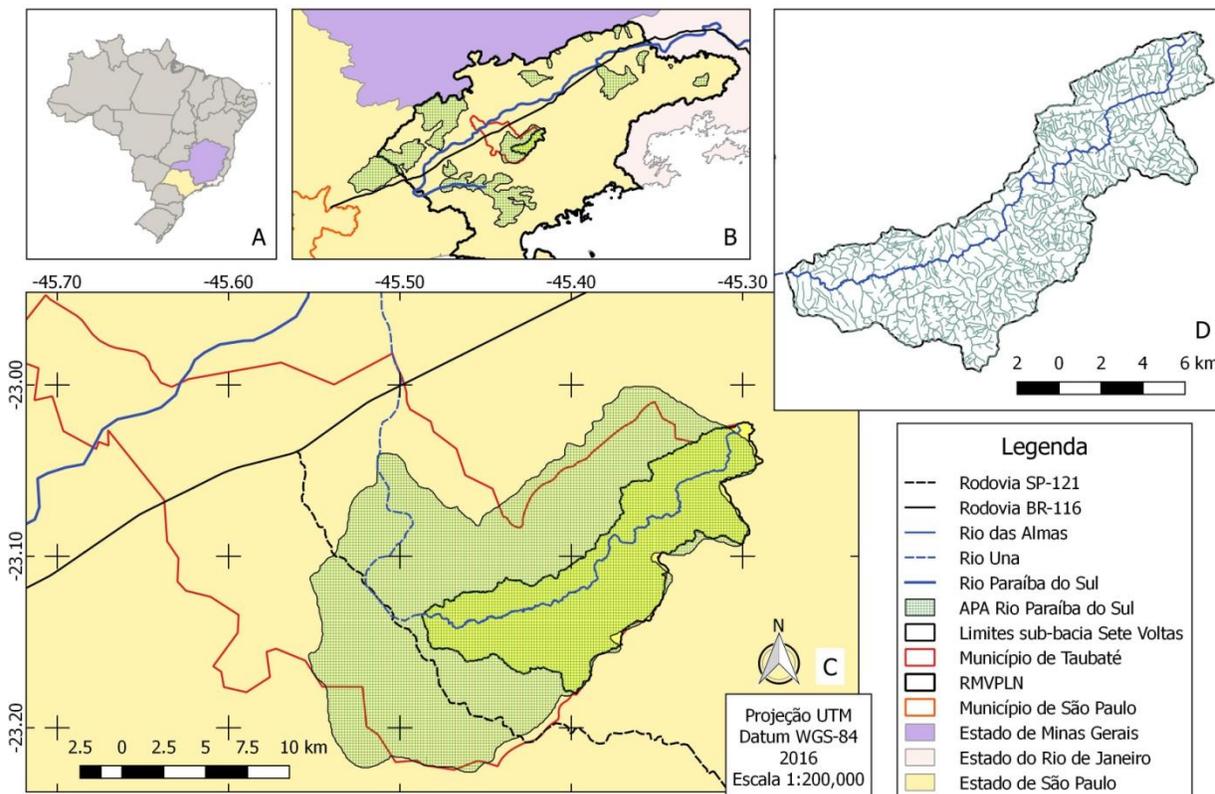


Figura 1. Localização da sub-bacia Sete Voltas: unidades da federação brasileira (A), localização do município de Taubaté na RMVPLN e APA Rio Paraíba do Sul (B), limites da sub-bacia Sete Voltas em Taubaté (C) e rede de Drenagem (D) cedida pelo IPABHi, 2016.

Elevada a vila em 1645, foi núcleo bandeirante, participou dos ciclos econômicos do Ouro ao longo do século XVII, do Café entre os séculos XVIII-XIX e do início da industrialização do país a partir do séc. XIX. No município a agricultura é representada pelo cultivo do arroz, milho, batata, feijão, cana-de-açúcar, hortifrutigranjeiros e pela pecuária leiteira (Taubaté, 2016), por mais que sua participação na produção municipal tenha representado 9,0% do total em 2013 (IBGE, 2016). Historicamente e para toda a região, é da agropecuária o papel de escape entre-ciclos de enriquecimento, subsidiando a manutenção de parcela do produtor em sua terra, contudo esse tipo de uso deve modificar as condições de infiltração e escoamento

2.2. O Método CN

Neste trabalho fez-se uso de arquivos vetoriais, imagens e mapas produzidos por Batista (2006) e disponibilizados no Banco de Dados Ambientais da Bacia do Rio Una, contrato FEHIDRO N° 280/2002 pelo Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté e pelo Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi), Projeto Una.

Calculou-se o Tempo de Concentração (TC) em minutos da sub-bacia Sete Voltas pela Eq. 1:

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

em que L é a extensão do curso d'água em quilômetros e H o desnível entre a cabeceira do rio (cota máxima) até o exutório em metros (cota mínima).

A partir do TC calculou-se a coluna d'água das precipitações intensas para os tempos de retorno de dois a duzentos anos seguindo a recomendação do DAEE-SP e definidas pela (Eq. 2) Martinez Júnior e Magni (1999):

$$i_{t,T} = 54,5294(t + 30)^{-0,9637} + 11,0319 (t + 20)^{-0,9116} \times [-0,4740 - 0,8839 \ln \ln \left(\frac{T}{T-1}\right)] \quad (2)$$

em que t, o tempo de duração da precipitação em minutos é igual ao TC calculado.

Obteve-se a extensão do curso d'água principal por meio de arquivo vetorial do sistema de drenagem da bacia do rio Una. Extraíram-se as cotas máximas e mínimas a partir das quadrículas 6D (Serra Quebra-cangalha) e 3G (Ribeirão das Almas) de altimetria e uso da terra na escala 1:10.000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e datum SAD-69. A definição das classes de uso do solo (Quadro 1) para a bacia do rio Una para o ano de 2003 deu-se a partir de imagens coloridas de alta resolução na escala 1:30.000 e da construção de mosaico ortorretificadas na escala 1:10.000. O processo de interpretação apoiou-se em imagens dos sensores HVR e TM, do sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 e trabalhos em campo. Como resultado obteve-se o mapeamento do uso do solo (Figura 2) na escala 1:25.000 com 12 classes (BATISTA et al. 2005).

Quadro 1. Classificação, área e descrição do uso do solo para a sub-bacia Sete Voltas do rio Una

Classes de uso do solo	Área (ha)	Descrição de enquadramento
Agricultura	91,51	culturas anuais ou perenes
Área Degradada	1,99	severa degradação ambiental de origem antrópica ou natural como voçorocas, deslizamentos e desmoronamentos
Área Minerada	21,91	A vegetação e o solo foram removidos em função da mineração ou obras de engenharia
Área Urbanizada	9,31	ocupação predominantemente urbana
Corpos D'água	25,57	drenos visíveis na escala do mapeamento
Mata Ou Capoeira	2918,62	vegetação natural secundária em estágio médio ou mais preservada
Pasto	6800,94	pastagens naturais ou antrópicas
Pasto Degradado	171,13	pastagens onde é expressiva a erosão laminar
Pasto Sujo	850,05	pastagens em abandono com predominância de arbustos e árvores espaçadas
Reflorestamento	1051,94	silvicultura como a do <i>Eucaliptus</i> sp.
Reflorestamento Cortado	132,84	corte raso para a extração da madeira
Solo Exposto	51,66	solo em preparo para o uso agrícola
Total	12127,46	-

Fonte: Batista et al. 2005

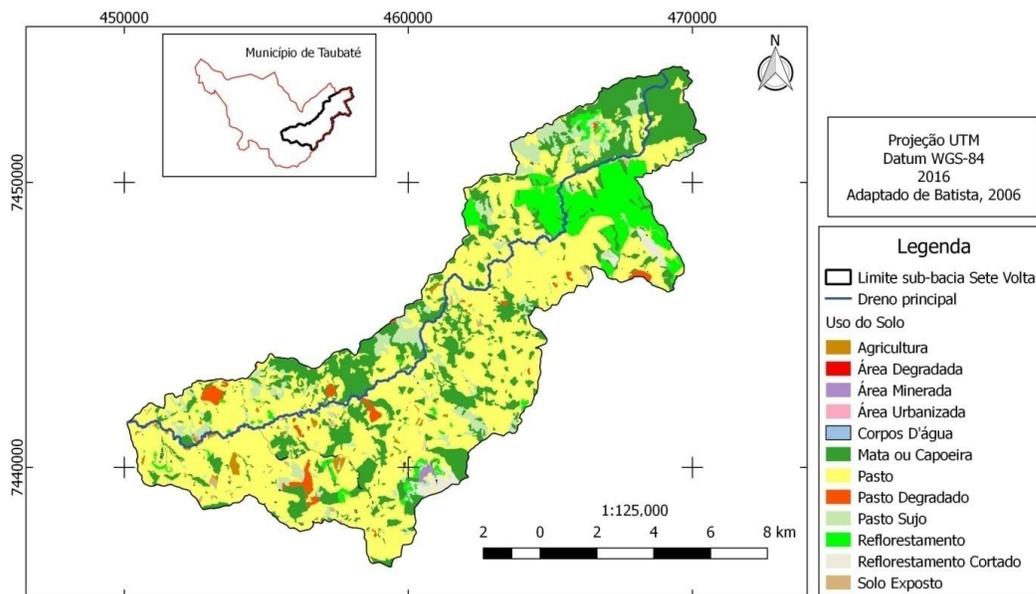


Figura 2. Uso do solo da sub-bacia Sete Voltas do rio Una, Taubaté-SP para o ano de 2003
 Fonte: adaptado de Batista, et al. 2005

Batista, et al. 2005 definiram as Áreas de Preservação Permanente (APP) a partir de dados digitalizados da base cartográfica na escala 1:10.000 e segundo a Lei 4.771/1965, Lei 7.803/1989 e Resolução CONAMA 04/1985. São os solos da sub-bacia do Sete Voltas latossolos e argissolos vermelho-amarelos de textura argilosa ou muito argilosa, identificados a partir de arquivo vetorial disponibilizado pelo IBGE (2001) na escala 1:5.000.000, e classificados nos grupos hidrológicos A e B, respectivamente (SARTORI et al., 2005). Adotou-se o segundo como um argissolo sem gradiente textural abrupto, favorecendo o grupo com maior infiltração.

Definiram-se os parâmetros do método CN para os grupos hidrológicos A e B adaptando os valores descritos por Setzer e Porto (1979) citados por Aguiar et al. (2004) para bacias rurais na condição antecedente de umidade do solo dois, sempre optando pelo maior valor quanto a condição de superfície e situação hidrológica. A média ponderada do CN (CNpond) para cada classe e tipo de solo foi calculado pela Eq. 3 (Targa, 2011).

Projetaram-se três cenários de escoamento superficial para 2030 a partir do mapeamento do uso do solo de 2003, mantendo-se os parâmetros para o cálculo do CN previamente definidos e variando-se a área entre as diferentes classes. No cenário APP as áreas de preservação permanente seriam respeitadas, mesmo porque a sub-bacia encontra-se quase que por completa inserida na unidade de conservação federal APA Rio Paraíba do Sul, permitindo o desenvolvimento da vegetação para o estágio secundário médio. Recalculou-se a área da classe Mata ou Capoeira unindo-se ao mapeamento de uso do solo as áreas delimitadas por Batista (2006) em função da presença de drenos, nascentes e declividade, com exceção das classes Área Urbanizada e Corpos D'Água cujas áreas foram mantidas. Definiu-se o segundo cenário, Reflorestamento, como o de máxima infiltração. Neste somou-se ao cenário APP o avanço da silvicultura, representado pelo aumento da área da classe Reflorestamento em três vezes em detrimento da classe Pastos, e o viés conservacionista com a união da classe Pasto Sujo à classe Mata ou Capoeira e da classe Pasto Degradado à Pastos. Manteve-se a proporção entre as classes Reflorestamento e Reflorestamento Cortado. No cenário de máximo escoamento Pastagens projetou-se o abandono da região pela indústria do papel e da celulose, representado pela conversão das classes Reflorestamento e Reflorestamento Cortado em Pastos. Uniu-se também a

esta a classe Pasto Sujo. Por fim, triplicou-se a área da classe Pasto Degradado, subtraindo-se da área da classe Pasto, simulando a degradação oriunda do manejo do gado bovino em regime de subsistência ou em pequenas propriedades sem o apoio especializado público ou privado.

Não variaram-se ao longo do cenário o Tc, o TR, a coluna d'água das precipitações intensas e os parâmetros de CN definidos para o ano de 2003. Optou-se pelo programa de licença livre QGIS em sua versão 2.14 Essen. Enfrentou-se dificuldade em se trabalhar com os arquivos vetoriais no *datum* original, SAD-69, problema sanado com a reprojeção para o *datum* WGS-84.

3. Resultados e Discussões

Identificou-se extensão do curso d'água entre a nascente e o exutório em 36,584 km somando-se a extensão do rio das Almas, ribeirões Pedra Grande e do Macuco. Com diferença altimétrica de 874 metros entre as cabeceiras, situadas a 1474 metros de altitude, e o exutório, a 600 metros, calculou-se o Tempo de concentração (Tc) em 268,53 minutos que igualado ao tempo de duração, a precipitação variou de 57,8 mm para Tempo de Retorno (TR) de 2 anos para 131,6 mm para 200 anos (Tabela 2).

Tabela 2. Previsão de máxima intensidade de precipitações em mm.h⁻¹, adaptado de DAEE-SP

Duração t (min)	Tempo de Retorno - TR (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	14,8	19,8	23,1	25,0	26,3	27,3	30,4	33,4	36,5
20	24,0	31,6	36,7	39,6	41,6	43,1	47,9	52,6	57,3
30	30,2	39,6	45,8	49,3	51,8	53,6	59,5	65,2	71,0
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
180	54,4	70,3	80,8	86,7	90,9	94,1	103,9	113,7	123,5
268,53	57,8	74,8	86,0	92,3	96,8	100,2	110,7	121,2	131,6
360	59,9	77,6	89,3	95,9	100,5	104,1	115,1	126,0	136,8
720	63,7	83,0	95,7	102,9	108,0	111,9	123,8	135,7	147,5
1080	65,4	85,6	98,9	106,4	111,7	115,8	128,3	140,7	153,1
1440	66,5	87,3	101,0	108,8	114,2	118,4	131,2	144,0	156,8

Fonte: DAEE-SP (2014)

Os solos da sub-bacia Sete Voltas dividem-se entre os argissolos e os latossolos, ambos vermelho-amarelos de textura argilosa ou muito argilosa, cujos códigos de acordo com o IBGE (2001) são LVA9 e PVA39, respectivamente (Figura 3).

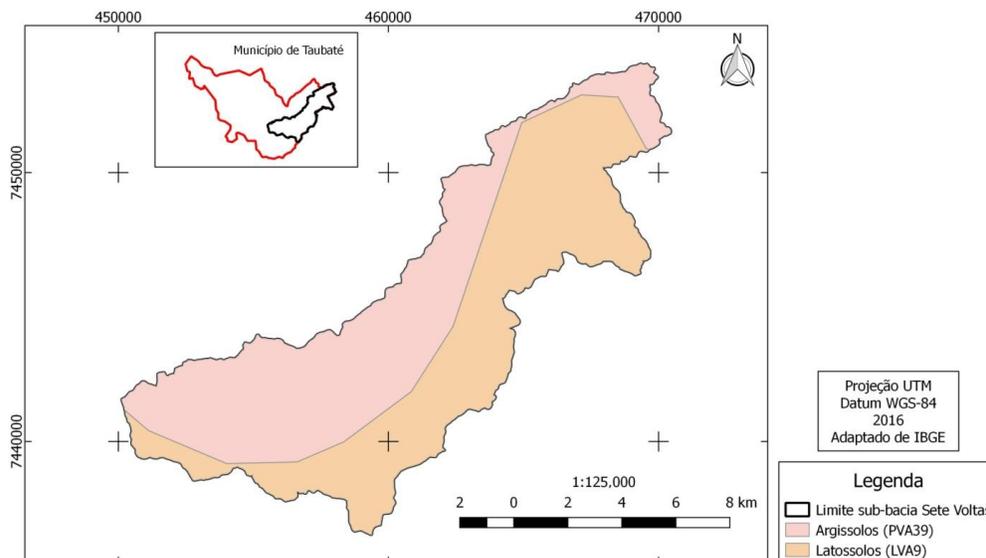


Figura 3. Classificação dos solos da sub-bacia Sete Voltas do rio Una, em argissolos e latossolos vermelho-amarelos.

Fonte: adaptado de IBGE, 2001

Os latossolos vermelho-amarelos predominam por 6198,6 ha ou 51,1% da bacia enquanto os argissolos vermelho-amarelos em 5928,8 ha ou 48,9%, de um total de 12.127,46 ha (Tabela 3).

Tabela 3. Área por classe de uso do solo e área ponderada pela área total por tipo de solo predominante na sub-bacia Sete Voltas do rio Una para o ano de 2003, adaptado de IBGE e Batista et al. (2005)

Classes de uso do solo	Área (ha)	A/A _{bacia} (%)	Área (ha)	A/A _{bacia} (%)
	LVA9		PVA39	
Agricultura	12,73	0,1	78,79	0,6
Área Degradada	0,00	0,0	1,99	0,0
Área Minerada	21,91	0,2	0,00	0,0
Área Urbanizada	3,68	0,0	5,63	0,0
Corpos D'água	9,49	0,1	16,09	0,1
Mata ou Capoeira	1217,49	10,0	1701,12	14,0
Pasto	3424,90	28,2	3376,04	27,8
Pasto Degradado	49,83	0,4	121,30	1,0
Pasto Sujo	364,73	3,0	485,32	4,0
Reflorestamento	937,91	7,7	114,04	0,9
Reflorestamento Cortado	132,84	1,1	0,00	0,0
Solo Exposto	23,13	0,2	28,53	0,2
Total	6198,60	51,1	5928,80	48,9

Fonte: IBGE (2001); Batista, et al. (2005)

Para os dois grupos hidrológicos assumiu-se as classes Área Minerada e Área Urbanizada com os mesmos parâmetros CN da estrada de terra. Definiu-se a classe Corpos D'água igual a 98, próximo ao escoamento máximo, a classe Pasto Degradado como pastagem velha, a classe Pasto Sujo como 80% do valor para pasto em rodízio e a classe Reflorestamento Cortado como solo exposto (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros CN adotados e adaptados segundo Setzer e Porto (1979) apud Aguiar et al. (2004) por classe e por classe hidrológica de solo

Classes de uso do solo	Parâmetros CN	Parâmetros CN	Adaptação
	A - LVA9	B - PVA39	
Agricultura	60	72	-
Área Degradada	65	80	-
Área Minerada	80	85	estrada de terra
Área Urbanizada	80	85	estrada de terra
Corpos D'água	98	98	definido
Mata ou Capoeira	32	40	-
Pasto	56	64	-
Pasto Degradado	65	70	pastagem velha
Pasto Sujo	44,8	51,2	pasto em rodízio * 0,8
Reflorestamento	35	50	-
Reflorestamento Cortado	65	80	solo exposto
Solo Exposto	65	80	-

Fonte: Setzer e Porto (1979)

O CN ponderado em 2003, resultado da soma dos parâmetros de CN ponderado de cada classe por sua área ocupado, foi de 51,98 para a sub-bacia Sete Volta (Tabela 5). As classes mais representativas foram Pastos (33,63) e Mata ou Capoeira (8,82).

Tabela 5. CN calculado por classe e total (CN_{pond}) da sub-bacia Sete Voltas do rio Una

Classes de uso do solo	CN _{classe}
Agricultura	0,53
Área Degradada	0,01
Área Minerada	0,14
Área Urbanizada	0,06
Corpos D'água	0,21
Mata ou Capoeira	8,82
Pastos	33,63
Pasto Degradado	0,97
Pasto Sujo	3,40
Reflorestamento	3,18
Reflorestamento Cortado	0,71
Solo Exposto	0,31
Total	51,98

Chegou-se ao valor de 234,7 mm para a infiltração potencial (S) para a sub-bacia Sete Voltas em 2003. Os escoamentos superficiais para as precipitações intensas entre 2 e 200 de TR foram variaram de 0,5 a 22,4 mm (Tabela 6).

Tabela 6. Escoamento superficial (Pe) para Tempos de Retorno (TR) de 2 a 200 anos de precipitações intensas para a sub-bacia de Sete Voltas em 2003.

TR (Anos)	P (mm)	Q (mm)
2	57,8	0,5
5	74,8	2,9
10	86,0	5,6
15	92,3	7,4
20	96,8	8,7
25	100,2	9,8
50	110,7	13,6
100	121,2	17,8
200	131,6	22,4

Gerou-se o cenário APP, o primeiro para o ano de 2030, unindo-se os arquivos vetoriais APP_Margem_Simples.shp, APP_Nascente.shp e declividade APP_Declividade.shp ao arquivo Uso_Solo.shp disponibilizados pelo IPABHi (Figura 4).

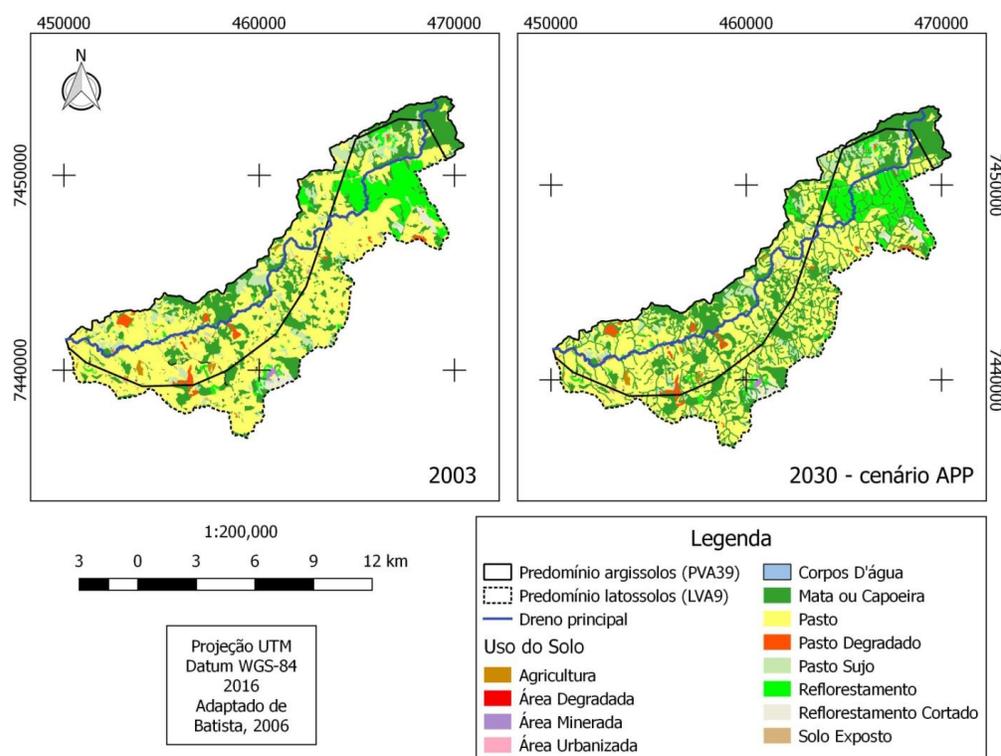


Figura 4. Uso do solo para a sub-bacia Sete Voltas para em 2003 adaptado Batista et al. (2005) e cenário APP para o ano de 2030

As áreas para as demais projeções foram estimadas numericamente, sem qualquer espacialização (Tabela 7). Observou-se a redução de todas as classes, com exceção das classes Área Urbanizada e Corpos D'água, e o aumento da classe Mata ou Capoeira entre 2003 e a projeção APP para 2030. Classe que incrementa, agora junto à classe Reforestamento para a projeção de mesmo nome. Para a projeção pastagens observou-se a atribuição de área nula para as classes Pasto Sujo, Reforestamento e Reforestamento Cortado, a diminuição da classe Mata

ou Capoeira, o incremento da área da classe Pasto de 6800 ha para quase 8500 ha, e a triplicação da área da classe Pasto Degradado para 513,4 ha.

Tabela 7. Áreas por classe de uso do solo da sub-bacia Sete Voltas em 2003 e projeções para 2030 APP, Reflorestamento (Refl.) e Pastagens (Past.)

Classes de uso do solo	2003	2030 APP	2030 Refl.	2030 Past.
Agricultura	91,5	76,5	76,5	91,5
Área Degradada	2,0	0,5	0,5	2,0
Área Minerada	21,9	16,4	16,4	21,9
Área Urbanizada	9,3	9,3	9,3	9,3
Corpos D'água	25,6	25,6	25,6	25,6
Mata ou Capoeira	2918,6	4687,3	5325,5	2918,6
Pasto	6800,9	5493,3	3674,5	8493,5
Pasto Degradado	171,1	150,4	0,0	513,4
Pasto Sujo	850,0	638,2	0,0	0,0
Reflorestamento	1051,9	867,7	2603,0	0,0
Reflorestamento Cortado	132,8	116,9	350,8	0,0
Solo Exposto	51,7	45,3	45,3	51,7
Total	12127,5	12127,5	12127,5	12127,5

Em termos percentuais a o incremento da área ocupada pela classe Mata ou Capoeira para 2030, projeção APP, seria de aproximadamente 60%. A Área Degradada seria reduzida em cerca de 75%, a Área Minerada em 25%. Cerca de 25% do Pasto Sujo se converteria em Mata ou Capoeira. Reduções em 19,2%, 17,5% e 16,4% das áreas ocupadas pelas classe Pasto, Reflorestamento e Agricultura, respectivamente, reforçariam prognósticos quanto a intesificação de conflitos socio-econômicos. Para a projeção Reflorestamento o avanço da Mata ou Capoeira ante 2003 chegaria a 82,5% e das áreas reflorestadas em aproximadamente 150%. Por outro lado, a classe Reflorestamento Cortado aumentaria em pelo menos 164%. Os pastos seriam reduzidos quase que pela metade, em 46%. Para a última projeção, Pastagens, a área ocupada por Pastos seria 25% maior que em 2003, enquanto os pastos degradados ocupariam uma área 200% maior. Em outras palavras, o aumento em 1/4 da área ocupada pela pecuária se traduziria em três vezes mais pastos degradados (Tabela 8).

Tabela 8. Variação (%) das áreas por classe de uso do solo da sub-bacia Sete Voltas entre 2003 e projeções para 2030 APP, Reflorestamento (Refl.) e Pastagens (Past.)

Classes de uso do solo	2003	2030 APP	2030 Refl.	2030 Past.
Agricultura	91,5	-16,4%	-16,4%	0,0%
Área Degradada	2,0	-74,8%	-74,8%	0,0%
Área Minerada	21,9	-25,0%	-25,0%	0,0%
Área Urbanizada	9,3	0,0%	0,0%	0,0%
Corpos D'água	25,6	0,0%	0,0%	0,0%
Mata ou Capoeira	2918,6	60,6%	82,5%	0,0%
Pasto	6800,9	-19,2%	-46,0%	24,9%
Pasto Degradado	171,1	-12,1%	-100,0%	200,0%
Pasto Sujo	850,0	-24,9%	-100,0%	-100,0%
Reflorestamento	1051,9	-17,5%	147,4%	-100,0%
Reflorestamento Cortado	132,8	-12,0%	164,1%	-100,0%
Solo Exposto	51,7	-12,3%	-12,3%	0,0%

O CN mais representativos para a projeção APP se originariam das classes Pastos (27,23) e Mata ou Capoeira (13,97). Para a projeção Reflorestamento, o CN para a classe Reflorestamento seria de 7,87 e o peso das classes Pastos e Mata ou Capoeira se aproximariam para 18,77 e 15,89, respectivamente, mantendo a primeira como a maior contribuinte para o escoamento superficial na sub-bacia. Característica reforçada para a próxima projeção, Pastagens, quando isolada contribuiria com 76,2% da composição do CN. (Tabela 9).

Tabela 9. CN por classe e CNpond por projeção para 2030 para a sub-bacia Sete Voltas

Classes de uso do solo	2003	2030 APP	2030 Refl.	2030 Past.
Agricultura	0,53	0,45	0,45	0,53
Área Degradada	0,01	0,00	0,00	0,01
Área Minerada	0,14	0,11	0,11	0,14
Área Urbanizada	0,06	0,06	0,06	0,06
Corpos D'água	0,21	0,21	0,21	0,21
Mata ou Capoeira	8,82	13,97	15,89	8,82
Pasto	33,63	27,23	18,77	41,68
Pasto Degradado	0,97	0,85	0,00	2,90
Pasto Sujo	3,40	2,55	0,00	0,00
Reflorestamento	3,18	2,62	7,87	0,00
Reflorestamento Cortado	0,71	0,63	1,88	0,00
Solo Exposto	0,31	0,27	0,27	0,31
CN_{pond}	51,98	48,95	45,51	54,68

O aumento da infiltração potencial (S) da sub-bacia Sete Voltas seria de 12,9% para a projeção APP em 2030 e 29,6%, superando 300 mm, para a projeção Reflorestamento. Verificaria-se uma queda de 10,3% para a última projeção, Pastagens (Tabela 10).

Tabela 10. Infiltração potencial (S) em milímetros e variação percentual em relação ao valor de 2003 para as projeções para 2030 para a sub-bacia Sete Voltas

Projeção	S (mm)	Var. (%)
2003	234,67	-
2030 - APP	264,95	12,9%
2030 - Reflorestamento	304,08	29,6%
2030 - Pastagens	210,54	-10,3%

O escoamento superficial variaria de 0,1 a 18 mm para a projeção APP, seria nulo para TR de 2 anos e de 13,4 mm para TR 200 anos para a projeção Reflorestamento. O aumento seria verificado no último cenário quando o escoamento superficial igual ou superior a 10 mm ocorreria a cada 20 anos ante 50 anos em 2003 e projeção APP e em 100 anos para a projeção Reflorestamento (Tabela 11).

Percentualmente, destacaria-se a simetria para um tempo de retorno de 25 anos entre as projeções APP e Pastagens. Esta apresentaria aumento de 27,5% enquanto aquela queda de 27,5%, para uma queda de 48,5% para a projeção Reflorestamento. (Tabela 12).

Tabela 11. Escoamento superficial (Pe) em milímetros para 2003 e as projeções para 2030 para um Tempo de Retorno (TR) de 2 a 200 anos para a sub-bacia Sete Voltas

TR (anos)	P (mm)	Pe (mm) 2003	Pe (mm) 2030 APP	Pe (mm) 2030 Refl.	Pe (mm) 2030 Past.
2	57,8	0,5	0,1	0,0	1,1
5	74,8	2,9	1,7	0,6	4,4
10	86,0	5,6	3,7	1,9	7,6
15	92,3	7,4	5,1	3,0	9,7
20	96,8	8,7	6,2	3,8	11,3
25	100,2	9,8	7,1	4,5	12,6
50	110,7	13,6	10,3	7,0	16,9
100	121,2	17,8	14,0	10,0	21,6
200	131,6	22,4	18,0	13,4	26,7

Tabela 12. Variação (%) do escoamento superficial (Pe) em milímetros para as projeções para 2030 quando comparados ao ano de 2003 para um Tempo de Retorno (TR) de 2 a 200 anos, sub-bacia Sete Voltas

TR (anos)	P (mm)	Pe (mm) 2003	Pe (mm) 2030 APP	Pe (mm) 2030 Refl.	Pe (mm) 2030 Past.
2	57,8	0,5	-82,2%	-93,6%	126,6%
5	74,8	2,9	-44,0%	-79,3%	48,6%
10	86,0	5,6	-34,4%	-65,5%	35,8%
15	92,3	7,4	-30,9%	-59,8%	31,5%
20	96,8	8,7	-28,9%	-56,5%	29,1%
25	100,2	9,8	-27,5%	-54,2%	27,5%
50	110,7	13,6	-24,2%	-48,4%	23,7%
100	121,2	17,8	-21,8%	-44,0%	21,0%
200	131,6	22,4	-19,9%	-40,5%	18,9%

O ajuste das projeções mantiveram-se próximas ao ajuste da curva ao escoamento superficial calculado para o ano de 2003 para a sub-bacia Sete-Voltas (Figura 5).

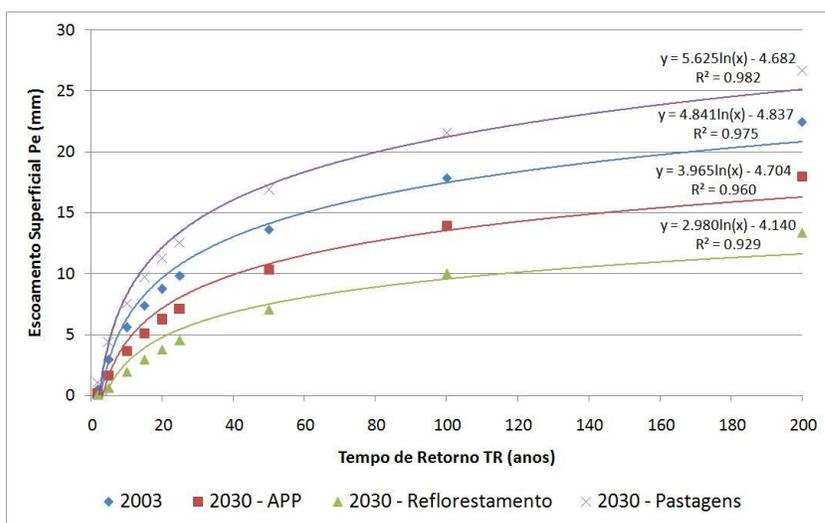


Figura 5. Representação gráfica do escoamento superficial para o ano de 2003 e as projeções APP, Reflorestamento e Pastagens para o ano de 2030, sub-bacia Sete Voltas.

4. Conclusões

Dentre os resultados mais significativos têm-se:

- a) o aumento da área ocupada pela Mata ou Capoeira entre 2003 e 2030, cenário APP, em 60,6%;
- b) para este cenário, reduções em 19,2%, 17,5% e 16,4% das áreas ocupadas pelas classe Pasto, Reflorestamento e Agricultura, respectivamente, reforçariam prognósticos quanto a intensificação de conflitos socio-econômicos;
- c) o aumento da infiltração potencial para o mesmo cenário em 12,9% para 264,95 mm, ante a queda de 10,3%, para 210,54 mm, para o cenário Pastagens;
- d) que um escoamento superficial igual ou superior a 10 milímetros obtido para um tempo de retorno de 50 anos em 2003 seria alcançado em 20 anos para a projeção Pastagens, os mesmos 50 anos para a projeção APP e em 100 anos para a projeção Reflorestamento.

Conclui-se que as projeções apontam para a redução do escoamento superficial da sub-bacia Sete Voltas em 2030 para valores inferiores aos de 2003 com a conservação das APP e consequente aumento da mata ou capoeira (vegetação secundária). O avanço da silvicultura do eucalipto reforçaria este comportamento, por mais que se trate de outra monocultura. Menos provável seria o avanço do manejo do gado bovino e o incremento do escoamento superficial, porém uma projeção factível em vista à tradição regional.

5. Referências

AB´SABER, A. N. **Domínios de natureza no brasil**: potencialidades paisagísticas. 2. ed. São Paulo: Ateliê, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do Rio Amazonas**: diagnóstico. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://margemdireita.ana.gov.br/autentica.asp?id_arquivo=128>. Acesso em: 11 jul. 2016.

AGUIAR, L.S.; TARGA, M. S.; BATISTA, G.T. **Estimativa do Escoamento Superficial e da Infiltração Potencial em Função da Modificação do Uso do Solo na Bacia do Ribeirão Itaim no município de Taubaté,SP**. V Mostra de Pós-Graduação, 18 a 21 de outubro de 2004. UNITAU, 2004. 21p.

BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; FIDALGO, E. C. C. Banco de dados ambientais da bacia do rio Una, bacia do Rio Paraíba do Sul. Taubaté, 2005. 16p. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/51/1/Projeto_Una_IBICT.pdf>.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Precipitações intensas no estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de solos do Brasil**: arquivo vetorial. Sistema de referência geográfica SIRGAS 2000. Escala 1:5.000.000. 2001.

_____. **Mapa de clima do Brasil**. Projeção policônica. Escala 1:5.000.000. 2002.

_____. **Mapa de biomas do Brasil**. Primeira aproximação. Projeção policônica. Escala 1:5.000.000. 2004.

_____. **Mapa de unidades de relevo**. Projeção policônica. Escala 1:5.000.000. 2012.

_____. **Cidades@**. Taubaté. Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=355410>>. Acessado em: 30 jun. 2016.

RASMUSSEN, E. M.; DICKINSON, R. E.; KUTZBACH, J. E. CLEVELAND, M. K. Climatology. In.: MAIDMENT, D. R. (Ed.) **Handbook of Hidrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

RAWLS, W. J.; AHUJA, L. R. BRAKENSIEK, D. L.; SHIRMOHAMMADI, A. Infiltration and soil water movement. In.: MAIDMENT, D. R. (Ed.) **Handbook of Hidrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

RODRIGUES, A. B.; SOUZA, G. T. A. M.; ANACLETO, L. M. O.; BARBOSA, N. R.; DIAS, V.; TARGA, M. S. O Florestamento na Conservação da Água em Bacia Hidrográfica. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, UNITAU, RECA, **Coleção de Recursos Hídricos**, ([HTTP://www.agro.unitau.br/dspace](http://www.agro.unitau.br/dspace)). P. 1-17, 2014.

SANTOS, E. R.; LEITE, C. R. S.; PERIM, M. A.; GONÇALVES, S. F.; TARGA, M. S. Urbanização Sustentável e o Escoamento Superficial em Bacia Hidrográfica. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, UNITAU, RECA, **Coleção de Recursos Hídricos**, ([HTTP://www.agro.unitau.br/dspace](http://www.agro.unitau.br/dspace)). P. 1-13, 2014.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa de precipitação excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte 1: Classificação, **Revista brasileira de recursos hídricos - RBRH**, v. 10, n. 4, out./dez. 2005, p. 5-8.

SILVA, P. M. de O. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG**. 2006. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2006.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In.: MAIDMENT, D. R. (Ed.) **Handbook of Hidrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGrawHill, 1979. 245 p. p. 1-107.