

Estudo da influência da urbanização na disponibilidade de água em bacias rurais: o caso do rio Verde – PR.

Ana Paula Kelm Soares (Universidade Federal do Paraná - UFPR), Cynara de Lourdes da Nóbrega Cunha (Departamento de Engenharia Ambiental - UFPR), Sony Cortese Caneparo (Departamento de Geografia - UFPR)

#### Abstract

Land use has a strong influence on the hydrological processes of watersheds, thus, changes in land use can cause modifications in the amount of the stream water. The aim of this study is to evaluate the influence of these changes in the flow of the Verde river, located in the metropolitan region of Curitiba, Paraná, Brazil. The Verde river basin is essentially rural, and in recent decades has undergone a process of deforestation due to agricultural expansion and urbanization. The flow of the Verde river was simulated by the model SWAT (Soil and Water Assessment Tool), using land use maps prepared for the years 1976, 2000 and 2009, and reclassified into three classes: vegetation, urban areas and water bodies. The flow data were calibrated using the land use of 2009, with flow data measured during the same year. Later the same calibrated parameters were used with the land use of 1976, 2000 and 2009. It was noted that the urbanization of the watershed causes increase of flow, but this variation is not significant.

Water availability, rio Verde, SWAT

#### Introdução

Mudanças no uso do solo provocam variados impactos sobre o ciclo hidrológico, modificando a evapotranspiração da bacia, a capacidade de infiltração, variando o volume infiltrado, alterando a retenção da água precipitada na copa das árvores, entre outros. Estes fatores influenciam tanto a vazão média, quanto as vazões máximas e mínimas. O conjunto de impactos sobre o ciclo hidrológico e suas interações podem ser bastante complexo, o que dificulta a previsão dos reais impactos da mudança de uso do solo sobre a vazão.

Estudos mostram que o desmatamento provoca, em geral, aumento da vazão. O estudo realizado por Hibbert (1967), apud Bosh e Hewlett (1982), realizado em 39 bacias experimentais localizadas em diversos países, mostrou que a redução na cobertura florestal provoca o aumento da vazão média. Estudos complementares realizados em bacias experimentais mostraram a mesma tendência (Bosh e Hewlett (1982) e Bruijzeel (1990)). Bosh e Hewlett (1982) mostram ainda que não é possível detectar influência na vazão média quando o desmatamento é menor que 20%. Este aumento na vazão é atribuído à diminuição na evapotranspiração provocado pelo desmatamento (TUCCI & CLARKE, 1997).

Estudos realizados em bacias hidrográficas brasileiras também mostram que a retirada da cobertura florestal provoca o aumento da vazão. Müller et al (1998) mostram uma síntese de estudos realizados na bacia do rio Paraná, com ênfase nas regiões próximas à usina de Itaipu. Foram utilizadas diversas técnicas estatísticas, aplicadas às séries históricas disponíveis. Concluiu-se que houve aumentos significativos de vazão e precipitação desde o ano de 1970 e que, aparentemente, o aumento da vazão é devido aos efeitos conjuntos do aumento da precipitação e diminuição da evapotranspiração. O aumento da precipitação pode justificar o aumento da vazão em regiões à montante da área de estudo, porém, para as regiões mais à jusante, essa justificativa é incompatível, indicando que outros fatores como a mudança do uso do solo tenham interferido no processo.

Segundo Tucci et al (1997), estudos realizados até então foram feitos em bacias com poucos hectares. Além disso, a literatura não apresenta resultados consistentes sobre o assunto. Portanto, ainda existem dúvidas se esse mesmo impacto pode ser extrapolado para bacias maiores.

Este trabalho avalia a influência do desmatamento e da urbanização de uma bacia pequena sobre a vazão, para uma região predominantemente rural. O estudo foi desenvolvido na bacia do rio Verde, localizada entre os municípios de Araucária, Campo Largo, Campo Magro, na parte oeste da Região Metropolitana de Curitiba, estado do Paraná, Brasil. A bacia do rio Verde está inserida na bacia do Alto-Iguaçu, uma importante região de mananciais de abastecimento da água. Entre 1974 e 1976, o rio Verde foi barrado pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) para criação de um reservatório que forneceria água a Refinaria

Presidente Vargas - REPAR, localizada no município de Araucária. Atualmente a REPAR e a SANEPAR (Empresa de Saneamento do Paraná) possuem outorga para captação da água do reservatório, sendo que esta utiliza a água para abastecimento público. Esta bacia hidrográfica vem sofrendo nas últimas décadas com o desmatamento devido a expansão de culturas agrícolas e da urbanização.

Para a simulação da vazão foi utilizado o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). O modelo foi desenvolvido pelo USDA, *Agricultural Research Service* (ARS), com o objetivo de analisar os impactos da utilização da terra no escoamento superficial e subterrâneo, na produção de sedimentos, e na qualidade da água. É um modelo de parâmetros espacialmente distribuído: a bacia é dividida espacialmente em HRUs (Unidades de Resposta Hidrológica), definidas como áreas com combinação de uso do solo, tipo de solo e declividade, assim assume-se que cada HRU possui a mesma resposta hidrológica. O modelo é integrado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) através da interface ArcGis®. O SWAT calcula para cada exutório determinado pelo usuário a vazão e as cargas de variáveis relacionadas à qualidade da água, tais como nitrogênio, fósforo, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, sedimento, pesticidas, bactérias e metais.

Dentre as principais vantagens do modelo SWAT está a possibilidade de se fazer simulações para diferentes cenários de ocupação do solo. O SWAT também é computacionalmente eficiente, sendo possível realizar simulações em grandes bacias por um período longo de tempo. A versão SWAT2005 também possui as ferramentas de Análise de Sensibilidade e Auto-Calibração dos parâmetros, o que facilita a calibração do modelo.

Para avaliar a influência das mudanças de uso do solo foram desenvolvidos mapas de uso do solo para os anos de 1976, 2000 e 2009. A integração do modelo SWAT com uma interface GIS foi fundamental para essa análise. Os dados de vazão foram calibrados para o conjunto de informações referentes ao ano de 2009, e os mesmos parâmetros obtidos e dados meteorológicos foram utilizados para simulação da vazão dos cenários de uso do solo referentes aos anos de 1976 e 2000.

## Metodologia

Para realização do estudo foi necessário primeiramente desenvolver três mapas de uso do solo, correspondentes aos anos de 1976, 2000 e 2009, com a mesma classificação de uso do solo. Em seguida o modelo SWAT foi implementado. A Figura 1 mostra a localização da bacia e os municípios nos quais ela está inserida.

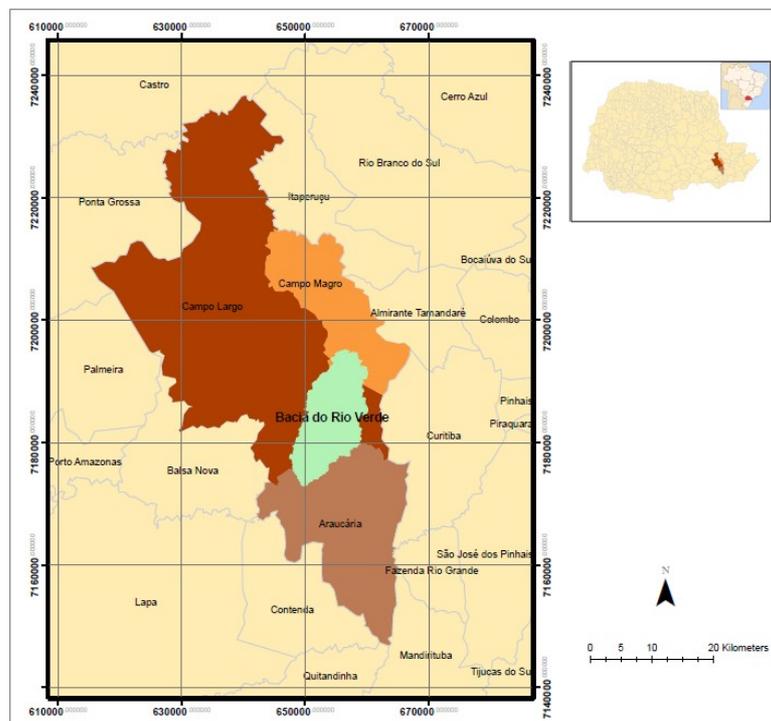


Figura 1 – Localização da área de estudo

Os mapas de uso do solo da bacia do rio Verde (1:50.000) foram obtidos a partir do cruzamento de mapas temáticos de Cobertura Vegetal e Uso da Terra, gerados a partir das seguintes fontes:

- Cartas Topográficas de 1976, escala 1:10.000, Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC).
- Planos de informações da Cobertura Vegetal e Uso da Terra – 2000, Instituto das Águas do Paraná (antiga SUDERHSA). Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br>>.
- Plano de informação da Cobertura Vegetal - 2009, elaborado pelo Profº. Drº. Carlos Roderjan (Curso de Engenharia Florestal da UFPR), para o Projeto Interdisciplinar de Pesquisa sobre Eutrofização no Reservatório Rio Verde em Araucária - UFPR.

Após a confecção dos mapas de uso do solo, foi realizada uma nova classificação, para melhor comparação entre os cenários. Foram utilizadas três classes: vegetação, área antropizada e corpos d'água. Os mapas com a distribuição do uso do solo são mostrados na Figura 2, e a Tabela 1 mostra a evolução temporal das áreas ocupadas por cada classe.

Observa-se no ano de 1976, as áreas com vegetação representavam a maior parte da bacia (51,87%), sendo que em 2000 as áreas com vegetação diminuíram para 39,52% da área total, havendo um pequeno aumento para 41,76% no ano de 2009. O aumento de 7,88Km<sup>2</sup> na área ocupada por água entre os anos 1976 e 2000 se deve à criação do reservatório, ocorrida neste período. Observa-se ainda que, a partir dos anos 2000, a ocupação predominante na bacia é de áreas antropizadas, passando de 47,43% em 1976, para 56,48% em 2000, e finalmente para 55,10% em 2009. Na Figura 2 observa-se que a região central da bacia, que antes possuía vasta cobertura vegetal, foi praticamente toda antropizada durante este período.

Tabela 1 – Valores de áreas correspondentes às classes de ocupação: áreas com vegetação, antropizadas e corpos d' água; nos anos de 1976, 2000 e 2009, para a bacia do rio Verde.

Legenda	Áreas em 1976		Áreas em 2000		Áreas em 2009	
	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%
Vegetação	123,89	51,87	94,39	39,52	99,74	41,76
Áreas antropizadas	113,28	47,43	134,90	56,48	131,56	55,10
Corpos d'Água	1,69	0,70	9,57	4,00	7,56	3,14
Total	238,86	100	238,86	100	238,86	100

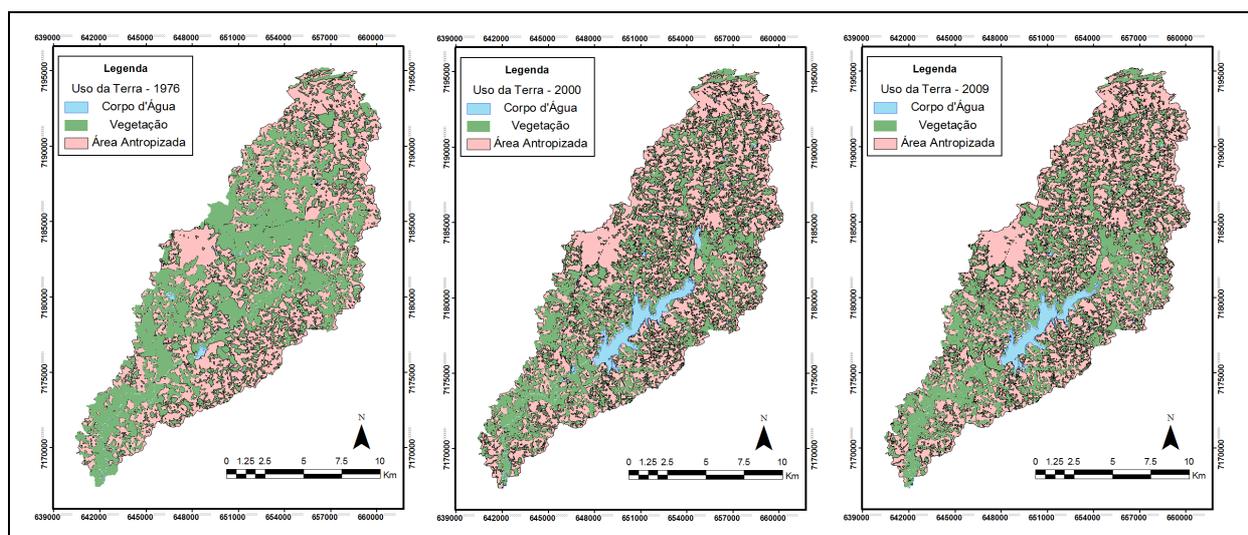


Figura 2 – Distribuição espacial do uso do solo para os anos de 1976, 2000 e 2009, para a bacia do rio Verde.

Após a obtenção dos mapas de uso do solo, foi realizada a simulação da vazão com o modelo SWAT. Para a simulação foram utilizadas informações de topografia, ocupação do solo, tipo de solo e clima, e dados meteorológicos. A topografia é dada pelo Modelo Digital do Terreno (MDT), necessário para a obtenção dos contornos da bacia, das sub-bacias e a rede de drenagem. Os dados meteorológicos utilizados foram: precipitação, umidade relativa, radiação solar, temperatura do ar, e velocidade do vento.

Os mapas utilizados na simulação do modelo SWAT foram:

- Modelo Digital de Elevação (DEM) Bacia do Alto Iguaçu. 2000. Instituto das Águas do Paraná. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br>>
- Hidrografia Bacia do Alto Iguaçu. Escala 1:10.000. 2000b. Instituto das Águas do Paraná, dados do IPPUC e PARANACIDADE. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br>>
- Mapa de Solos do Paraná. 1999. EMBRAPA/EMATER. Escala 1:600.000. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br>>
- Mapas de uso do solo obtidos para 1976, 2000 e 2009.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial dos tipos de solo presentes na bacia do rio Verde e a Tabela 2 os valores das áreas correspondentes ao tipo de solo. Observa-se que a maior parte da bacia é coberta por solo do tipo podsólico vermelho-amarelo álico (60.017%). Os parâmetros de uso do solo utilizados já estão presentes neste banco de dados, porém os tipos de solo encontrados no banco diferem totalmente das classes encontradas na bacia em estudo, as quais seguem a classificação brasileira. Portanto foi necessário adicionar estes parâmetros ao banco de dados. Estes foram determinados a partir das porcentagens de argila, silte e areia, carbono orgânico e densidade do solo encontrados em Embrapa (1984), utilizados para calcular os valores da condutividade hidráulica saturada, da capacidade de água do solo e do fator de erodibilidade.

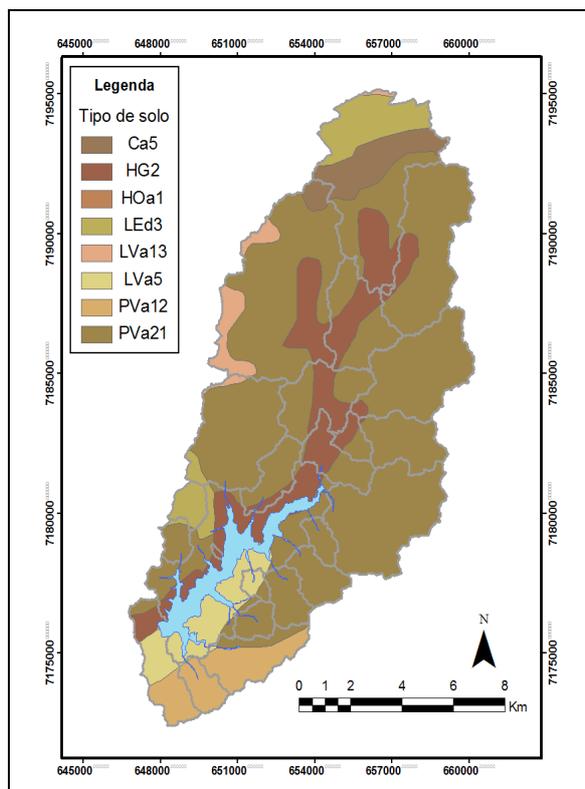


Figura 3 – Distribuição espacial dos tipos de solo da bacia do rio Verde.

Tabela 2 – Áreas correspondentes aos tipos de solo da bacia do rio Verde.

Tipo de solo	Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
HOa1	Solo orgânico	0.001	0.001
LVa13	Latossolo vermelho-amarelo álico	0.204	0.119
LEd3	Latossolo vermelho-escuro distrófico	3.210	1.874
LVa13	Latossolo vermelho-amarelo álico	3.568	2.083
PVa21	Podsolóico vermelho-amarelo álico	4.356	2.542
LEd3	Latossolo vermelho-escuro distrófico	6.005	3.505
Ca5	Cambissolo álico	6.513	3.802
PVa12	Podsolóico vermelho-amarelo álico	8.791	5.131
LVa5	Latossolo vermelho-amarelo álico	9.618	5.614
HG2	Glei pouco húmico distrófico	26.233	15.312
PVa21	Podsolóico vermelho-amarelo álico	102.821	60.017
Total		171.32	100.00

Utilizando o programa *Splintex* (PREVEDELLO, 2000), foram obtidos os valores da condutividade hidráulica saturada, da umidade residual ( $\theta_r$ ), da umidade de saturação ( $\theta_s$ ), e dos coeficientes  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  da equação de van Genuchten (Equação 1). Para tanto, foi necessário informar a granulometria e a densidade do solo.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha \Phi_m)^n)^m} \quad (1)$$

A partir da equação de van Genuchten e dos coeficientes fornecidos pelo *Splintex*, foi possível calcular a umidade na capacidade de campo e umidade no ponto de murchamento substituindo  $\Phi_m$  por 15000cmH<sub>2</sub>O e 330cmH<sub>2</sub>O respectivamente. A subtração dos dois valores de  $\theta$  encontrados resulta na capacidade de água do solo. O fator de erodibilidade do solo foi calculado utilizando a equação proposta por Williams (1995) apud Neitsch (2005), utilizando os teores de argila, silte, areia e carbono orgânico. Para os demais parâmetros não encontrados no levantamento (albedo, densidade aparente e porosidade) foram adotados os valores obtidos por Baldissera(2005).

Os dados meteorológicos utilizados na simulação foram obtidos a partir de estações meteorológicas localizadas na bacia hidrográfica do rio Verde. A Tabela 3 mostra a localização das estações meteorológicas, o período e as variáveis disponíveis. Todas as estações fornecem dados com frequência de 15 minutos. Os dados da estação Bom Jesus da Aldeia foram fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná. Os demais dados foram fornecidos pelo “Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de Águas do Reservatório Rio Verde”.

Tabelas 3 - Estações meteorológicas localizadas na bacia hidrográfica do rio Verde utilizadas: coordenadas UTM (SAD 69 22S), variáveis e período de dados disponíveis para a simulação.

Estação	E (m)	N (m)	Variáveis	Período disponível
Estação Barragem	647954	7175905	Precipitação Velocidade do vento Temperatura máxima Temperatura mínima Umidade relativa Radiação solar	2/10/2008 à 31/12/2010
Estação Haras Rio Verde	654470	7183552	Precipitação Velocidade do vento	22/01/2009 à 07/07/2010
Bom Jesus da Aldeia	653540	7185257	Precipitação	18/08/1999 à 31/12/2010

O modelo SWAT associa a cada sub-bacia apenas uma estação de precipitação, umidade relativa, radiação, velocidade do vento e temperatura máxima e mínima. A Figura 4 mostra a localização das estações meteorológicas utilizadas e as sub-bacias consideradas pelo SWAT. A estação Bom Jesus da Aldeia foi associada à cabeceira da bacia. Para as sub-bacias localizadas entre as estações Barragem e Haras Rio Verde, a precipitação foi ponderada pela distância segundo a Equação (2).

$$P_{sub} = \frac{P_{est1} d_{sub/est1}^2 + P_{est2} d_{sub/est2}^2}{d_{sub/est1}^2 + d_{sub/est2}^2} \quad (2)$$

onde  $P_{sub}$  é a precipitação na sub-bacia,  $P_{est1}$  e  $P_{est2}$  são respectivamente os valores de precipitação medidos nas estações 1 e 2, e  $d_{sub/est1}$  e  $d_{sub/est2}$  são as distâncias entre o centro da sub-bacia e as estações 1 e 2 respectivamente. Os índices *est1* e *est2* referem-se às estações Barragem e Haras Rio Verde.

O SWAT possui um banco de dados com dados estatísticos de estações meteorológicas da região. Um gerador climático presente no SWAT utiliza estes dados para gerar dados meteorológicos caso estes não sejam fornecidos ou haja falha nos dados inseridos. Os parâmetros climáticos foram calculados com 10 anos de dados observados. A estação utilizada foi a Curitiba, com dados fornecidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR (cód: 25264916; Lat: -25.4333; Long: -49.2666, SAD69).

Para calcular a máxima chuva de 0,5h (RAINHHMX) foi utilizado o Método das Relações de Duração. A relação entre durações são obtidas pela seguinte expressão (TUCCI, 1993):

$$\frac{r_{t1}}{t2} = \frac{\text{intensidade de duração } t1}{\text{intensidade de duração } t2} \quad (3)$$

Segundo CETESB (1986) as relações encontradas entre as alturas pluviométricas para períodos de retorno de 2 à 100 anos são próximos, portanto a média aritmética do conjunto destes valores é bastante representativa. Já que os dados disponíveis eram horários, selecionou-se para cada estação a máxima precipitação durante todo o período de medição separadamente para cada mês. O valor da relação entre alturas pluviométricas com duração de 30 minutos e 1h no Brasil é 0.74 (TUCCI, 1993). O valor de RAINHHMX foi calculado multiplicando-se a precipitação máxima de 1h por este valor.

Apenas a bacia de contribuição ao reservatório foi analisada. A bacia hidrográfica do rio Verde foi dividida em 24 sub-bacias. Na Figura 3 são apresentadas as 24 sub-bacias e a sub-bacia 9, onde os dados de vazão foram calibrados. Neste sub-bacia existe um monitoramento contínuo dos dados de vazão. A simulação foi realizada desde janeiro de 2005, porém a calibração foi feita entre o período de 22/jan/09 a 03/out/09. Esta calibração foi usada nos demais cenários: 1976 e 2000.

A calibração dos dados de vazão foram feitas primeiramente de modo manual, para então ser usada a ferramenta de auto-calibração do SWAT. A mesma calibração foi aplicada às demais sub-bacias, e posteriormente aos demais usos do solo. A Tabela 4 mostra os valores dos parâmetros usados na calibração do conjunto de dados da bacia do rio Verde no ano de 2009.

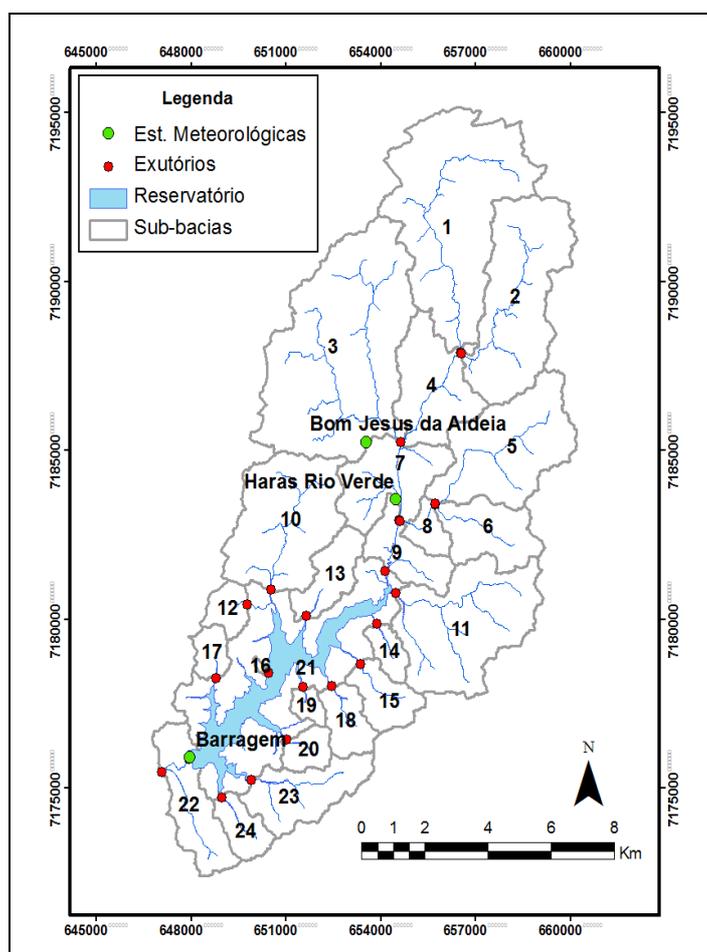


Figura 4 – Localização das estações meteorológicas e a distribuição das 24 sub-bacias na bacia do rio Verde.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros usados na calibração do conjunto de dados da bacia do rio Verde no ano de 2009.

Parâmetro	Descrição	Método	Valor
Alpha_Bf	Constante de recessão para o fluxo de base	Substituir	0,026442
Canmx	Máximo armazenamento do dossel	Substituir	3,8102
Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal	Substituir	21,978
Ch_N2	Coefficiente de Manning para o canal principal	Substituir	0,24508
Cn2	Curva número	Multiplicar	-11,0445
Esco	Fator de compensação de evaporação do solo	Substituir	0,46815
Gw_Delay	Delay para águas subterrâneas	Somar	3,9916
Gw_Revap	Variável que controla a quantidade de água que se move do aquífero para a zona de raízes	Somar	-0,01387
Gwqmn	Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer o retorno do fluxo	Somar	559,85
Revapmn	Profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer percolação	Somar	-41,834
Slope	Declividade média da sub-bacia	Multiplicar	24,339
Sol_Awc	Capacidade de água disponível na camada de solo	Multiplicar	-16,675
Sol_K	Condutividade hidráulica saturada	Multiplicar	25,0
Sol_Z	Altura da superfície do solo ao fundo da camada	Multiplicar	4,1384

## Descobertas e Discussões

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos pelo SWAT durante o período de calibração. Observa-se uma boa concordância entre os valores observados (medidos) e os valores obtidos pelo SWAT. O coeficiente de Nash-Sutcliffe obtido na simulação foi de 0,79. É possível afirmar que o modelo foi capaz de reproduzir os picos de vazão ocorridos nos períodos de cheia; nos períodos de seca, o modelo apresentou maiores distorções.

Os modelos numéricos são particularmente úteis quando são usados como ferramenta de comparação. Se a mesma base de dados é usada, é possível comparar alternativas, mesmo que os resultados numéricos não sejam necessariamente exatos. Neste sentido, os modelos chuva-vazão têm papel importante na definição dos impactos que a mudança de uso do solo provoca nos valores de vazão, e no estudo da melhor solução de estratégia de ocupação.

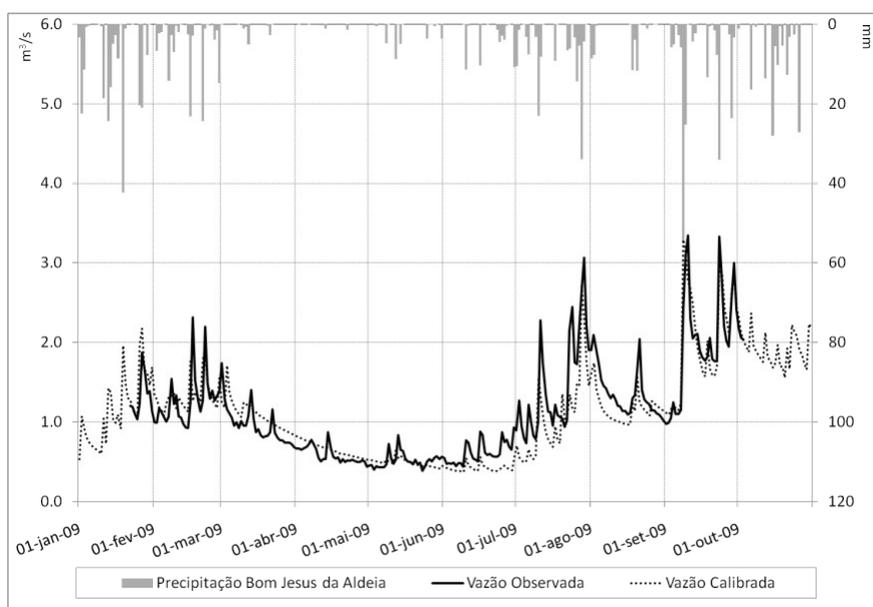


Figura 5 – Vazões observada e calibrada da sub-bacia 9; e precipitação da estação Bom Jesus da Aldeia.

Com o objetivo de verificar a influência do uso do solo sobre os valores de vazão na sub-bacia 9, foram desenvolvidos duas simulações, para o ano de 1976 e 2000. Foi usada a mesma base, ou seja, todos os parâmetros do modelo foram mantidos, inclusive a mesma chuva; apenas o uso do solo foi alterado nestas duas simulações. A Figura 6 mostra a comparação entre os resultados obtidos para a vazão nos anos de 1976, 2000 e 2009 para o período de calibração. As datas tomam por referência os dados de chuva. A Figura 7 mostra a média mensal das vazões obtidas. Observa-se que as menores vazões ocorrem para o uso de solo de 1976, quando as áreas com ocupação antrópica eram menores. Em 2000, ano em que a ocupação antrópica foi máxima, os valores de vazões foram os maiores, havendo uma pequena diminuição da vazão no ano de 2009, provocada pela pequena diminuição de áreas urbanizadas ocorrida neste ano. Porém essa diferença não parece ser significativa. Comparando com o ano de 2009, a vazão em 1976 foi em média 1,24% menor, o que representa uma perda de aproximadamente 35.700m<sup>3</sup> de água por mês. A vazão no ano de 2000 foi apenas 0,25% maior que em 2009, mostrando que a diferença entre estes dois cenários é muito pequena.

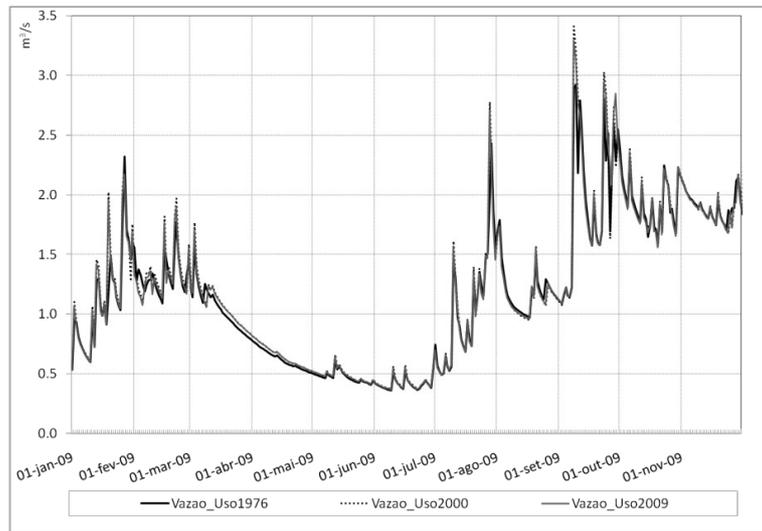


Figura 6 – Comparação dos valores de vazão obtidos pelo SWAT para os três cenários entre 01/jan e 30/nov para a sub-bacia 9.

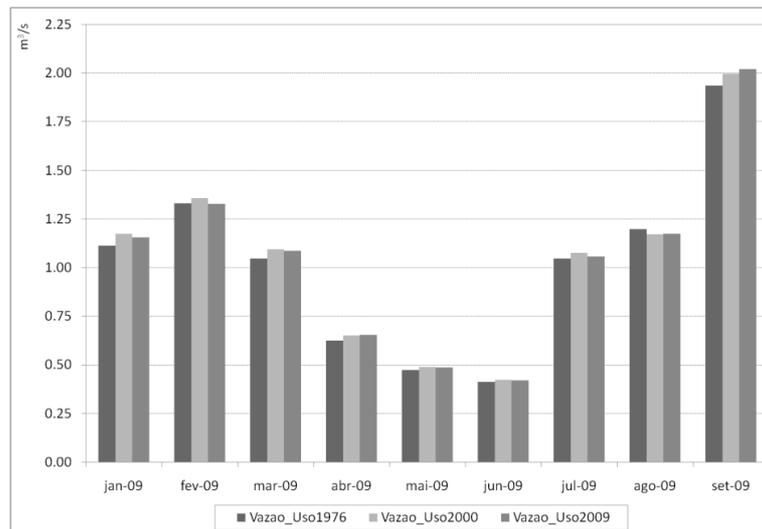
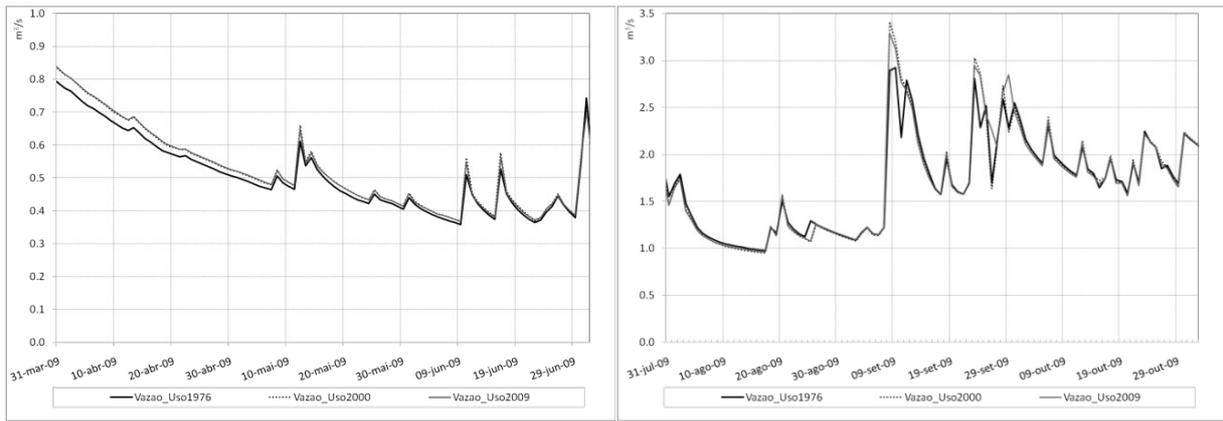


Figura 7 – comparação entre as médias mensais dos valores de vazão obtidos pelo SWAT para os três cenários entre jan/09 e set/09 para a sub-bacia 9.

A Figura 8 mostra em detalhe das vazões obtidas pelo SWAT no período de seca e de cheia. Observa-se que há diferenças significativas entre as vazões no período de seca, quando o escoamento de base é predominante. Também ocorrem diferenças significativas no período de cheia, quando o escoamento superficial é significativo.

Observa-se ainda que, para os picos de cheia, as mudanças de usos do solo que ocorreram entre 1976 e 2009 fizeram com que as vazões de pico aumentassem provavelmente provocadas pela maior impermeabilização da área. Neste sentido, os processos de impermeabilização não modificaram a propagação da onda de cheia no canal, apenas aumentaram o volume de água que foi para a calha principal do rio. Em relação ao escoamento de base, observam-se as maiores diferenças, ou seja, nesta situação a recarga do lençol é favorecida nos anos de 2000 e 2009.



(a) Período de seca (31/mar/09 e 01/jul/09)

(b) Período de cheia (31/jul/09 e 01/nov/09)

Figura 8 – dos valores de vazão obtidos pelo SWAT para os três cenários para períodos de seca (esquerda) e cheia (direita) na sub-bacia 9.

A Figura 9, a Figura 10 e a Figura 11 mostram o somatório das contribuições de todas as sub-bacias a montante do exutório da sub-bacia 9 (sub-bacias 1 à 9) da evapotranspiração, do escoamento superficial e do escoamento de base acumulados para cada mês, entre janeiro e novembro. Observa-se que a evapotranspiração diminui quando a bacia se torna mais urbanizada, ao mesmo tempo em que o escoamento superficial aumenta. Ou seja, a urbanização provoca um aumento do volume que irá escoar para a calha do rio. O escoamento de base não possui um padrão de variação: ocorre um aumento nas épocas de estiagem e uma diminuição nas épocas de cheia. Certamente esta é a parcela do ciclo hidrológico mais difícil de ser modelada, dada à heterogeneidade das variáveis do solo. Sendo assim, é pouco provável que o SWAT possa ser usado para avaliar este volume.

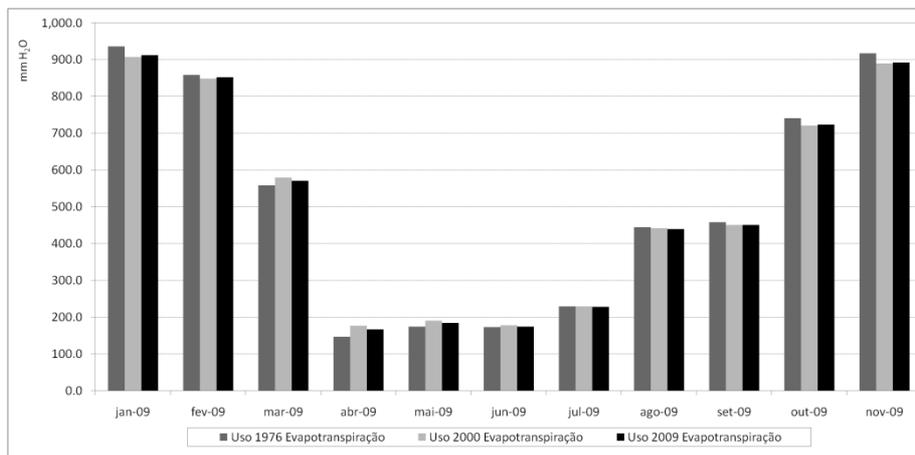


Figura 9 – Comparação dos valores acumulados de evapotranspiração em toda a área de contribuição ao exutório da sub-bacia 9.

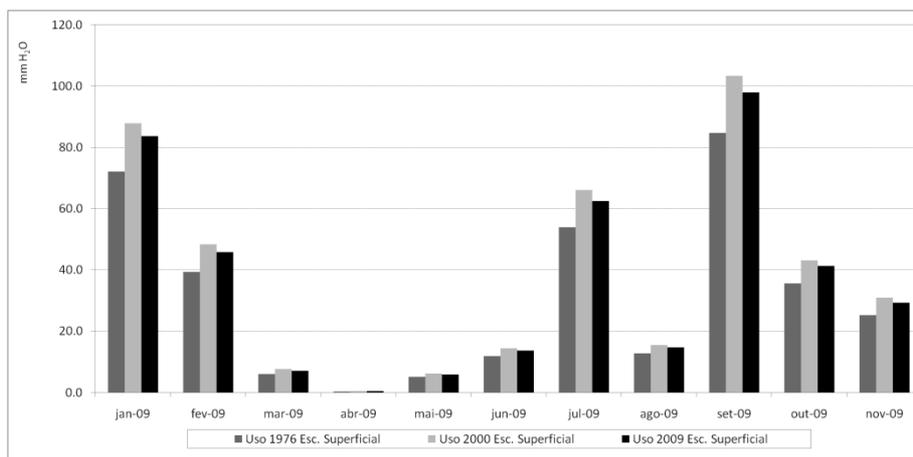


Figura 10 – Comparação dos valores acumulados de escoamento superficial em toda a área de contribuição ao exutório da sub-bacia 9.

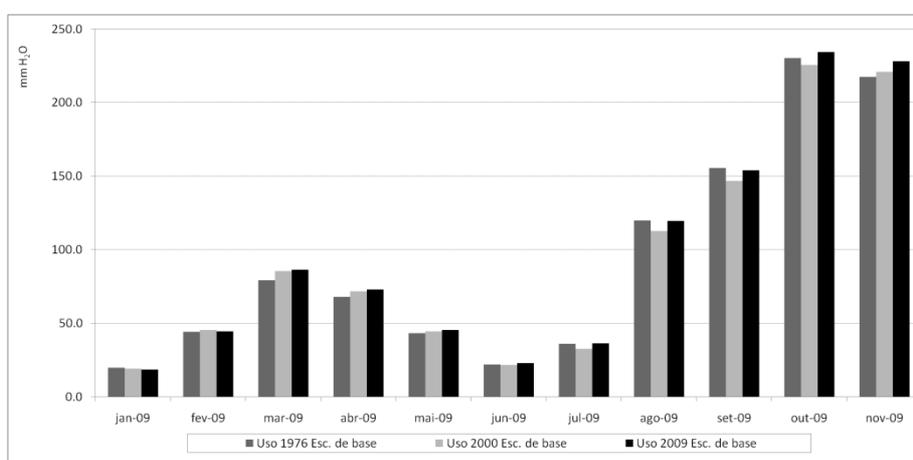


Figura 11 – Comparação dos valores acumulados de escoamento de base em toda a área de contribuição ao exutório da sub-bacia 9.

A Figura 12 mostra a diferença entre os valores da evapotranspiração, e dos escoamentos superficial e de base considerando como base o ano de 2009 em relação ao ano de 1976. Observa-se que a maior influência na variação na vazão é a evapotranspiração, seguido do escoamento superficial. Observa-se também que há variações ao longo do ano: entre os meses de março e junho, meses em que ocorreram as menores chuvas, a evapotranspiração foi superior no ano de 2009, enquanto no restante do ano a evapotranspiração foi superior em 1976. Em relação ao escoamento de base, verificou-se a falta de padrão como já mencionado anteriormente.

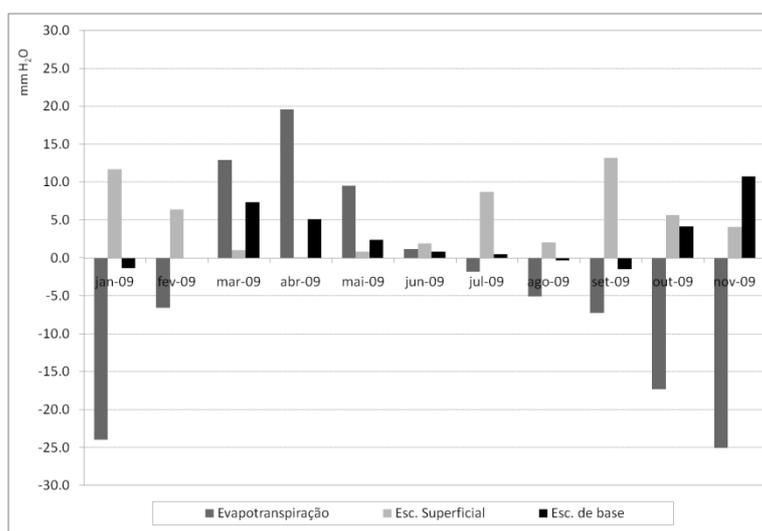


Figura 12 – Diferença entre os valores de evapotranspiração, do escoamento superficial e do escoamento de base entre 2009 e 1976.

## Conclusões

Mudanças no uso do solo provocam impactos sobre o ciclo hidrológico nos seus diversos componentes. Porém a análise das reais conseqüências é bastante complexa, principalmente se for desejável uma avaliação quantitativa. No presente estudo o uso do modelo SWAT se mostrou uma ferramenta eficaz e versátil na avaliação e determinação destes impactos em bacias hidrográficas, principalmente no estudo de diferentes cenários de uso do solo em períodos em que não havia monitoramento da vazão. Os resultados apresentados mostraram que, quanto maior é a área antropizada na bacia, maior é a vazão. Esta variação é decorrente principalmente dos impactos sobre a evapotranspiração e o escoamento superficial. Porém os resultados mostraram que o aumento da vazão na bacia do Verde não é significativo para diferentes usos do solo, provavelmente por que as mudanças de uso entre 1976 e 2009 não foram suficientes para causar maiores impactos.

## Referência

BALDISSERA, G.C. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assussment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. Cuiabá, 2005. 144p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso.

BOSCH, J. M. ; HEWLETT, J. D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55:2-23.

BRUIJNZEEL, L. A., 1990. Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: A State os Knowledge Review. IHP. IAHS. UNESCO. 224p.

CETESB, 1986. *Drenagem Urbana: manual de projeto* – 3ª edição. São Paulo. 464 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná*, por Jorge Olmos I. Larach, Alcides Cardoso, Américo Pereira de Carvalho, Delcio Peres Hochmüler, Pedro Jorge Faloso e Moacyr de Jesus Raüen. Curitiba, EMBRAPA – SNLCS/ SUDESUL/ IAPAR, 1984.

MÜLLER, I. I.; KRÜGER, C. M.; KAVISKI, E.,(1998). Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(4).

NEITSCH, S. et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation, version 2005. January 2005.

PREVEDELLO, C. L. *SPLINTEX*. 2000.

TUCCI, C. E. M. 1993. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre : Ed. Da Universidade : ABRH : EDUSP.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. 1997 Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol 2. No.1. pp. 135-152.