



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciência

Faculdade de Engenharia

Fabício Pimenta da Cunha

**Avaliação do código florestal brasileiro no uso do solo e na recuperação dos
níveis de escoamento básico em micro-bacias rurais: Estudo de caso da
micro-bacia dos rios Santa Maria/Cambiocó**

Rio de Janeiro

2015

Fabício Pimenta da Cunha

Avaliação do código florestal brasileiro no uso do solo e na recuperação dos níveis de escoamento básico em micro-bacias rurais: Estudo de caso da micro-bacia dos rios Santa Maria/Cambiocó

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental – Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.



Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciene Pimentel da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Norberto Mangiavacchi

Rio de Janeiro

2015

Fabrcio Pimenta da Cunha

Avaliao do cdigo florestal brasileiro no uso do solo e na recuperao dos nveis de escoamento bsico em micro-bacias rurais: Estudo de caso da micro-bacia dos rios Santa Maria/Cambioc

Dissertao apresentada, como requisito parcial para obteno do ttulo de Mestre, ao Programa de Ps-graduao em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. rea de Concentrao: Saneamento Ambiental – Gesto Sustentvel de Recursos Hdricos.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Luciene Pimentel da Silva (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Norberto Mangiavacchi (Coorientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Adacto Benedicto Ottoni
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a Dr.^a Mnica de Aquino Galeano Massara da Hora
Faculdade de Engenharia – UFF

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

C972 Cunha, Fabrício Pimenta da.

Avaliação do código florestal brasileiro no uso do solo e na recuperação dos níveis de escoamento básico em microbacias rurais: estudo de caso da microbacia dos rios Santa Maria/ Cambiocó / Fabrício Pimenta da Cunha. – 2015.

98 f.

Orientador: Luciene Pimentel da Silva.

Coorientador: Norberto Mangiavacci.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental. 2. Microbacia - Legislação - Dissertações. 3. Recursos hídricos - Gestão - Dissertações. 4. Solo - Uso - Dissertações. I. Pimentel da Silva, Luciene. II. Mangiavacci, Norberto. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. VI. Título.

CDU 556.18

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

DEDICATÓRIA

Aos meus avós Aristides e Helena, *in memoriam*.

Ao meu pai Carlos Fernandes M. da Cunha e meu sogro Sebastião Braga, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus pela vida, por me propiciar tantas oportunidades e por colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas.

A minha Família principalmente minha mãe Célia Regina, por acreditar em todos em meus sonhos e me apoiar incondicionalmente nos caminhos que escolhi, ao meu Pai Carlos Fernandes (*in memoriam*) pela educação e valores que guardarei pelo resto de minha vida e transmitirei a meus filhos, aos meus irmãos Felipe e Janaina Pimenta pelo companheirismo, incentivo e alegria do convívio, que me deram força para enfrentar os desafios e obstáculos da vida, ao meu padrasto Evandro que sempre estava lá para ajudar no que fosse preciso, aos meus tios(as) e primos(as) que sempre foram espelho na minha vida.

O meu sogro Sebastião Braga (*in memoriam*), por me acolher, acreditar em meus ideais e me proporcionar momentos muito divertidos e importantes em minha vida, a minha sogra Maria de Lourdes, meus cunhados(as) e todos os meus novos primos e tios da família Braga pelo confiança e incentivo.

A minha esposa Maria Inês por ser parceira nos bons e maus momentos, por estar sempre ao meu lado incentivando e corrigindo, e por essa pessoa tão maravilhosa na minha vida, me tornando a cada dia uma pessoa melhor.

A minha orientadora Luciene Pimentel e meu co-orientador Norberto pelos seus valiosos conhecimentos, dedicação a minha formação durante todo o curso e incentivo na etapa final, ao Ms. Ernani Bellon pela sua disponibilidade e dedicação empreendidas na minha pesquisa.

Aos professores, funcionários do PEAMB e colegas de turma, em especial aos amigos Claudia, Joana, Leila e Moises vocês tornaram esta jornada mais amena e divertida.

À FINEP, FAPERJ e CNPq que financiaram projetos para o monitoramento da Bacia Experimental e Representativa de Santa Maria/Cambiocó do qual se beneficiou estes estudos.

RESUMO

CUNHA, Fabrício Pimenta da. *Avaliação do código florestal brasileiro no uso do solo e na recuperação dos níveis de escoamento básico em micro-bacias rurais: Estudo de caso da micro-bacia dos rios Santa Maria/Cambiocó*. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

A atual crise hídrica que afeta várias regiões brasileiras demonstra a emergência de planejar e gerir com maior eficiência os recursos hídricos. Ao mesmo tempo, o contexto do aquecimento global e das mudanças climáticas, suscita o aumento da resiliência das bacias hidrográficas. Sendo assim, o planejamento do uso e ocupação dos solos nas bacias tem impacto direto na capacidade de armazenamento, produção de água, na minimização dos efeitos da mudança do clima e no aumento da resiliência da bacia. O Brasil avançou na política de proteção dos recursos hídricos desde a promulgação do Código Florestal de 1965 e a sua atual revisão no ano de 2012. A atual legislação prevê áreas destinadas a preservação permanente (APP) em torno de nascente e rios, instituindo por lei áreas destinadas a preservação e a proteção dos recursos hídricos. Este trabalho tomou como objeto de estudo a região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, que enfrenta problemas relacionados a degradação dos solos e dos recursos hídricos. Observa-se que ano após ano se repetem as estiagens críticas na região, comprometendo muitas vezes o abastecimento aos moradores e as atividades agropecuárias, base da economia local. O objetivo deste trabalho foi simular os impactos nos recursos hídricos de dois cenários de uso e ocupação do solo, sobretudo utilizando a normatização imposta para as áreas de APP pelo código florestal, Lei 12.651/12. A metodologia envolveu a aplicação da técnica da simulação hidrológica, utilizando o modelo SWAT. Foram impostos dois cenários de uso e ocupação do solo: **Cenário 1** foi utilizado a restituição do uso do solo da micro-bacia com base em ortofotos em escala de 1:25.000, e no **Cenário 2** incluindo na base de dados de uso e ocupação do solo, as áreas de APP da micro-bacia. Foram utilizados na simulação hidrológica a base de dados de solos semidetalhados, climatológicos e hidrológicos, obtidos durante o desenvolvimento do projeto de “Gestão Participativa da Sub-bacia do Rio São Domingos” (GEPARMBH), na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó localizada no município de São José de Ubá/RJ. A análise dos hidrogramas de saída do modelo SWAT demonstraram, que apesar do modelo ter sido proposto para grandes bacias, demonstrou sensibilidade à inserção das áreas florestadas de APP na escala da micro-bacia (cenário 2). Observou-se no Cenário 2 em relação ao 1, um aumento na quantidade de água no perfil do solo de aproximadamente 3%. Conforme esperado, as taxas de evapotranspiração aumentaram, por causa da introdução de maiores espaços vegetados. Os volumes infiltrados aumentaram e os volumes de escoamento superficial foram reduzidos, levando em alguns casos ao amortecimento dos picos de vazão, sobretudo no período inicial de simulação. No entanto, observa-se que as áreas de APP introduzidas representaram uma alteração em termos de uso e ocupação solos de apenas 10% da área total da micro-bacia. E o processo de recuperação dos escoamentos de base na escala da micro-bacia não foi verificado. Dessa forma, pode-se concluir que a inserção das áreas de APP trariam benefícios mais contundentes para a conservação dos solos e da água, assim como controle da erosão. Os resultados obtidos poderão orientar o detalhamento de medidas de planejamento e gestão do uso e ocupação dos solos para a recuperação dos recursos hídricos da Região. Guardando as devidas especificidades, os resultados obtidos na pesquisa poderão orientar a simulação de

outros cenários e impactar positivamente o planejamento e gestão dos recursos hídricos de outras regiões hidrográficas que enfrentam problemas similares.

Palavras-chave: Modelo SWAT; Micro-bacia experimental; Gestão dos recursos hídricos, Área de Proteção Permanente (APP).

ABSTRACT

CUNHA, Fabrício Pimenta da. Evaluation of the Brazilian forest code in land use and recovery of base flow levels in rural watersheds: Case study of the watershed of the rivers Santa Maria and Cambiocó .2015. 98 f. Dissertation (Masters in Environmental Engineering) - Faculty of Engineering, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, in 2015.

The current water crisis that affects several regions shows the emergency plan and manage more efficiently the water. At the same time, global warming and climate change context, raises the increased resilience of river basins. Thus, the use planning and land use in the basin has a direct impact on storage capacity, water production, to minimize the effects of climate change and increasing the resilience of the basin. Brazil advanced in the policy of protection of water resources since the enactment of the Forest Code of 1965 and its current review in 2012. The current legislation provides areas for permanent preservation (APP) around spring and rivers, instituted by law areas for preservation and protection of water resources. This work took as its object of study to the Northwest region of Rio de Janeiro, facing problems related to land degradation and water resources. It is observed that year after year are repeated criticism droughts in the region, often compromising supplies to residents and agricultural activities, the basis of the local economy. The aim of this study was to simulate the impacts on water resources of two scenarios of use and land cover, especially using the regulation imposed in the areas of APP by the Forest Code, Law 12,651 / 12. The methodology involved the technique of application of hydrologic simulation using the SWAT model. It was imposed two scenarios of land use and occupation: Scenario 1 was used to refund the land use of the micro-basin based on orthophoto scale of 1: 25,000, and in Scenario 2 including the use of database and occupation soil, areas of APP micro-basin. Were used in hydrologic simulation based semidetailed soil data, climatological and hydrological produced during the project development "Participative Management of Sub-basin of the São Domingos" (GEPARMBH), the micro-basin of Santa Maria / located Cambiocó in São José de Ubá / RJ. The analysis of the SWAT model output hydrograph showed that although the model has been proposed for large basins, showed sensitivity to the insertion of APP forested areas in the range of micro-basin (scenario 2). It was observed in Scenario 2 compared to 1, an increase in the amount of water in the soil profile of approximately 3%. As expected, evapotranspiration rates increased because of the introduction of larger vegetated areas. The volume infiltrates and increased volumes of surface flow was reduced, leading in some cases to the flow of damping peaks, especially in the initial period of the simulation. However, it is observed that the areas of APP introduced represented a change in terms of land use and occupation of only 10% of the total area of the micro-basin. And the process of recovery of base flows in the range of micro-basin was not verified. Thus, it can be concluded that the insertion of APP areas would bring more compelling benefits for the conservation of soil and water, as well as erosion control. The results will guide the detailed planning and management measures, land-use for the recovery of water resources in the region. Guarding the necessary characteristics, the results obtained in the survey will guide the simulation of other scenarios and positively impact the planning and management of water resources in other river regions facing similar problems.

Keywords: Model SWAT; Experimental Watershed; water resources management, Permanent Protection Area (APP).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação dos principais componentes da fase terrestre do ciclo hidrológico.....	32
Figura 2 - Mapa de localização da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó.....	38
Figura 3 - Sede da antiga fazenda Valão da Areia	39
Figura 4 - Modelo digital de elevação MDE com hidrografia.....	41
Figura 5 - Mapa de solos da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó	42
Figura 6 - Gráfico do uso do solo da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó (Ano de 2006).....	43
Figura 7 - Mapa de uso do solo da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó (Ano de 2006)...	44
Figura 8 - Mapa Hidrográfico micro-bacia Santa Maria/Cambiocó.....	45
Figura 9 - Hidrograma da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó no período de 1/11/2005 a 14/02/2006.....	46
Figura 10 - Ortofoto da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó (ano de 2006).....	50
Figura 11 - <i>Layout</i> das janelas para <i>input</i> de dados do SWAT 2005.....	55
Figura 12 - <i>Layout</i> da janela <i>SWAT Project Setup</i>	57
Figura 13 - <i>Layout</i> da janela <i>Watershed Delineator</i>	58
Figura 14 - <i>Layout</i> da janela <i>HRU Analysis</i>	58
Figura 15 - <i>Layout</i> da janela <i>HRU Analysis</i>	59
Figura 16 - <i>Layout</i> da janela <i>Edit SWAT Input</i>	60
Figura 17 - <i>Layout</i> da janela <i>Edit SWAT Input</i>	61
Figura 18 - Comparação entre o uso do solo nos anos de 2001 e 2006.....	64
Figura 19 – Mapa de uso do solo da micro-bacia de Santa Maria /Cambiocó (ano 2006).....	65
Figura 20 - Gráfico de comparação entre o Uso do Solo sem as APP`s e com as APP`s...	66
Figura 21 - Mapa das Áreas de Proteção Ambiental (APP`s) da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó.....	69

Figura 22 - Hidrogramas observado e simulado (Cenário 1, Uso e Ocupação do Solo ref. 2006).....	70
Figura 23 - Dispersão das vazões diárias observadas/simuladas.....	71
Figura 24 - Vazões observadas e simuladas por Bellon (2014) e pelo autor (2015).....	71
Figura 25 - Vazões simuladas do cenário 1 e 2.....	74
Figura 26 - Taxas de evapotranspiração real simuladas para o cenários 1 e 2.....	75
Figura 27 - Quantidade de água no perfil do solo para o cenários 1 e 2.....	76
Figura 28 - - Quantidade de água percolada no solo abaixo da zona da raiz para cenários 1 e 2.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de tópicos selecionados: Código Florestal antigo (1965) x Novo Código Florestal (2012).....	26
Tabela 2 - Modelos hidrológicos de base física e de qualidade da água.....	29
Tabela 3 - Diagnostico de problemas da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó PEM – Rio Rural (adaptada pelo autor).....	48
Tabela 4 - Compatibilização dos dados de Uso do solo no modelo SWAT.....	62
Tabela 5 - Comparação entre o uso do solo nos anos de 2001 e 2006.....	64
Tabela 6 - Comparação entre o Uso do Solo sem as APP`s e com as APP`s.....	66
Tabela 7 - Uso do Solo na APP de Mata Ciliar.....	68
Tabela 8 - Classificação das simulações hidrológicas.....	72
Tabela 9 - Comparação entre o estudo de Bellon (2004) e o presente estudo.....	72
Tabela 10 - Comparação entre os Cenários 1 e 2 das vazões totais.....	74
Tabela 11 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das taxas de Evapotranspiração Real....	76
Tabela 12 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das quantidade de água no solo.....	77
Tabela 13 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das quantidade percolada no solo...	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALPHA_BF	Constante de recessão do escoamento de base
AnnAGNPS	<i>Annualized Agricultural Non-point Source</i>
ANSEWRS	<i>Area Non-point Source Watershed Environment Response Simulation</i>
ArcGIS	Software de Sistemas de Informações Geográficas da ESRI
ArcMap	Aplicativo do ArcGIS
ArcSWAT	Extensão SWAT para o ArcGIS
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BLAI	Índice do potencial máximo de área foliar
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CC	Capacidade de Campo
CH_K2	Condutividade efetiva do canal principal
CH_N2	Coefficiente de Manning do canal principal
CN	Curva Número
CN1	Curva Número para a condição I de umidade (solos secos)
CN2	Curva Número para a condição de umidade II (solos na CC)
CN3	Curva Número para a condição de umidade III (solos saturados)
CNOP	Curva Número (quando ocorre operação de manejo)
CREAMS	<i>Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management</i>
DHI	Instituição Internacional de Consultoria e Pesquisa em Água
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio de Janeiro
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPCO	Fator de compensação da remoção de água pelas raízes
EPIC	<i>Environmental Impact Policy Climate</i>
ESCO	Fator de compensação da evaporação do solo
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
GEPARMBH	Projeto Gestão Participativa da Sub-Bacia do Rio São Domingos
GLEAMS	<i>Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems</i>
GRASS	<i>Geographic Resources Analysis Support System</i>
GRHIP/UERJ	Grupo de Estudos de Hidrologia e Planejamento de Recursos Hídricos
GW_REVAP	Coefficiente de retorno da água para a zona não saturada
GWQMN	Profundidade mínima do aquífero raso para ocorrer o escoamento de base
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
HSPF	<i>Hydrological Simulation Program – FORTRAN</i>
HRU	<i>Hydrologic Response Unit</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LH	<i>Latin Hypercube</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
NSE	Coefficiente de Nash & Sutcliffe
OAT	<i>One-factor-At-a-Time</i>

OV_N	Coefficiente de Manning para o fluxo superficial
PARASOL	<i>Parameter Solutions</i>
PBIAS	Percentual de tendência bias
PEM	Plano Executivo da Micro-bacia
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PRMS	<i>Precipitation-Runoff Modeling System</i>
R ²	Coefficiente de Determinação
RCHRG_DP	Fração de água que percola para o aquífero profundo
REVAPMN	Profundidade mínima do aquífero raso para ocorrer “revap”
RMSE	Raiz do Erro Quadrático Médio
ROTO	<i>Routing Outputs to Outlet</i>
RL	Reserva Legal
RSR	Razão entre o RMSE e o desvio padrão das observações
SCFH	Sistema de Classificação Físico-Hídrica
SEAAPI	Secretaria de Estado de Agricultura, Abastecimento, Pesca e Desenvolvimento do Interior do Estado do Rio de Janeiro
SHE	Sistema Hidrológico Europeu
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SOL_AWC	Capacidade de água disponível no solo
SOL_Z	Profundidade da camada do solo
SSARR	<i>Streamflow Synthesis & Reservoir Regulation</i>
SSQ	Soma dos Quadrados dos Resíduos
SSQR	Soma dos Quadrados das Diferenças dos Resíduos Ranqueados
SURLAG	Coefficiente que controla o atraso do escoamento superficial
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>
SWRRB	<i>Simulator for Water Resources in Rural Basins</i>
TR-55	<i>Technical Release 55</i>
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
URH	Unidade de Resposta Hidrológica
WEPP	<i>Water Erosion Prediction Project</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
	Problemática e justificativa	13
	Objetivos geral e específicos	16
	Estrutura da dissertação	17
1	REFERENCIAL TEÓRICO	18
1.1	Bacias Experimentais e Representativas, e o planejamento de uso e ocupação do solo	18
1.2	Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto	21
1.3	Novo Código Florestal e Cenários de Mudanças Ambientais no território das bacias hidrográficas	24
1.4	Modelos Hidrológicos	27
1.4.1	<u>Classificação dos Modelos Hidrológicos</u>	30
1.5	Representação da fase terrestre do ciclo hidrológico em modelos hidrológicos	31
1.6	Integração do SIG com modelos hidrológicos	33
1.7	Modelo SWAT	36
2	METODOLOGIA	38
2.1	Caracterização da área de estudo	38
2.1.1	<u>Histórico da ocupação</u>	39
2.1.2	<u>Climatologia e pluviosidade</u>	40
2.1.3	<u>Geologia e Relevô</u>	40
2.1.4	<u>Tipos de Solos</u>	42
2.1.5	<u>Uso e ocupação do solo</u>	43
2.1.6	<u>Rede de drenagem e hidrologia</u>	44
2.2	Aspectos socioeconômicos	46
2.3	Classificação do Uso do Solo da micro-bacia	49
2.4	Geração das Áreas de Proteção Permanente (APP)	52
2.4.1	<u>Geração das APP's de Mata Ciliar</u>	52
2.4.2	<u>Geração das APP's de Entorno das Nascentes</u>	53
2.4.3	<u>Geração das APP's de Encosta</u>	53

2.4.5	<u>Geração das APP`s de Topo de Morro</u>	54
2.5	Cenários de uso e ocupação do solo e criação das URH para simulação no SWAT	54
2.6	Estruturação dos dados de entrada do SWAT	55
2.7	Desenvolvimento do projeto no modelo SWAT	61
2.7.1	<u>Discretização da micro-bacia</u>	61
2.7.2	62
	<u>Definição das Unidades de Resposta Hidrológicas – URH</u>	62
2.7.3	<u>Definição dos parâmetros climáticos</u>	63
2.7.4	<u>Simulação</u>	63
3	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
3.1	Resultado da classificação do uso e ocupação do solo	64
3.2	Geração das Áreas de APP da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó.	66
3.3	Análise do déficit de vegetação nas áreas de APP`s	68
3.3.1	<u>Déficit de vegetação em APP de mata ciliar</u>	68
3.3.2	<u>Déficit de vegetação em APP de nascente</u>	68
3.3.3	<u>Déficit de vegetação em APP de encosta</u>	69
3.3.4	<u>Déficit de vegetação em APP de topo de morro</u>	69
3.4	Resultados da simulação do cenário 1 (Uso e Ocupação do Solo Ref. 2006)	69
3.5	Resultados da simulação do Cenário 2 (Uso e Ocupação do Solo Ref. 2006 + APP`s)	73
4	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ...	79
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A – Descrição dos indicadores usados na avaliação de simulações hidrológicas	89
	APÊNDICE B – Dados dos solos da micro-bacia	91
	APÊNDICE C – Dados do gerador de clima da micro-bacia	92
	APÊNDICE D – Configuração dos parâmetros da micro-bacia	93
	APÊNDICE E – Relatório URH (Cenário 1 – Uso do solo 2006)	95
	APÊNDICE F - Relatório URH (Cenário 2 – Uso do solo 2006 + APP).	96

INTRODUÇÃO

Problemática e Justificativa

A pressão sobre os recursos hídricos na agricultura está associado ao crescimento demográfico ocorrido nas últimas décadas e a constante demanda de alimento. Somente no Brasil a população mais que duplicou nos últimos 50 anos, no censo demográfico de 1970 a população era de 93,1 milhões de pessoas, já no censo de 2010 a população era de 190,7 milhões (IBGE, 2010), o que demandou maior produção por alimentos e consequentemente maior utilização de água nas áreas agrícolas, para irrigar as lavouras.

O grande contrassenso que se observa é que para sanar a demanda crescente por alimentos advinda das grandes e médias cidades, a fronteira agrícola tem sido ampliada constantemente e com isso, são suprimidas grandes áreas de cobertura florestal do solo para dar lugar a lavouras, pastagens e até mesmo áreas de especulação imobiliária. Isso leva ao decréscimo das taxas de infiltração no solo das águas precipitadas, aumentando o escoamento superficial, a erosão nas bacias hidrográficas, a diminuição do fluxo de água no leito dos rios e dos fluxos das águas subterrâneas.

Estas mudanças ocorridas da cobertura original do solo, que passaram a dar lugar a atividades agrícolas e pecuárias, tem posto em xeque a própria sustentabilidade destas atividades, que sofrem com períodos cada vez mais frequentes de escassez hídrica, e com a qualidade cada vez pior das águas encontradas nos rios e poços (freáticos ou artesianos), que são utilizados para abastecimento das casas e consumo de suas famílias. A baixa qualidade da água encontrada nas áreas rurais, sendo elas superficiais ou subterrâneas é ocasionada devido ao uso indiscriminado de insumos agrícolas como pesticidas e herbicidas utilizados nas lavouras agrícolas.

Este desequilíbrio entre demanda e disponibilidade hídrica, ocasiona perdas significativas de produção e produtividade agrícola. Em decorrência do estresse hídrico das bacias hidrográficas, o que promove o desabastecimento de determinados produtos agrícolas e seus derivados no mercado, tem-se o aumento dos preços ao consumidor, contribuindo assim para a inflação agregada anual e a redução do poder de compra da população.

Sendo assim é de extrema importância investigar a relação da disponibilidade de água para agricultura e a cobertura vegetal presente no território da bacia hidrográfica, pois é a partir desta que poderá se identificar índices de infiltração, de fluxos laterais e superficiais,

entre outros componentes do ciclo hidrológico em sua fase terrestre e propor mudanças no uso do solo, para que se assegure a disponibilidade hídrica para atender as demandas agrícolas e de consumo humano.

Esta dissertação pretende investigar e analisar a íntima relação entre a disponibilidade de água para a agricultura e consumo, com a cobertura vegetal presente no território de uma micro-bacia representativa. A escolha de uma micro-bacia representativa foi para que os resultados deste estudo possam ser replicados, contribuindo para o planejamento da região no qual ela está inserida. A micro-bacia agrícola escolhida foi a de Santa Maria/Cambiocó no noroeste do estado do Rio de Janeiro, como área de estudo e investigação.

A micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó é considerada como micro-bacia representativa da região do noroeste fluminense, pois assim como esta região é caracterizada pela predominância climática característica de regiões áridas, pela baixa cobertura vegetal e grande população ocupada com a agricultura, sendo que esta região é a maior produtora de leite, café, tomate e outros insumos agropecuários do estado do Rio de Janeiro, e é a que mais sofre os efeitos da relação cobertura do solos e disponibilidade hídrica.

Historicamente a região foi degradada pelo uso intensivo e retirada das florestas nativas, para alimentar os fornos das indústrias que estavam se instalando no estado do Rio de Janeiro no final do século XIX e início do século XX, logo após a retirada de grande parte da cobertura vegetal da região, houve uma grande disseminação do cultivo do café que cobriu grande parte do território da região e a tornou um polo de atração de população e de empresários do setor cafeeiro, que elevaram os povoados ali existentes, para o status de cidades pequenas e de médio porte, com grande desenvolvimento econômico.

Com a crise do café nos anos 30 e 40 do século passado, o noroeste fluminense sofreu um grande esvaziamento de investimentos e população, sua economia passou a ser baseada na pecuária extensiva o que tornaria a região ainda mais degradada pelo pisoteio do gado em área já expostas a erosão, agravando assim os problemas de infiltração da água para os lençóis freáticos e aquíferos da região, dos processos erosivos como a perda de solo fértil e assoreamento dos rios decorrente das grandes erosões observadas na paisagem regional como ravinas e voçorocas.

Pode-se dizer que o estudo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó representativa da região noroeste é fundamental para entender a dinâmica da região, seus resultados podem ser replicados no planejamento e tomada de decisão em micro-bacias semelhantes em toda a região Noroeste Fluminense, respeitando e observando atentamente as características próprias de cada localidade.

A micro-bacia representativa de Santa Maria/Cambiocó é alvo de investigação do GRHIP/UERJ há alguns anos, pesquisadores como Bellon (2014), que aplicou o modelo de chuva-vazão SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na micro-bacia e com uma análise detalhada demonstrou a eficácia do modelo para micro-bacias pequenas e médias, pois o mesmo foi pensado e desenvolvido para grandes bacias. Moraes (2007) estudou o balanço hídrico e estimativa hídrica mensal com a implantação e operação do monitoramento meteorológico e hidrossedimentológico, e Ottoni (2005) propôs a classificação físico-hídrica dos solos da micro-bacia (BELLON, 2014).

Com base nos dados obtidos pelas pesquisas mencionadas anteriormente, em instituições de ensino e pesquisa, e órgãos governamentais com o objetivo de gerir e planejar o território das bacias hidrográficas, propõe-se utilizar o modelo SWAT, associado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis9.2s1, para demonstrar como cenários de mudança de uso do solo, baseando no marco legal do código florestal brasileiro (lei 12.651) podem alterar os fluxos de base da micro-bacia, comparando com as vazões simuladas pelo modelo, com variáveis observadas obtidas por Moraes (2007).

Por fim, esta pesquisa pretende contribuir como um instrumento que dê subsídios a avaliação e planejamento do território da micro-bacia, propondo cenários de uso do solo que minimizem a escassez hídrica, que dê suporte a tomada de decisão do poder público e conscientize a população residente na micro-bacia, que a adoção de práticas conservacionistas e de restauração da cobertura vegetal, podem aumentar a vazão dos rios e córregos, minimizando o estresse hídrico que ocorre repetidas vezes neste território, culminando com perdas de produtividade das culturas agrícolas pela falta de água para irrigação e problemas no abastecimento das casas da população residente.

Objetivo geral e específicos

O objetivo geral da presente dissertação foi, com base nas técnicas da simulação matemática, analisar as relações de natureza hidrológica da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó e sua sensibilidade às mudanças de uso e ocupação dos solos que visam a conservação e a recuperação dos recursos hídricos, sobretudo àquelas associadas ao reflorestamento de nascentes e regiões ripárias.

Objetivos específicos:

- a) Apropriar e atualizar banco de dados espacial com dados restituídos de Imagens de Satélite e de MDE (Modelo Digital de Elevação), reunindo dados meteorológicos, de solos e uso do solo da bacia representativa de Santa Maria/Cambiocó necessários para o processamento do modelo hidrológico SWAT;
- b) Restituição do uso do solo da micro-bacia objeto de estudo com base em ortofotos em escala de 1:25.000;
- c) Elaborar base georreferenciada do uso do solo, espacializando as áreas de APP (Áreas de Preservação Permanente) de rios, topos de morro, declividade das vertentes da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, segundo as definições do Código Florestal de outubro de 2012 para simular o cenário ideal/legal de uso do solo;
- d) Verificação e atualização da calibração de parâmetros do modelo SWAT para uso e ocupação do solo da bacia de Santa Maria/Cambiocó nas condições restituídas de Imagem de Satélite do ano de 2006 (compatível com o levantamento das bases de dados climatológicas, dos solos e hidrológicos);
- e) Simulação do cenário imposto pela Lei 12.651/12 (Código Florestal) impondo áreas de APP de topos de morro, nascentes e regiões ripárias para a bacia de Santa Maria/Cambiocó;
- f) Avaliação do desempenho e sensibilidade hidrológica do modelo à representação de mudanças do uso e ocupação do solo na escala de micro-bacia;

Estrutura da dissertação

Após apresentação da introdução com a problemática e justificativa da pesquisa, objetivos geral e específicos, e estrutura de organização do texto da dissertação, no Capítulo 1 apresenta-se toda fundamentação teórica que balizou a pesquisa, definindo conceitos de bacias experimentais e o planejamento do uso do solo com base nestes territórios, o conceito de SIG e sensoriamento remoto, além de discussão do marco legal do código florestal brasileiro (lei 12.651). Ainda no capítulo 1, faremos uma conceituação de modelos hidrológico e a integração destes com os SIG`s.

No Capítulo 2 aborda-se a metodologia utilizada neste trabalho, com a caracterização da área de estudo e o desenvolvimento dos cenários de uso do solo para aplicação do modelo do modelo SWAT. Apresenta-se ainda neste capítulo um levantamento abrangente dos aspectos socioeconômicos da micro-bacia representativa de Santa Maria/Cambiocó, e a metodologia utilizada para classificação da imagem e elaboração dos cenários das áreas de proteção permanente (APP`s).

A apresentação e discussão dos resultados são apresentas no capítulo 3. Apresenta-se o resultado da classificação do uso e ocupação do solo, da inserção de áreas de APP. São evidenciados os déficits de vegetação na micro-bacia. São apresentados elementos gráficos e organizados em tabelas que possibilitaram a análise dos resultados de vearios elementos do ciclo hidrológico, incluindo o escoamento de fluxo de base da micro-bacia nos cenários de uso e ocupação do solo do ano de 2006 (cenário 1) e para o uso e ocupação do solo com as áreas de APP da micro-bacia (cenário 2).

Em seguida são apresentadas as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros. Propostas para o planejamento da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó a fim de minimizar a problemática enfrentada por este território devido as estiagens frequentes na região, muito em parte por causa da baixa cobertura vegetal encontrada na micro-bacia e em toda a região Noroeste.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Bacias Experimentais e Representativas, e o planejamento de uso e ocupação do solo

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (TUCCI, 1993). Ela compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Conforme Lima e Zakia (2000), as bacias hidrográficas são sistemas abertos que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e dessa forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. A linha imaginária que delimita a bacia hidrográfica é definida através de sua topografia e rede de drenagem, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água de forma que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída (BALDISSERA, 2005).

Com o aumento da urbanização e concentração da população nos centros urbanos, é preciso pensar e planejar o território das bacias hidrográficas com vistas a minimizar os impactos ambientais provocados pela ação humana. Nesse contexto, destacam-se como impactos negativos a diminuição das áreas florestais, a alteração da qualidade das águas superficiais, subsuperficiais e subterrâneas, a diminuição do escoamento de base dos rios em decorrência da baixa taxa de infiltração do solo, ocasionada pela impermeabilização da superfície, entre outros. Observa-se uma relação direta entre o uso e ocupação do solo e a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas.

A lei nº 9.433 de 1997 (Lei das Águas) que trata da política e do sistema nacional de recursos hídricos, define como princípio fundamental para a gestão dos recursos hídricos, a unidade de planejamento como sendo a da bacia hidrográfica. Propõe ainda que a gestão desse território deverá ser descentralizada, com participação do poder público, dos usuários e da comunidade. Podemos observar que a própria legislação considera a bacia hidrográfica a unidade central para ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos, e leva em conta os aspectos sociais que nela estão presentes, quando propõe a participação de usuários e a comunidade no planejamento deste território.

Assim, mais recentemente, sobretudo no contexto das ciências ambientais e da gestão e planejamento de recursos hídricos, insere-se além do aspecto físico-ambiental (topográfico,

geomorfológico, litológico, pedológico) na definição das bacias hidrográficas, aspectos socioeconômicos, caracterizando esse espaço territorial, de forma mais abrangente e integrado. Essa visão mais integrada para a bacia hidrográfica é compartilhada também em Pimentel da Silva & Ewen (2000) e Bellon (2014). Nesse sentido, Yassuda (1993) corrobora com esse conceito integrado e define a bacia hidrográfica como o palco da interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural.

A bacia hidrográfica é peça fundamental para os planejadores e gestores públicos, pois é neste território que os aspectos físicos e socioeconômicos estão dispostos em total interação. Ações que promovam melhoria da qualidade de vida e sustentabilidade ambiental podem ser monitoradas e avaliadas no exutório da bacia, quanto a qualidade de suas águas, estado dos ecossistemas, seus escoamentos e disponibilidade hídrica.

Uma questão discutida ainda de forma limitada, porém de vital importância é a escala de atuação da gestão e do planejamento, que implica na escala e ordem de grandeza da área da bacia hidrográfica tomada como unidade de gestão. Por um lado, a atuação em regiões mais abrangentes e maiores como vem se dando o planejamento e a gestão dos recursos hídricos no Brasil, pode ser mais simples, e, em princípio envolver mais recursos. Observa-se uma tendência de simplificação da dinâmica do ciclo hidrológico em escalas maiores de tempo, que implicam na ampliação do espaço geográfico de análise.

No entanto, é preciso reconhecer que a qualidade da água e disponibilidade hídrica em condições adequadas e suficientes em termos anuais e mensais, não garantem que esses padrões serão suficientes nas escalas menores de tempo. Há uma espécie de amortização e compensação dos processos hidrológicos e impactos associados, no tempo e no espaço.

Por outro, sabe-se que intervenções em bacias pequenas e micro-bacias geram resultados mais palpáveis e envolvem eventualmente investimentos financeiros menos volumosos, se não mais efetivos, enquanto intervenções em grandes áreas, do ponto de vista de controle acumulam problemas de monitoramento, recursos financeiros, necessitando de maior capacidade no gerenciamento de resultados. Não necessariamente melhorias nas condições regionais garantem a recuperação de problemas que ocorrem na escala local. Além disso, a solução mais efetiva de problemas ambientais, diminuição de riscos naturais e aumento da resiliência, exige o envolvimento dos sujeitos através da educação ambiental e de processos participativos que naturalmente se dão mais facilmente no nível da escala local.

Dahl et al. (2007) consideram que os processos do ciclo hidrológico, podem ser vistos sob vários níveis, desde escalas globais (de regiões hidrográficas de abrangência continental,

reunindo um sistema de bacias hidrográficas e de aquíferos), passando por modelos regionais até a escala local de pequenas micro-bacias e suas vertentes.

Para Lima e Zakia (2000) o conceito de bacia grande e pequena é fundamentado nos fatores na produção do deflúvio, tendo as micro-bacias respostas mais sensíveis à intensidade da chuva e ao uso e ocupação do solo, enquanto que nas bacias maiores esses dois fatores perdem importância frente as características da rede de drenagem.

Para TUCCI (2003) as bacias hidrográficas podem ser subdivididas através de critérios de tamanho territorial, o autor aponta cinco níveis escalares: micro ($<10^{-4}$ km²), transição γ ($10^{-4} - 10$ Km²), meso ($10-10^3$ Km²), transição α ($10^3 - 10^4$ Km²) e macro ($> 10^4$ Km²). Já Calijuri & Bubel (2006) e Pimentel da Silva & Ewen (2000) propõem uma análise com base na classificação da ordem dos cursos d'água. Para os autores as micro-bacias são áreas formadas por canais de 1ª e 2ª ordem e, em alguns casos de 3ª ordem, representados por áreas frágeis e frequentemente ameaçados por perturbações reafirmado por Melo Neto (2013).

Sendo a escala da micro-bacia a mais adequada e sensível para se monitorar as alterações e impactos do uso do solo e nos recursos hídricos, além de mais palpável para o planejamento integrado entre gestores públicos e moradores locais.

Nesse sentido, vem ocorrendo um esforço nacional no estabelecimento de bacias experimentais e representativas de estudo que podem ser observado nos trabalhos de Moro (2005), Moraes (2007), Uzeika (2009), Marchioro et al. (2010 e 2011), Neto et al. (2011), Castro (2013), Neto (2013), Andrade et al. (2012), Bellon (2014) entre outros autores . Essas bacias de escala reduzida em relação ao espaço da gestão territorial, funcionam como laboratórios onde são observados de forma mais intensiva todos os processos envolvidos na fase terrestre do ciclo hidrológico, além de permitir a constatação dos impactos negativos ou positivos das ações antrópicas com vistas a melhoria da qualidade de vida e ao desenvolvimento sustentável (BROWN et al. 2000, CHRISTOFIDIS, 2005; TEXEIRA, 2005; MORAES, 2007) .Espera-se também que essas ações acabem gerando envolvimento e sinergia com a população local, colaborando para a gestão participativa. Por serem representativas, espera-se que se possa replicar ações positivas na recuperação de áreas degradadas para demais micro-bacias com características análogas ou semelhantes àquela em análise.

Bellon (2014) relata que os resultados dos estudos em micro-bacias representativas podem caracterizar a realidade socioeconômica, física e ambiental de uma região de maior abrangência espacial, possibilitando, em princípio, a extrapolação dos conhecimentos adquiridos. O estudo hidrológico em escalas menores locais podem permitir a compreensão da

interação dos processos hidrológicos com as escalas globais, contribuindo para a compreensão de sistemas complexos no estudo das mudanças climáticas globais, assim como contribuir na avaliação e quantificação dos impactos dessas mudanças na disponibilidade temporal e espacial dos recursos hídricos.

Historicamente, no monitoramento dos recursos hídricos no Brasil, sobretudo motivado pelos interesses do desenvolvimento hidro-energético, observa-se uma predominância de bacias médias e grandes no sistema nacional de monitoramento hidrológico. Espera-se que o monitoramento em pequenas e micro-bacias possam preencher lacunas dos instrumentos de planejamento e gestão preconizados na Lei 9433/97, sobretudo no se refere ao Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos.

O monitoramento dessas pequenas bacias por universidades e centros de pesquisas têm possibilitado a complementação do ensino das disciplinas associadas a recursos hídricos e meio ambiente, além de permitir desenvolvimento de pesquisas que irão responder a questões essenciais para o desenvolvimento dos recursos hídricos com vistas à sustentabilidade.

Outra contribuição importante dos estudos em bacias representativas é a possibilidade de simulação de cenários em modelos matemáticos de forma virtual, que contribuem para o direcionamento de ações positivas no planejamento e na gestão de recursos hídricos, contribuindo para a resiliência ambiental com a diminuição dos rios de escassez, das cheias e dos alagamentos nas comunidades em geral e nos ecossistemas (PIMENTEL DA SILVA; EWEN, 2000; BELLON, 2013).

1.2 Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto

Planejar e gerenciar um espaço de micro ou de macro dimensões como as bacias hidrográficas, requer uma grande quantidade de dados sejam eles espaciais (mapas, imagens etc) ou tabulares e alfanuméricos, que permitam aos tomadores de decisão promover intervenções mais assertivas. Para isso os Sistemas de Informação Geográficas (SIG) são cada vez mais utilizados pelos gestores, pela sua capacidade de armazenar dados espaciais e tabulares em um mesmo arquivo, permitindo assim análises espaciais complexas acerca das bacias hidrográficas.

Os SIG's em conjunto com as técnicas de sensoriamento remoto, cartografia digital e de sistemas de posição global (GPS), estão inseridos no campo do geoprocessamento e da geomática, que utiliza técnicas computacionais, e dados vetoriais e matriciais (*rasters*)

georreferenciados para auxiliar a identificação dos fenômenos pontualmente ou em áreas no espaço geográfico, sendo uma ferramenta amplamente utilizada em pesquisas científicas e por gestores públicos.

Os SIG`s oferecem facilidades para a realização de análises complexas, nas áreas ambientais, de planejamento, infraestrutura, transporte etc. De acordo com Câmara e Medeiros (1998) os SIG`s referem-se a sistemas que efetuam o tratamento computacional de dados geográficos, nos quais possuem ferramentas que armazenam a geometria e os atributos de dados que estão georreferenciados, ou seja, localizados na superfície terrestre e em uma determinada projeção cartográfica.

Mendes (1996) *apud* Baldissera (2005) estabelece que as técnicas de geoprocessamento constituem instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Neste contexto, os SIG`s se inserem como ferramenta computacional que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões, permitindo uma economia de recursos e tempo.

A economia de tempo e recursos financeiros proporcionados pelas análises dos SIG`s, nos permite avançar em metodologias de planejamento e de apoio a tomada de decisão, baseando-se em elementos de análises lineares e multicriteriais, com combinações e pesos definidos pelo usuário, o que permite simular cenários passados e futuros com base nos dados atuais de imagens de satélite, uso e ocupação do solo, solos, geomorfologia, topografia etc.

Os dados de uso e ocupação do solo são de grande importância para se planejar e gerenciar um território, pois é com base neles que podemos mensurar a degradação das florestas, expansão das cidades e da atividade agrícola. Estes são frutos da restituição de dados de imagens de satélite utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

Lillesand e Kiefer (1994) definem sensoriamento remoto como a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação. Em Florenzano (2002) o sensoriamento remoto é estabelecido como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, mediante a captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície.

As técnicas de aquisição de imagens em sensoriamento remoto podem ser resumidas em 3 níveis, que estão relacionadas diretamente com a altitude do sensor, são eles: o nível orbital (sensores a bordo de satélites artificiais), o aéreo (sensores a bordo de aeronaves e

VANT`s) e o de campo/laboratório (sensores implantados em estruturas terrestres) (FLORENZANO, 2002).

A restituição dos dados resultantes das técnicas de sensoriamento remoto (imagens de satélite e ortofotos), são de extrema importância para o planejamento nas bacias hidrográficas, com esses dados pode-se identificar alterações no uso do solo do território, propor medidas de gestão e acompanhar a implantação destas medidas de forma temporal. Esses dados da superfície da terra e espacialização do seu uso, juntamente com outros dados que compõe o banco de dados do SIG permitem ao gestor intervir no território de forma mais pontual e assertiva no tocante a conservação dos recursos hídricos.

A capacidade analítica das ferramentas de SIG e sensoriamento remoto tornaram-se base para os estudos ambientais em grandes, médias e micro-bacias hidrográficas, o armazenamento de dados como uso e ocupação do solo, restituído de dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite e/ou fotografias aéreas) nos permitem visualizar e mensurar as áreas de mata e expansão urbana, em anos diferentes, o que nos possibilita identificar o comportamento espacial da sociedade inserido em tal espaço, e planejar o futuro com base neste comportamento e cenários promovidos com base nas análises desenvolvidas no ambiente SIG.

Para a realização das classificações dos dados de sensoriamento remoto existem 2 duas formas mais comuns, a classificação supervisionada e a não supervisionada. A classificação não supervisionada é uma técnica de classificação de imagens na qual os padrões de resposta espectral dominantes em uma imagem são extraídos buscando-se a identificação dos diferentes agrupamentos de dados (PIROLI, 2010), para a realização desta classificação é necessário conhecimento e/ou identificação posteriormente em campo.

Na classificação supervisionada coberturas do solo são identificadas e diferenciadas umas das outras pelo seu padrão de resposta espectral. Nesta classificação define-se as assinaturas espectrais das categorias de uso conhecidas, e o aplicativo associa cada píxel da imagem à assinatura mais similar (PIROLI, 2010), produzindo assim um dado digital de uso do solo em formato georreferenciado compatível com o SIG. Existem diversos sistemas computacionais de classificação dados oriundos de sensoriamento remoto, entre eles o IDRISI, ENVI, SPRING, E-Cognition.

1.3 Novo Código Florestal e Cenários de Mudanças Ambientais no território das bacias hidrográficas

O Código Florestal segundo Ferreira (2014) pode ser definido como a lei que institui as regras gerais sobre onde e de que forma a vegetação nativa do território brasileiro pode ser explorada, determinando as áreas que devem ser preservadas e quais regiões são autorizadas a receber os diferentes tipos de produção e manejos rurais.

O primeiro código florestal brasileiro foi criado no ano de 1934, para frear o avanço da fronteira agrícola em decorrência da forte expansão da cultura do café, principalmente na região sudeste do Brasil, este foi atualizado em 1965 em virtude da crescente conscientização da importância do meio ambiente, o teve promulgada uma nova atualização no ano de 1989 (Lei 7.803), que determinou prazos para a recuperação das áreas de reserva legal, e regras mais específicas para as Áreas de Proteção Permanente (APP's), e tendo sua última atualização no ano de 2012 (Lei 12.651).

O novo código florestal brasileiro lei 12.651/12 aprovado em maio de 2012, trouxe mudanças no tocante a criação de novos critérios para o cômputo das áreas de preservação permanente (APPs) e das de Reserva Legal (RL), além da criação do Programa de Regularização Ambiental, com vistas a desburocratizar a legalização ambiental em desacordo com a lei (DINIZ, 2013).

As mudanças no novo código florestal promoveram acalorados debates entre agricultores, pecuaristas e ambientalistas, tendo sido aprovado sem o consenso das partes envolvidas. Diversos autores produziram trabalhos acerca deste tema como Siefert & Santos (2012), Luz (2012), Pires (2012), Garcia (2012), Carvalho (2013), Feistauer et al (2014), Moreira (2011), Newberry (2014), entre outros. Mas, é sobretudo importante entender como as novas regras no tocante as áreas de preservação permanente, podem modificar a paisagem no território na bacia hidrográfica, e qual a influência que estas mudanças no uso e ocupação do solo impactam o escoamento de base, elemento importante na garantia perenidade da disponibilidade hídrica das bacias e diminuição da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água.

O novo código florestal define como áreas de preservação permanente (APP) em seu artigo 4º, incisos de I à XI:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:(Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;(Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;(Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.(Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

O estudo de Carvalho (2013) utilizou técnicas de geoprocessamento para comparar as áreas do Distrito Federal, consideradas como áreas de preservação permanente (APP's) no código florestal de 1965 e o novo código florestal do ano de 2012. Em seu estudos ele concluiu que o código florestal de 2012 houve uma redução de até 83,6% das áreas protegidas por lei (APP's), em comparação com relação ao Código de 1965, o que significa que o código florestal em vigor promoveu uma diminuição das áreas destinadas à preservação permanente.

Para Diniz (2013) que sintetizou as mudanças do novo código em relação ao que vigorava desde 1965, demonstrou que a maior parte dos imóveis rurais brasileiros possui algum tipo de déficit ambiental, seja de APP ou de Reserva Legal–RL, sendo assim mesmo a aplicação do novo código florestal que é menos rígido do que o de 1965 diminuiriam as áreas de produção agropecuária.

Na tabela 1 podemos observar a comparação elaborada por Diniz (2013), entre as duas legislações ambientais.

Tabela 1 – Comparativo de tópicos selecionados: Código Florestal antigo (1965) x Novo Código Florestal (2012).

Código Florestal antigo (Lei 4.771 de 1965)	Novo Código Florestal (Lei 12.651 de 2012)
No cálculo das áreas a serem mantidas como Reserva Legal eram excluídas aquelas destinadas às APPs. A sobreposição é permitida somente em casos particulares, regidos pelo parágrafo 6º do art.16.	Admite-se que as Áreas de Preservação Permanente sejam abatidas no cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel, desde que isso não implique conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo.
O referencial para cômputo das APPs ripárias era o nível mais alto dos cursos d'água.	O referencial passa a ser a borda da calha do leito regular.
Estabelece delimitações rígidas para as Áreas de Preservação Permanente e não permite flexibilização no caso de regularização.	Mantém parte das delimitações da legislação atual, mas, para efeito de regularização ambiental, as APPs nas margens dos cursos d'água e no entorno de nascentes, olhos d'água, lagos e lagoas naturais são reduzidas de acordo com o tamanho da propriedade.
Não há imóveis rurais dispensados de cumprir as exigências da Reserva Legal (RL)	Para os imóveis rurais com até 4 módulos fiscais, a Reserva Legal será constituída com a vegetação natural existente até 22 de julho de 2008, mesmo que esta área corresponda a um percentual inferior àquele determinado em Lei. Para propriedades maiores, são excluídos os 4 módulos fiscais da base de cálculo da RL.
Para fins de recomposição, permite compensar a reserva legal por outra área equivalente em importância ecológica e extensão, desde que pertença ao mesmo ecossistema e esteja localizada na mesma micro-bacia.	Permite compensar a Reserva Legal inclusive em outros Estados, desde que a área seja equivalente em extensão à área da Reserva Legal a ser compensada e esteja localizada no mesmo bioma.

Fonte: Diniz (2013)

O que se pode constatar nos estudos de cenários de Moreira (2011) e Diniz (2013) é que o déficit ambiental no tocante às APP's é grandioso no Brasil, e que a aplicação do atual código florestal, mesmo que mais ameno em relação ao anterior, promoveria uma redução considerável das áreas de produção agropecuária, que dariam lugar as áreas de preservação permanente (APP).

Para que o novo código florestal seja cumprido de fato e promova mudanças na paisagem do território das bacias hidrográficas, a lei 12.651 traz instrumentos importantes como o cadastro ambiental rural – CAR, definido em seus artigos 29º e 30º, como registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

O CAR passa assim, a ser obrigatório a todos os produtores rurais sendo a inscrição no mesmo, condição para acesso a crédito agrícola, venda da propriedade e regularização perante aos órgãos ambientais. No CAR os produtores inserem dados sobre a propriedade e identificam em uma imagem georreferenciada as áreas de reserva florestal (RL), rios, nascentes e áreas declivosas em sua propriedade e se comprometem a recuperar as áreas de APP com déficit de vegetação em 20 anos, caso contrário sofrem com sanções administrativas como multas e impedimento das atividades na propriedade.

Observamos que instrumentos como o CAR e políticas públicas com o pagamento de serviços ambientais PSA, podem modificar a paisagem da bacia em algumas décadas, recompondo prioritariamente as áreas de APP, que tem grande importância de preservação os recursos hídricos, na estabilidade geológica e da biodiversidade, na facilitação do fluxo gênico de fauna e flora, na proteção do solo e em assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

1.4 Modelos Hidrológicos

Os primeiros modelos hidrológicos descritos na literatura remontam a década de 30, como o método de infiltração de Horton, o escoamento em rios descrito por MacCarthy e o Modelo Muskingum e Puls para o escoamento em reservatório. Porém foi com o advento do

computador na década de 50 que os modelos hidrológicos que reuniam os vários processos para descrever a transformação da precipitação em vazão, como os modelos SSARR.

Nas décadas de 60, 70 vários modelos foram desenvolvidos como o Stanford IV e HEC-1, e estes introduziram a distribuição espacial na avaliação da infiltração, já anos 80 os modelos passaram a utilizar mais parâmetros e nos anos 90, os modelos mostraram grandes avanços na compreensão das bacias pequenas com o uso do geoprocessamento, o que permitiu a identificação espacial das variáveis de entrada e de atributos físicos das bacias.

Atualmente os modelos hidrológicos vêm ganhando destaque e possibilitam entender como funciona a lógica do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica, e a consequente resposta hídrica desta. Com a atual crise hídrica, sobretudo na Região Sudeste do país, é essencial melhorar os processos de gestão das questões relacionadas aos recursos hídricos. Nesse contexto, os modelos hidrológicos são grandes aliados na previsão, planejamento e gestão dos recursos hídricos, assim como norteadores de ações futuras, que minimizem o estresse hídrico das bacias hidrográficas.

Segundo Mota (1999), o objetivo de um modelo hidrológico é determinar, com eficiência e precisão, os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, e estimar eficientemente o comportamento e a magnitude da água. O modelo teórico, de um modo geral, pode ser definido como a representação de um sistema através de equações matemáticas, ou seja, a representação do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado intervalo de tempo interrelaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação (TUCCI, 1998).

Baldissera (2005) define modelo hidrológico como a representação de um sistema através de equações matemáticas, ou seja, consiste em representar matematicamente o que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base nos dados de observação do sistema real. Nesse caso, o sistema é o ciclo hidrológico.

Os modelos hidrológicos são uma representação simplificada do sistema real, o que não quer dizer que estes não sejam eficazes, pois mesmo com a complexidade do sistema hidrológico e as modificações antrópicas na bacia hidrográfica, estes tem promovido grandes avanços na formulação de políticas públicas para a conservação dos recursos hídricos (TUCCI, 1998).

Os modelos tem permitido testar hipóteses, e construir métodos para predizer a melhor forma de manejo nos ecossistemas, e culturas agrícolas nas bacias hidrográficas, com o fim de

preservação dos recursos hídricos (BEVEN, 1989; GRAYSON et AL., 1992; BALDISSERA, 2005). Na tabela 2, podemos observar alguns modelos hidrológicos de base física e de qualidade de água.

Tabela 2 – Modelos hidrológicos de base física e de qualidade da água

Modelos	Componentes	Fluxo superficial	Fluxo subsuperficial	Qualidade	Escala espacial	Escala temporal	Representação da bacia
AnnAGNPS <i>Annualized Agricultural Non-point Source</i>	Sedimento, nutriente e pesticida	CN, TR-55 para fluxo de pico de vazão	Equação de Darcy	N, P, pesticidas, carbono orgânico, nutrientes	Distribuído	Passo diário, subdiário	Superfície, canais, corpos hídricos
ANSEWRS 2000 <i>Area Non-point Source Watershed Environment Response Simulation</i>	Escoamento superficial, infiltração, drenagem subsuperficial, solo, sedimento	Equação de Manning, equação de continuidade	Não existe componente	Não existe componente	Distribuído	Evento	Grade regular
HSPF <i>Hydrological Simulation Program – FORTRAN</i>	Escoamento superficial, áreas permeáveis/impermeáveis, canais, corpos hídricos	Base empírica	Percolação, escoamento de base	Temp. da água/solo, CO ₂ , N, NH ₄ , N/P orgânico, pesticidas	Semi-distribuído	Contínuo	Superfície, canais, corpos hídricos
PRMS <i>Precipitation-Runoff Modeling System</i>	Hidrologia, escoamento superficial, canais, corpos hídricos, solo, sedimento	Equações de onda cinemática	Não existe componente	Não existe componente	Distribuído	Evento	Superfície, canais, corpos hídricos
WEPP <i>Water Erosion Prediction Project</i>	Geração clima, irrigação, infiltração, fluxo superf., crescimento de vegetação, solo	Equações de onda cinemática	Equação de Green & Ampt	Não existe componente	Distribuído	Contínuo	Canais, corpos hídricos
SWAT <i>Soil and Water Assessment Tool</i>	Clima, sedimento, solo, crescimento de vegetação, nutrientes, pesticidas, manejo, canais,	CN para escoamento superficial, TR-55 para fluxo de pico de vazão	Fluxo lateral, escoamento de base	N, P, pesticidas, C	Semi-distribuído	Contínuo, passo diário	Sub-bacias, URH, aquíferos, canal principal, <i>reservoirs</i>

Fonte: DANIEL et al., 2011; BELLON, 2014.

Com a crise hídrica que nos encontramos atualmente, os modelos hidrológicos são de grande importância, pois estes permitem a simulação de diversos cenários de uso do solo na

bacia hidrográfica, de forma rápida, eficaz e com baixo custo, sendo assim um grande auxílio a tomada de decisão dos gestores, planejadores e moradores destas localidades.

1.4.1 Classificação dos Modelos Hidrológicos

Os modelos hidrológicos podem ser classificados sob diferentes aspectos, de acordo com a concepção e natureza das variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis, em empíricos ou conceituais; a forma de representação dos dados, discretos ou contínuos; a existência ou não de relações espaciais, concentrados ou distribuídos; e a existência de dependência temporal, em estacionários ou dinâmicos (Tucci, 1998)..

O modelo é classificado como estocástico, quando os conceitos de probabilidade são introduzidos na formulação do modelo, os resultados não são lineares, e apresentam uma distribuição associadas a probabilidades estatísticas, diferentemente dos modelos determinísticos, que obedecem a uma lei conceitual ou física definida, e não puramente à lei das probabilidades.

Os modelos empíricos são baseados apenas em observações, e são bastante simples e úteis no dia a dia. No entanto, são pouco robustos, uma vez que são específicos para aquela região para quais as relações foram estimadas (MOREIRA, 2005). Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo etc. Os classificados como modelos conceituais por sua vez, são mais complexos que os empíricos, pois com base nas variáveis do sistema e na entrada de parâmetros necessários, estes conseguem simular o comportamento da bacia hidrográfica com diferentes cenários de uso do solo, e quantidades de precipitação na bacia, prevendo, por exemplo, o impacto de cheias.

Quanto à representação dos dados nos modelos, estes são classificados como discretos e contínuos, os fenômenos naturais variam no decorrer do tempo continuamente, dizemos então que a natureza proporciona fenômenos contínuos, porém os modelos utilizam equações discretas para representar o sistema, sendo assim mesmo que os dados sejam adquiridos de forma contínua, a modelagem deste no sistema computacional ocorrerá de forma discreta.

Os modelos podem ainda ser classificados como concentrados e distribuídos. Nos modelos concentrados todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área da bacia, enquanto os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial da bacia

hidrográfica. No modelo concentrado o elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente a bacia, e os distribuídos, mais realistas, podem incorporar também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos (MOREIRA, 2005).

Os modelos estacionários descrevem o fenômeno em determinado momento. Os parâmetros não variam com o tempo. Já nos modelos dinâmicos, os parâmetros podem variar no tempo.

A classificação dos modelos apresentada, vem constatar que para cada realidade estudada o pesquisador deverá utilizar o modelo que melhor se adequar a área de estudo, aos dados disponíveis e a capacidade computacional de modelagem. A qualidade dos resultados provenientes da modelagem hidrológica, estará atrelada aos dados utilizados, os intervalos tempo e a escala espacial utilizada.

Os modelos tornaram possível processar dados hidrológicos mensurados e sistemas naturais complexos, entre outros, transformando-os em instrumentos de tomada de decisão por parte dos governos e agências, com vistas a minimizar problemas relacionados à escassez, a qualidade das águas e o risco de cheias. Com a evolução cada vez maior dos modelos hidrológicos, pode-se observar resultados com maior utilidade e acurácia, e com isso tomar decisões mais eficazes, para diminuir os problemas crescentes de ordem hídrica.

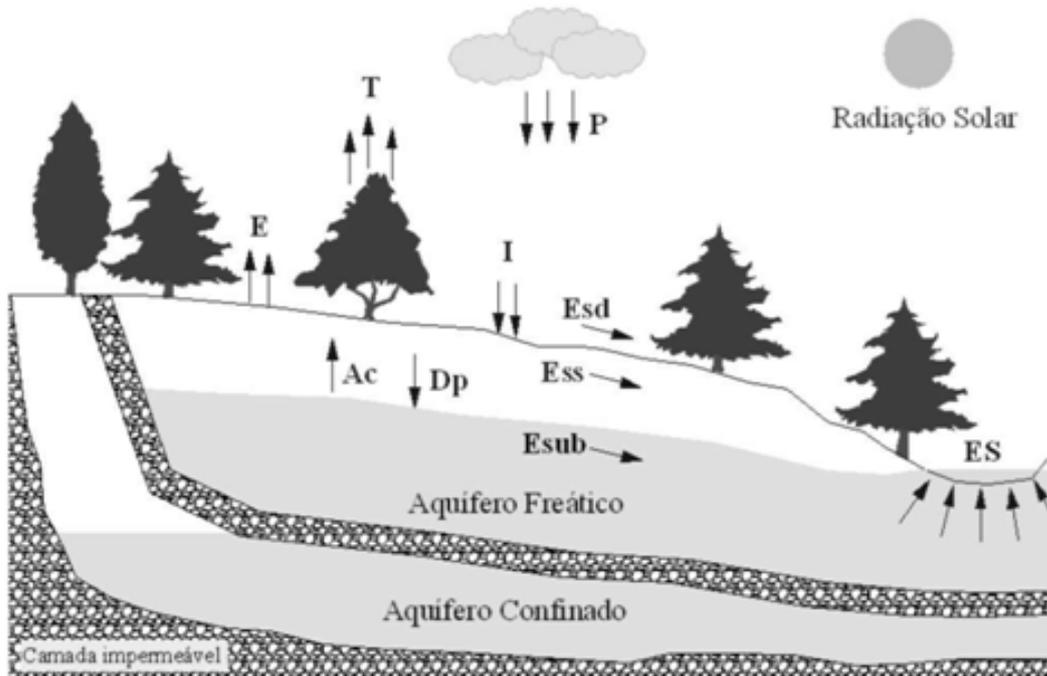
1.5 Representação da fase terrestre do ciclo hidrológico em modelos hidrológicos

Os modelos hidrológicos, sobretudo aqueles denominados modelos chuva-vazão, representam a fase terrestre do ciclo hidrológico¹. A parametrização pressupõe dados climatológicos observados, como a precipitação, a evaporação ou elementos necessários para o seu cálculo, e a partir daí, o modelo executa computacionalmente procedimentos de cálculo com vistas ao cálculo da vazão em uma seção fluvial que define o exutório da bacia hidrográfica. Os procedimentos de cálculo envolvem a determinação de forma iterativa no tempo das taxas de infiltração, armazenamento nos solos e escoamentos. Geralmente, o uso do modelo implica na verificação dos valores das vazões calculadas pelos mesmos. Naturalmente, espera-se que as vazões calculadas sejam similares aos valores observados.

¹ TUCCI (1996) contempla também a definição do ciclo hidrológico em termos mais abrangentes, na escala planetária, que é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar, associada à gravidade e a rotação terrestre.

Assim, para aplicação dos modelos é desejável a disponibilidade de séries observadas de vazões, que servirão para ajuste de parâmetros intrínsecos aos procedimentos de cálculo dos processos hidrológicos envolvidos na fase terrestre.

Figura 1 – Representação dos principais componentes da fase terrestre do ciclo hidrológico



Fonte: Viola, 2008.

Uma parte significativa desta precipitação entra em contato com o solo, e dependendo de suas condições físico-hídricas ocorre a Infiltração (I), de acordo com a umidade e características dos solos estas águas Percolam (Dp) pelos *poros* do solo (espaços vazios no solo) recarregando as águas subterrâneas, ou escorrem superficialmente sobre os mesmos, promovendo o Escoamento Superficial (ES).

O Escoamento Superficial Direto (Esd), se refere à porção de água que escorre superficialmente sobre o solo, este ocorre devido a incapacidade do solo de infiltrar a água, a ausência de cobertura vegetal e a sua impermeabilização devido a expansão urbana, quando ao escoamento subsuperficial, estes podem ser divididos de duas formas, o Escoamento Subterrâneo (Esb) que representa o escoamento das águas subsuperficiais na porção saturada do solo, em decorrência da topografia e litologia do terreno, e o Escoamento Subssuperficial (Ess) que se refere ao deslocamento das águas na subsuperfície também em decorrência da

topografia e litologia da local, porem não se encontram na porção saturada solo (VIOLA, 2008; MELO NETO, 2013).

A capacidade de mensuração dos elementos do ciclo hidrológico, mesmo que de forma isolada não representando fielmente a realidade total e complexa, torna possível a implementação de modelos matemáticos e físicos, que auxiliam no planejamento e na previsão de cenários de utilização dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica é a unidade de planejamento onde se desenvolve todo o planejamento dos recursos hídricos, pois nela ocorre toda a fase terrestre do ciclo hidrológico, possibilitando assim mensurar dados, aplicar modelos e propor medidas a minimizar problemas relacionados ao *stress* hídrico ou eventos de cheias.

1.6 Integração do SIG com modelos hidrológicos

Os processos envolvidos na fase terrestre do ciclo hidrológico dependem de condicionantes climáticos, mas também das características geomorfológicas, morfométricas, do relevo, pedológicas, entre outras, próprias da superfície terrestre, que exercem controle nos fluxos e escoamentos na superfície e nos solos. Esses componentes são essenciais no cálculo das vazões fluviais. O próprio reconhecimento dos limites da bacia hidrográfica, unidade territorial de análise dos sistemas hidrológicos, depende dos elementos topográficos e trajetória dos cursos d'água que compõem a rede de drenagem.

As tecnologias essenciais da geomática, SIG e sensoriamento remoto, permitem a apropriação de parâmetros essenciais da superfície terrestre, seus constituintes, o armazenamento dessas informações em bases de dados espaço-temporais georeferenciadas, além de análises espaciais, que constituem elementos importantes para melhoria dos processos de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, as variáveis espaço temporais podem ser inseridas na concepção dos modelos hidrológicos. São análises complexas, que permitem a inclusão da representação da variação espacial dos processos hidrológicos e seus condicionantes na concepção dos modelos, e que contribuem para que esses sistemas se tornem mais realistas.

Beven (1985) estabelece que a utilização de modelos hidrológicos distribuídos se enquadra potencialmente para previsão de fenômenos, previsão dos efeitos de localização espacial das variáveis de entrada e saída, previsão do movimento de poluentes e sedimentos, e

na previsão de resposta hidrológica não monitorada, onde os dados estão disponíveis para os modelos concentrados. Esses modelos, por sua vez agregados a dados de modelos digitais de terreno, a técnicas de geoprocessamento e de SIG, permitem realizar com melhor embasamento as características do sistema da bacia hidrográfica, na representação espacial e temporal das mudanças de uso na bacia hidrográfica em decorrência da sua utilização pela sociedade (TUCCI, 1998; CASTRO 2013; BELLON 2013). Dessa forma, essas potencialidades foram se tornando essenciais na análise e controle de impactos antrópicos da mudança de uso e ocupação do solo e das mudanças climáticas na disponibilidade espaço-temporal dos recursos hídricos, desafios atuais do planejamento e da gestão dos recursos hídricos.

A integração do SIG com os modelos hidrológicos distribuídos e semi distribuídos possibilitam a utilização do banco de dados do SIG como *inputs* para o modelo e a simulação de cenários de uso na bacia hidrográfica e sua consequente resposta hídrica.

SUI & MAGGIO (1999) promoveram uma análise clássica sobre a integração entre SIG e modelo hidrológico. Segundo os autores, essa integração pode ser vista em quatro diferentes abordagens:

a) As funcionalidades de um SIG são inseridas dentro do pacote de modelagem hidrológica – foi adotada inicialmente por hidrólogos que identificaram nos SIG's suas potencialidades na apresentação de resultados em forma de mapas, e no armazenamento de extensa base de dados de entrada, em geral exigida na abordagem distribuída de modelagem hidrológica. Permitindo maior flexibilidade de desenvolvimento e atualizações do modelo hidrológico.

b) As funcionalidades de modelagem hidrológica em pacotes de um SIG – desenvolvedores de SIG melhoraram a capacidade de análise espacial e modelagem dinâmica em seus produtos. A modelagem hidrológica é apresentada como uma extensão do SIG. Nesse caso, observa-se que eventualmente o modelo hidrológico é representado dentro do SIG, mas não necessariamente aproveita todas as suas potencialidades.

c) Interação fraca – os modelos hidrológicos e os SIGs são utilizados separadamente e sua interação se processa através da troca de dados utilizando arquivos no formato ASCII. A vantagem desta abordagem é que redundâncias de programação podem ser evitadas. A desvantagem é que a conversão de dados, entre os diferentes pacotes, pode ser tediosa e resultar em erros.

d) Interação forte – a modelagem hidrológica é feita via programação convencional ou macro (*scripts*) dentro do SIG. Os usuários desenvolvem aplicações personalizadas, entretanto as linguagens de programação e formato de arquivos restringem e introduzem complexidade no uso de base de dados existentes e sistemas hidrológicos robustos existentes e consagrados.

A integração SIG e modelagem hidrológica pode ser ilustrada através de sistemas computacionais hidrológicos. Um dos primeiros modelos hidrológicos a suscitar funcionalidades do SIG foi a família de modelos SHE (DHI, 2007)). O MIKE SHE (DHI, 2007) apresenta em sua concepção funcionalidades do SIG, como a de gerar o Modelo digital de Terreno (MDT) e a de exibir resultados espacialmente. Aceita que o arquivo do MDT seja em formato shapefile do ArcGis. Já o MIKE BASIN (DHI, 2007) é uma extensão do ArcGIS 9.0, que permite que toda a modelagem seja feita no SIG. No entanto, em termos de ferramenta de modelagem hidrológica apresenta uma representação mais simplificada do ciclo hidrológico que requer inclusive um conjunto de dados menor do que o MIKE SHE. Para distribuição de água, uso integrado dos recursos hídricos, operação de reservatórios, ou qualidade da água, o MIKE BASIN une o poder do ArcGIS com a modelagem hidrológica para gerar soluções em escalas de grandes bacias hidrográficas. Este é um caso de SIG abrigando funcionalidades de modelagem hidrológica.

O *Arc Hydro* (ESRI, 2011) é um modelo de base de dados geoespacial e temporal, acompanhado por um conjunto de ferramentas de recursos hídricos no ambiente ArcGIS, focado em águas superficiais. Nele é possível calcular as características de uma bacia hidrográfica, estatísticas de fluxo, delimitação da bacia hidrográfica através do modelo digital de terreno (MDT). Com o MDT gerado e a padronização dos dados como: cobertura do solo, propriedades do solo, variáveis climáticas, as análises podem ser feitas através de métodos mais consistentes. O *Arc Hydro* abriga ainda um modelo hidrológico simplificado.

As soluções anteriormente apresentadas são proprietárias e comerciais. Mas, ao longo do tempo muitos elementos de modelagem hidrológica e SIG, assim como sua integração, desenvolveram-se na forma de softwares de uso livre (*freeware*) e código aberto (*open source*). O modelo hidrológico TOPMODEL e outros originados (Beven & Freer, 2001) constituem um exemplo clássico dessas possibilidades.

Os parâmetros de topografia do terreno, do uso do solo, dos solos, seu detalhamento (escala associada ao levantamento e mapeamento) e possíveis inconsistências encontradas nesses dados, constituem criticidade a ser observada nas análises dos resultados obtidos em

estudos que envolvem a aplicação de modelos hidrológicos distribuídos. Podendo, influenciar a identificabilidade dos parâmetros do modelo no processo de calibração e limitar as análises e amplitude de uso e aplicação dos resultados (MELLO et al, 2008; SALLES, 2012).

1.7 Modelo SWAT

O modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), é outro exemplo de modelo que integra SIG e modelos hidrológicos. Foi uma iniciativa de pesquisadores do *Agricultural Research Service* (ARS) no estado Norte Americano do Texas no final dos anos 80. O modelo constitui o resultado da combinação de componentes estruturais de outros modelos hidrológicos como o SWRRB (Simulador para Recursos Hídricos de Bacias Rurais), CREAMS (Produtos Químicos, Escoamento e Erosão dos Sistemas de Gestão Agrícola), GLEAMS (Efeitos das Descargas Subterrâneas nos Sistemas de Gestão Agrícola) e o EPIC (Calculador de Impacto Erosão-Produtividade) (NEITSCH et al, 2009; NETO, 2013). Foi desenvolvido em base de “*open source*” e “*freeware*”.

O SWAT é classificado como modelo semidistribuído e opera de maneira contínua no tempo para simular o ciclo hidrológico e o impacto da alteração do uso e manejo do solo nas bacias hidrográficas agrícolas não instrumentadas. Sendo assim, os processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica são modelados pelo SWAT por meio de equações matemáticas que levam em consideração aspectos do clima, solo, uso do solo, topografia e manejo agrícola (BELLON, 2014; NEITSCH et al. 2009; NETO, 2013).

Ainda sobre o aspecto conceitual do modelo SWAT, Neitasch et al. (2009) descreve que a simulação no modelo possui duas divisões. A primeira é a fase terrestre do ciclo hidrológico, que controla a quantidade de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas carregados para o canal principal, e a segunda é a fase ou encaminhamento do ciclo hidrológico que pode ser definida pela propagação da água, sedimentos, e outros elementos através da rede de canais da bacia de saída.

Sendo assim os processos físicos simulados pelo SWAT, requerem elementos de “*input*” bastante detalhados, para que o modelo represente o sistema natural da bacia hidrográfica o mais semelhante possível, e assim sendo capaz de simular cenários assertivos quanto a usos atuais e futuros.

O SWAT requer uma grande variedade de dados para que seu funcionamento seja pleno (MDT, precipitação, radiação solar, velocidade do vento, evaporação, dados de uso do

solo, dos solos, diversos elementos associados à representação das águas subterrâneas, entre outros), porém o próprio modelo tem recursos que possibilitam aos usuários simular os processos hidrológicos, e os dados climáticos, possibilitando assim simular bacias não instrumentalizadas, outra possibilidade encontrada no modelo é a escolha de métodos de simulação de acordo com a disponibilidade dos dados, como os métodos de escoamento *Curva Número*, e *Green & Ampt* descritos anteriormente e os de evaporação potencial pelas equações de *Hargreves*, *Pristley-Taylor* ou *Pennan-Monteith* (NEITSCH et al. 2009).

Grassman et al. (2014) estabelece que o SWAT é uma ferramenta eficaz em diversas aplicações sobre recursos hídricos e manejos de solo. Pode-se observar que o SWAT vem sendo utilizado largamente em diversos trabalhos no mundo inteiro, e no Brasil pesquisadores e técnicos vem fazendo esforços significativos para adequar, aplicar e calibrar o modelo a estudos em bacias hidrográficas brasileiras. Nesse sentido, são vários exemplos bem sucedidos: Zeilhofer (2005), Prado (2005), Neves et al. (2006), Santos et al. (2006), Adriolo et al. (2008), Mercuri et al. (2009), Paim & Menezes (2009), Uzeika (2009), Bonumá et al. (2010), Durães (2010), Marchioro et al. (2011), Carvalho Neto (2011), Carvalho Neto et al. (2011), Fernandes et al. (2012), Malutta (2012), Salles, (2012) Castro (2013), Neto (2013), Bellon (2014), entre outros.

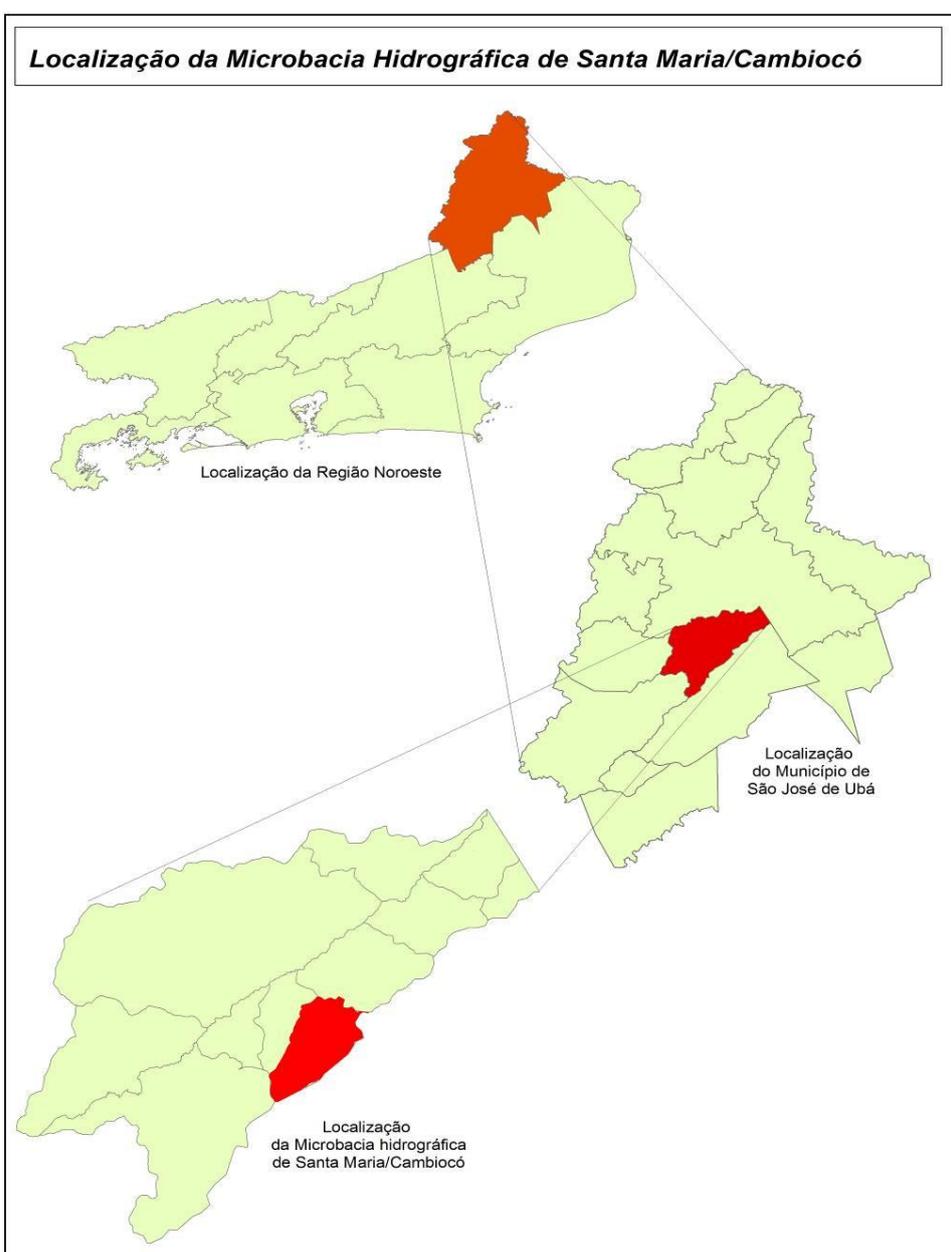
A capacidade de aplicabilidade do SWAT na gestão dos recursos hídricos no Brasil torna-se notória analisando os resultados dos trabalhos citados que utilizaram o modelo, este passa a ser um importante instrumento para suporte à tomada de decisão, discussões, propostas e projetos relacionados aos problemas ambientais encontrados nas bacias hidrográficas.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

A micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó apresenta uma área de 13,5Km² e localiza-se no município de São José de Ubá entre as coordenadas geográficas Lat 21°22'00" sul e Long 41°53'00" oeste, como podemos observar na figura 2.

Figura 2 – Mapa de localização da micro-bacia de santa Maria/Cambiocó



Fonte: O autor, 2015.

A micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó se localiza na porção sudeste do município de São José de Ubá, está inserida na rede hidrográfica da sub-bacia do Rio Muriaé com área de 8.292Km², tem suas águas drenadas para o trecho médio baixo da bacia do Rio Paraíba do Sul que tem área 56.500Km², a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul está inserida nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

2.1.1 Histórico da ocupação

A micro-bacia de Santa Maria/ Cambiocó é formada por duas comunidades Valão da Areia (Santa Maria) e Valão Preto (Cambiocó), o primeiro nome dado a localidade de Santa Maria foi de vila de Santa Cruz, nome de uma antiga fazenda da região, rebatizada posteriormente em homenagem a Santa Maria padroeira do local. O nome Cambiocó teria origem nos índios que habitavam a região, os “Chapecós” (NEGRÃO, 2007).

Segundo a pesquisa de Negrão (2007) o primeiro morador de Santa Maria (Valão da Areia) o imigrante português José Francisco Ribeiro que vindo de Friburgo, teria comprado terras de Juca Neto e migrado para o local. A vila formou-se então com os seus descendentes que aos poucos fixaram residência na localidade. Já a ocupação de Cambiocó (Valão Preto) teria sido de imigrantes espanhóis e suíços, porém todos esses lugarejos também receberam inúmeras pessoas de Minas Gerais e Cambuci, que foi sede do município até 1995, quando São José de Ubá se emancipa (NEGRÃO, 2007).

Figura 3 – Sede da antiga fazenda Valão da Areia



Fonte: Negrão (2007)

No passado, a região era grande produtora de café assim como toda a região noroeste fluminense. Além disso a micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó produzia também milho, arroz, amendoim e algodão. Atualmente estas atividades foram substituídas principalmente pela a cultura de tomate, olericulturas e a pecuária leiteira.

2.1.2. Climatologia e pluviosidade

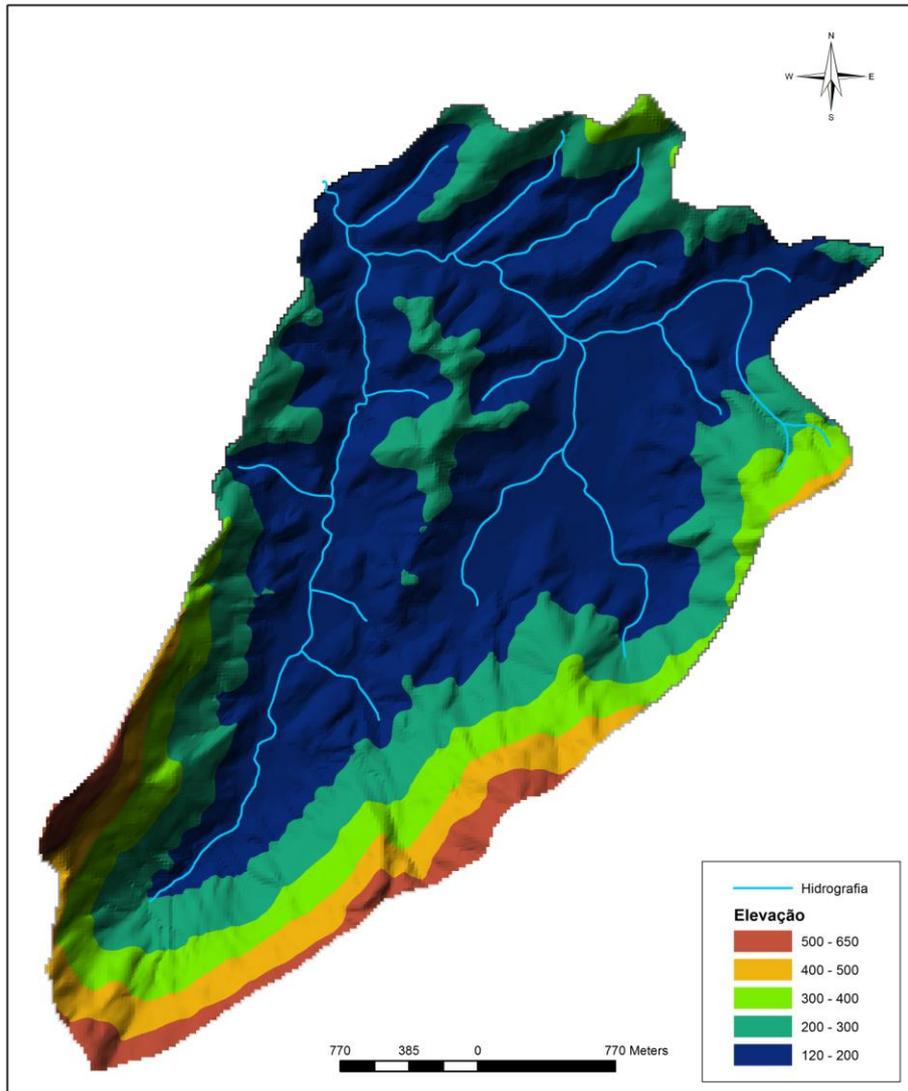
O clima do município de São José de Ubá, onde a micro-bacia esta inserida foi classificado como Aw, que na classificação de Koppen se caracteriza por ser um clima tropical quente e úmido com estações bem definidas. Esta classificação foi proposta no trabalho de Gonçalves et al. (2006), que se baseou nos dados de precipitação e temperatura da bacia nos anos de 2005 a 2007 (MARCHIORO, 2011).

A média anual de precipitação na micro-bacia por Marchioro (2011) foi de 1.283,72mm no período entre 2005 e 2007, sendo que o trimestre consecutivo com maior ocorrência de chuvas é de novembro a janeiro, o que equivale a 51,6% do total precipitado, e o trimestre mais seco se encontra de junho a agosto representando 4.9% do total precipitado (MARCHIORO,2011). As temperaturas médias foram de 23,1°C, sendo o mês de fevereiro o mais quente com média de 26,4°C e o de junho o mais frio com temperaturas de 19,9°C (GONÇALVES et al. 2006; MARCHIORO,2011).

2.1.3. Geologia e Relevo

O relevo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó é pouco montanhoso, caracterizado por áreas de elevações baixas com altitudes de 121m, com elevações médias de 250m, e com 651m na área com maior altitude na micro-bacia (MORAES, 2007), está inserida ainda na unidade geomorfológica da Depressão Interplanáltica com Alinhamentos Serranos do Norte-Noroeste Fluminense (DANTAS, 2000), que se caracteriza por apresentar contraste brusco entre feições homogêneas de colinas, morros e morrotes associados aos alinhamentos serranos elevados (MARCHIORO, 2011). Na figura 4 podemos observar o relevo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó restituído do MDE.

Figura 4 – Modelo digital de elevação MDE com hidrografia



Fonte: O autor (2015)

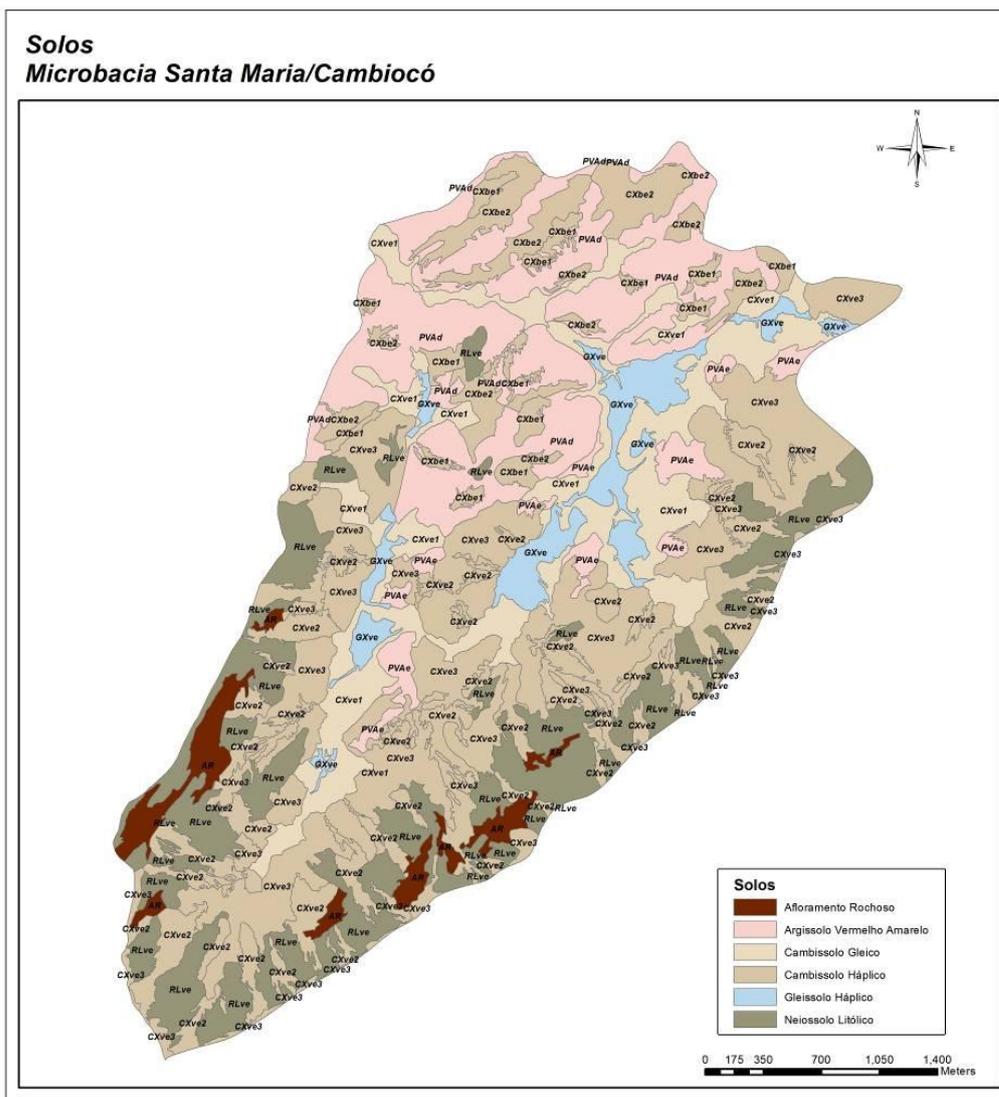
Quanto a geologia da micro-bacia observa-se três unidades geológicas predominantes: a de São José de Ubá/Vista Alegre (Complexo Juiz de Fora), formada por hiperstênio que possui características metamórficas, com granulação fina, coloração cinza-esverdeada, maciça e foliada, o Catalunha (Complexo Paraíba do Sul) composto por associação entre migmatitos e rochas metamórficas extremamente heterogêneas como gnaisses, às vezes com grafita e cordierita, e por fim os Sedimentos quaternários que são originados dos sedimentos depositados pelos rios nas planícies de inundação (REIS & MANSUR, 1995; MARCHIORO et al., 2011).

2.1.4. Tipos de Solos e Uso do solo

Os solos da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó levantados no trabalho de Bhering et al (2005) foram agrupados em quatro grandes classes os Cambissolos (CXbe1, CXbe2, CXve1, CXve2 e CXve3), os Argissolos (PVAd e PVAe), o Neossolos (RLve) e por fim o Gleissolos (GXve) (OTTONI, 2005; BELLON 2014).

Os tipos de solos que predominam na micro-bacia são os Cambissolos (CXbe1, CXbe2, CXve1, CXve2 e CXve3). Eles recobrem cerca de 44% do território da micro-bacia, enquanto os Argissolos (PVAd e PVAe) representam 18,5%, os Neossolos 16,7% e os afloramento de rocha cerca de 20,8% (BELLON, 2014). Os Cambissolos e os Gleissolos se encontram nas áreas baixas da micro-bacia enquanto os Argissolos nos vales ondulados e nas encostas (OLIVEIRA, 2005), como podemos observa na figura 5.

Figura 5 - Mapa de solos da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó



Fonte: O autor, 2015.

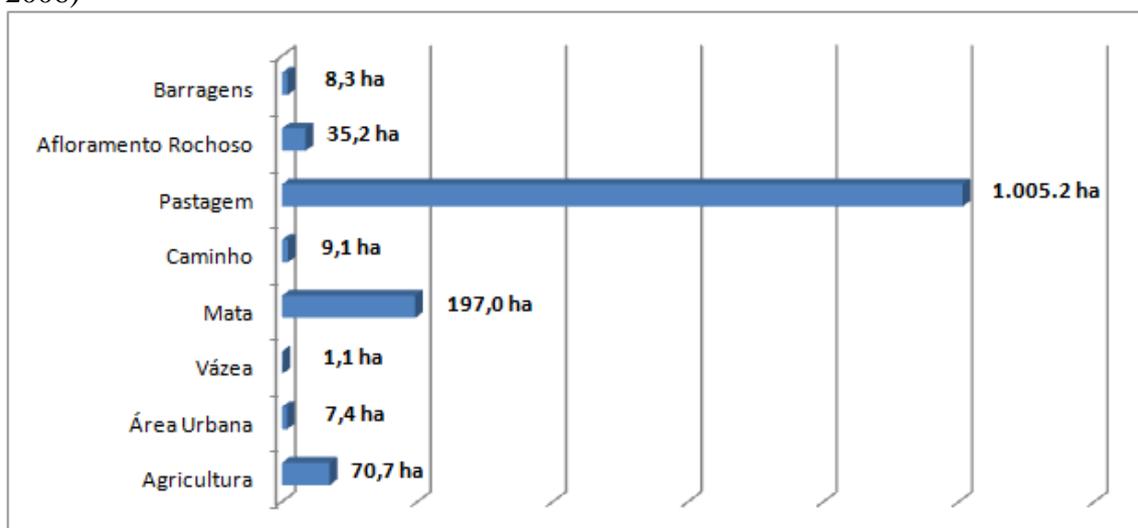
2.1.5. Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo na micro-bacia sofreu com a drástica redução da cobertura florestal para dar lugar as lavouras de café no século XIX, como ocorreu em toda a região noroeste fluminense, e posteriormente com a crise café as lavouras foram substituídas por pastos, para a criação de gado de forma extensiva, agravando os problemas e erosão e assoreamento dos rios e córregos.

Atualmente grande parte do uso do solo da micro-bacia é composto por pastagem, porém nas últimas décadas houve grande aumento das áreas plantadas, principalmente os plantios tutorados de tomate que tornaram o município de São José de Ubá, onde a micro-bacia esta inserida um dos maiores produtores de tomate do país e o 2º maior produtor do estado do Rio de Janeiro, chegando a produzir cerca de 7milhões de caixas (cada caixa contem 23Kg) (EMATER, 2009).

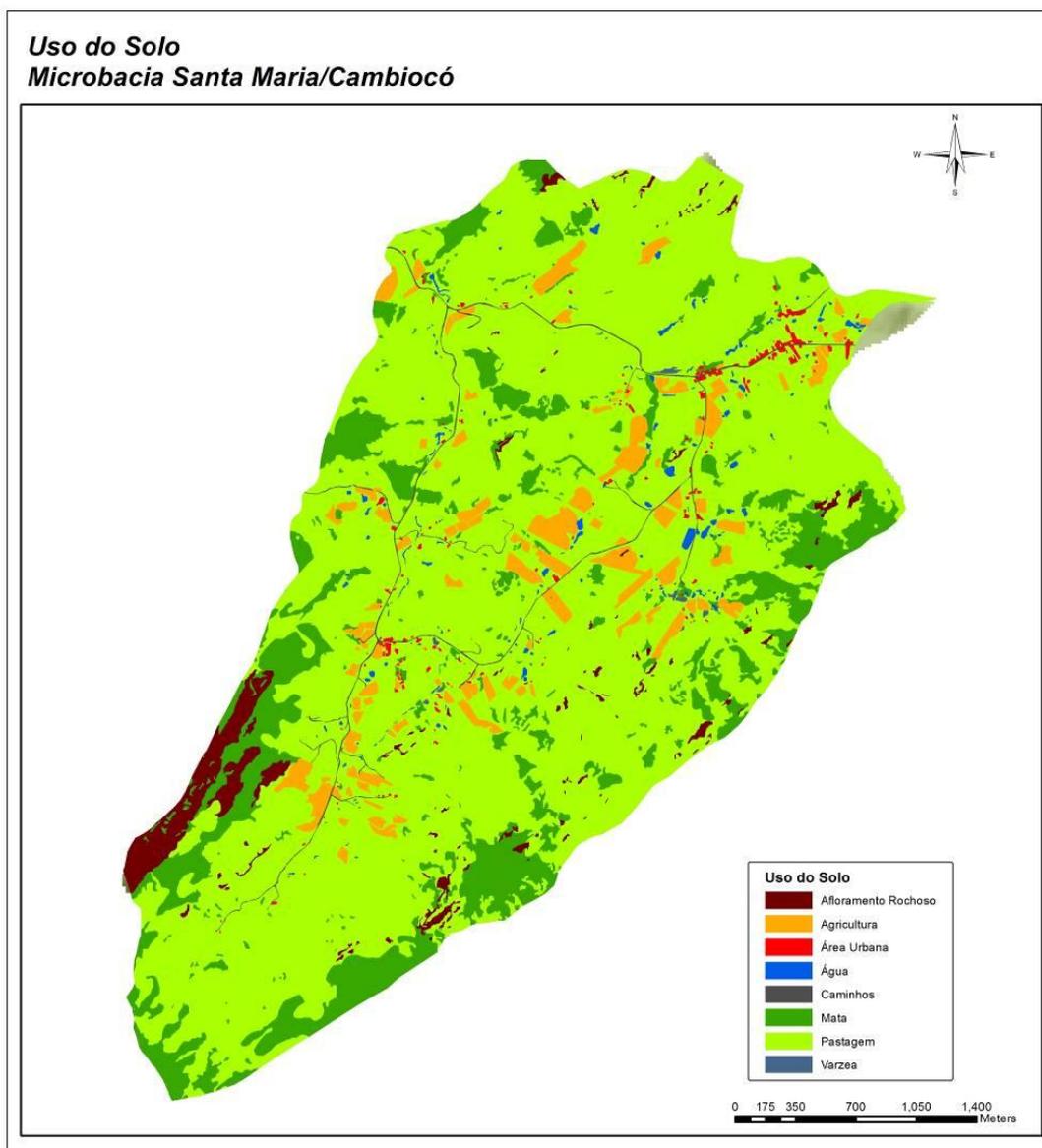
O uso e ocupação do solo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó que serviu de base para este estudo foi restituído de ortofotos do ano de 2006, e neste ano o uso do solo da micro-bacia apontava as seguintes proporções: afloramento rochoso 2.6% (35.2ha), agricultura 5.3% (70.7ha), água 0.6% (8.3), área urbana 0.6% (7.4ha), caminho/estradas 0.7% (9.1ha), mata 14.5% (197.0ha) , pastagem 75.6% (1.005.2 há) e várzea 0.1% (1.1ha) . Podemos observar estes dados do nas figuras 6 e 7.

Figura 6 – Gráfico do uso e ocupação do solo da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó (Ano de 2006)



Fonte: O autor, 2015.

Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó (2006)

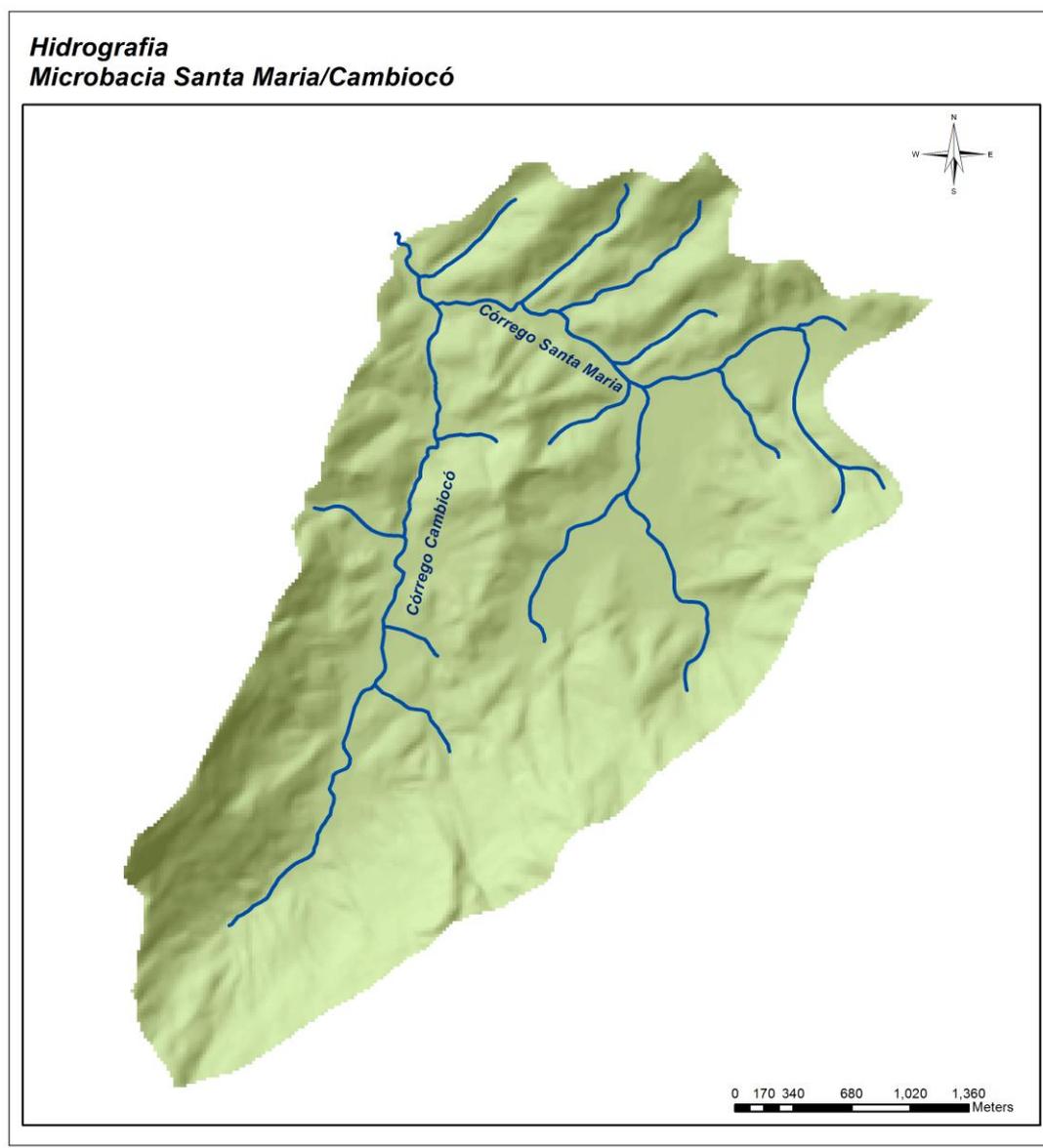


Fonte: O autor, 2015.

2.1.6. Rede de drenagem e hidrologia

A rede de drenagem na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó é caracterizada como dendrítica (forma semelhante a ramos de uma árvore), que é decorrente de sedimentos horizontais ou rochas cristalinas homogêneas (SUMMERFIELD, 1991). Sendo constituída por pequenos córregos de primeira e segunda ordem, dentre os quais se destacam o córrego Santa Maria e o Cambiocó, como podemos observa na figura 8, estes são afluentes do Rio São Domingos, que por sua vez é afluente do Rio Muriaé que drena suas águas para o Rio Paraíba do Sul (MORAES, 2007).

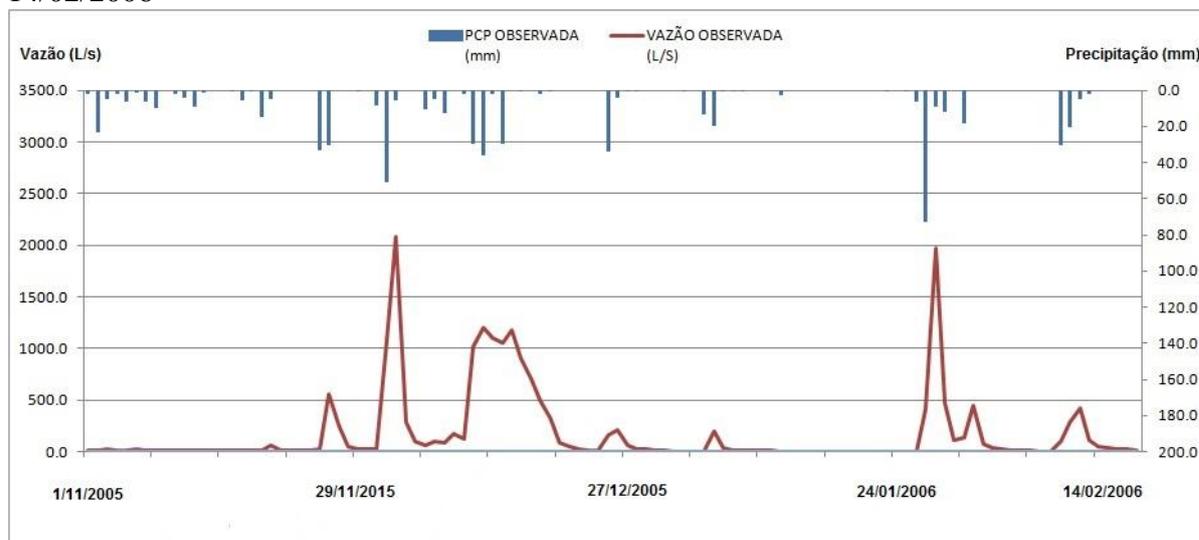
Figura 8 – Mapa Hidrográfico micro-bacia Santa Maria/Cambiocó



Fonte: O autor, 2015.

Segundo os estudos hidrometeorológicos realizados por Moraes (2007), no período de abril de 2005 até agosto de 2006 na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, foi constatado mensurando a vazão no exutório da micro-bacia, que a maior vazão média mensal se deu em dezembro de 2005 correspondente a 293L/s, enquanto nos meses de junho, julho e agosto de 2006, ocorreram vazões nulas, abaixo do nível dos instrumentos de mensuração, e nos demais meses, as vazões ficaram abaixo de 106L/s, predominando valores inferiores a 84L/s, podemos observar os dados supracitados no hidrograma na figura 9 (MORAES, 2007; BELLON, 2014).

Figura 9 – Hidrograma da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó no período de 1/11/2005 a 14/02/2006



Fonte: Bellon, 2014

Moraes (2007) identificou também através do seu estudo sobre o balanço hídrico da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó um déficit hídrico, que corresponde a cerca de 320mm anuais, valores que também são observados nos municípios da região noroeste fluminense (BELLON, 2014).

2.2. Aspectos socioeconômicos

Uma estimativa da população da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, no ano de 2006 apontou que aproximadamente de 672 moradores viviam nas localidades, dos quais, 448 estão concentrados na vila de Santa Maria, e 224 na vila de Cambiocó (BRANDÃO, 2005).

Brandão (2005) em sua pesquisa na mesma área de estudo, constatou que a maior parte da população da micro-bacia estava ligada a atividade agrícola, porém se constatou que muitos moradores têm mais de uma atividade, sendo as atividades não agrícolas mais citadas nas pesquisas as de aposentado, comerciante, do lar, estudante, funcionário público e motorista.

Para Santos (2006) as principais características socioeconômicas da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó se subdividem em três aspectos: (i) conflitos existentes no uso dos recursos hídricos pelos agricultores, (ii) aumento crescente dos custos de manutenção da infraestrutura de produção, inclusive com os solos, e (iii) diminuição da qualidade vida nas comunidades locais .

Alguns aspectos socioeconômicos estão relacionadas aos conflitos quanto ao uso da água que ocorrem normalmente nos períodos de estiagem quando a vazão dos córregos diminui consideravelmente. Os agricultores localizados a montante nos córregos represam as águas dos rios para formar pequenas barragens, a fim de viabilizar a irrigação de suas lavouras. Essa prática é geradora de conflito, à medida que os agricultores localizados a jusante nos córregos, sofrem com o comprometimento das disponibilidades hídricas para irrigação de suas lavouras.

Quanto ao aumento do custo de produção, este é decorrente da associação de diversos problemas ambientais da micro-bacia. Pode-se citar a compra de insumos agrícolas para a reposição de nutrientes dos solos (perdidos em decorrência dos processos de erosão e lixiviamento), custo com o bombeamento da água para locais cada vez mais distantes das fontes de água, este custo com bombeamento ocorre pelo desaparecimento de nascentes e córregos, tornando as distâncias para o captar água cada vez maiores, e por fim a diminuição da qualidade de vida dos moradores decorrentes da falta de saneamento e uso indevido e indiscriminado de agrotóxico nas lavouras (SANTOS, 2006; SANTOS & CASTRO, 2005; MORAES 2007).

Os levantamentos realizados pela EMATER-Rio, incluídos no Plano Executivo da Micro-bacia (PEM), contribuem para o entendimento da dinâmica socioeconômica da micro-bacia. O PEM inclui elementos para o planejamento e diagnóstico. Esses levantamentos e o próprio PEM tiveram por objetivo principal a implantação do programa Rio Rural, que conta com financiamento do Banco Mundial. O Programa Rio Rural busca promover a recuperação de áreas degradadas, reflorestamento de nascentes e a promoção de manejos agrícolas mais eficientes em toda a região noroeste do estado do Rio de Janeiro.

O PEM conta com documentos preenchidos de forma conjunta com os agricultores da micro-bacia, mediado por técnicos extensionistas da EMATER-Rio, e nele são apontados pelos moradores os principais problemas encontrados, assim como, segundo os próprios, a indicação de caminhos para a solução dos mesmos. Na tabela 3 foi consolidado o diagnóstico dos problemas da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó.

Tabela 3 – Diagnostico de problemas da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó PEM – Rio Rural (adaptada pelo autor).

Problemas Priorizados	Causas	Soluções	Ações em Andamento	Atividades
<u>Falta d'água/ Rios</u>	Nascentes desprotegidas Matas ciliares inexistentes Distribuição Ineficaz	-Preservação de nascentes e matas ciliares -Melhoria abastecimento domiciliar	-Pleitos municipais com a FUNASA para melhoria de abastecimento domicilia	-proteção de nascentes -recuperação de mata ciliar -Expansão do abastecimento domiciliar -Expansão do abastecimento domiciliar nas propriedades
<u>Desmatamento</u>	Poucas áreas de mata e as existentes estão degradadas	Reflorestamento ou enriquecimento de remanescentes	-reconhecimento de tais áreas e conversas para instalação destes projetos	-curso de educação ambiental -financiar áreas de reflorestamento/ enriquecimento de áreas degradadas -Implantação de área de cultivo mínimo/plantio direto
<u>Comercialização</u>	Falta de opção de compradores Inadimplência Falta de capital do produtor Burocracia nos créditos	-feira livre -revitalização do CEASA -introdução ao cooperativismo -formação de grupos de compra de insumos e comercialização	-há projeto de feira livre em pleito municipal -há processo de municipalização do CEASA junto ao governo do estado	-reunião com o setor público municipal e estadual para revitalização do CEASA e o funcionamento da feira livre -curso sobre cooperativismo -curso sobre comercialização
<u>Esgoto</u>	-Falta Tratamento	- projeto para construção de estação de tratamento e fossas sépticas	-as casas construídas pela prefeitura já estão com fossas individuais e coletivas, há projeto para construção de fossas e estação de tratamento na comunidade	-Reunião com a prefeitura para solicitar um projeto de construção de fossas individuais na comunidade -Mão-de-obra comunitária para construção das fossas sépticas nas propriedades -Expansão da infraestrutura de tratamento dos esgotos e efluentes domiciliares das comunidades
<u>Irrigação</u>	-Uso Inadequado	-Irrigação por gotejamento	-Três áreas implantadas na micro-bacia do	-palestra de sensibilização da comunidade para

<i>Irrigação</i>			valão do barro branco	mudança de sistema de irrigação -financiamento de sistema de irrigação por gotejamento para reorientação do sistema produtivo
------------------	--	--	--------------------------	---

Fonte: PEM Santa Maria/Cambiocó , 2009.

Podemos observar que as características socioeconômicas apontadas no trabalho de Santos (2006) se confirmam com os apontamentos resultantes do PEM, nos dando assim uma base sólida para a compreensão deste aspecto da área de estudo.

2.3. Classificação do Uso e Ocupação do Solo da micro-bacia

Os dados de uso do solo constituem dado essencial para o processamento do modelo SWAT, é com base nele e nos dados de declividade e geomorfologia que são geradas as URH (Unidades de resposta hidrológica), que são a base de cálculo das equações da fase terrestre do ciclo hidrológico, e a consequente resposta hidrológica simulada pelo modelo referente à bacia.

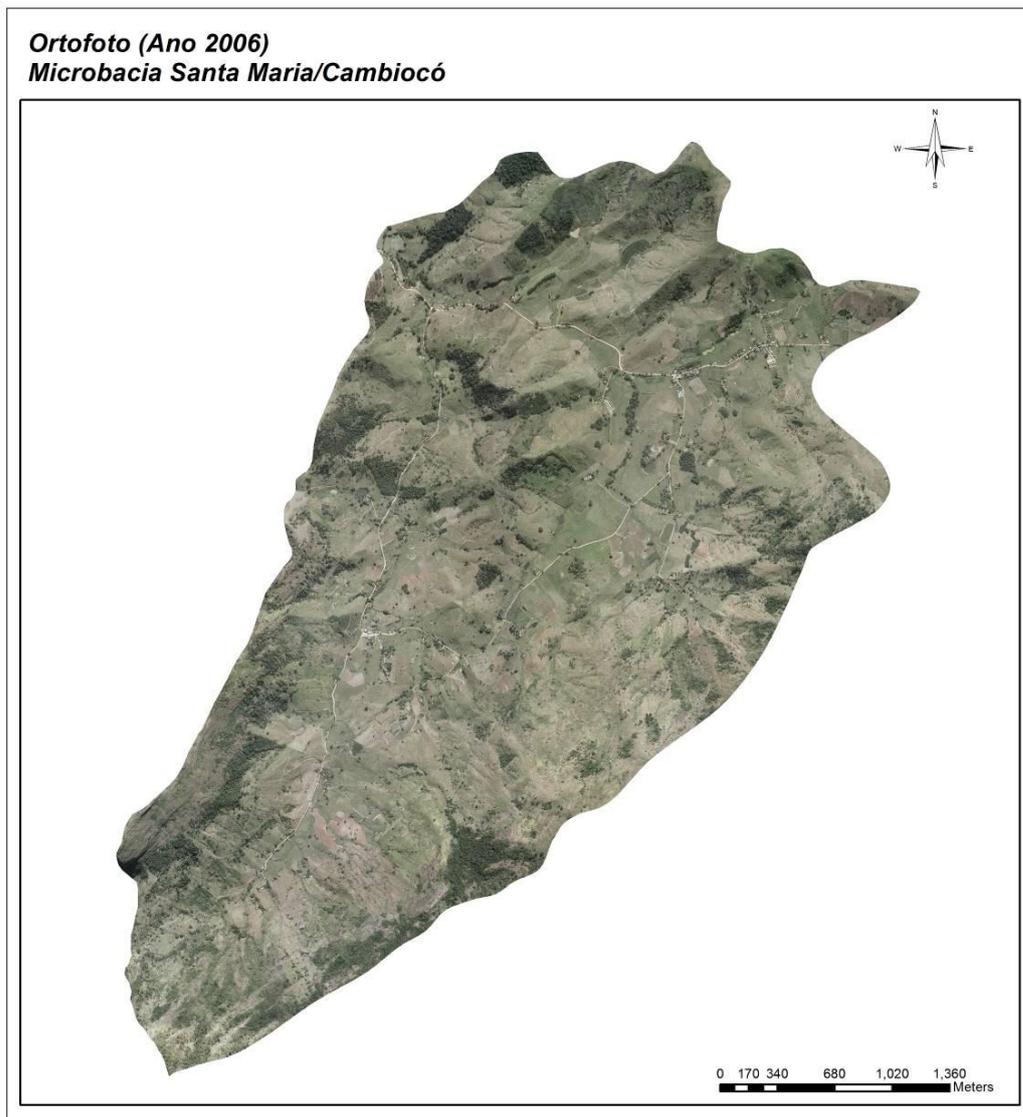
A realização de uma nova classificação do uso do solo da área de estudo, se fez necessário em decorrência da incompatibilidade dos dados disponíveis para a área de estudo, pois os dados de precipitação e vazão do exutório da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó disponíveis, se referem aos dados obtidos no estudo de Moraes (2007) que abrangem o período de abril de 2005 a agosto de 2006, e os dados digitais de uso do solo da micro-bacia em escala 1:10.000 cedidos pela Secretaria Estadual de Agricultura e Pecuária foram obtidos após classificação de Imagem do satélite Ikonos do ano de 2001.

Sendo assim, para que se assegurasse a qualidade dos dados de entrada no modelo SWAT e a sua consequente simulação, foi descartada a possibilidade de se utilizar dados de precipitação referentes ao ano de 2005/2006 e dados de uso do solo do ano de 2001, o que poderia gerar erros na série de vazões simuladas pelo modelo, para minimizar e/ou eliminar esta possibilidade optou-se então em realizar uma nova classificação do uso e ocupação do solo da micro-bacia com dados de sensoriamento remoto que abrangessem o ano da série de precipitação e vazão monitoradas.

Como base para a nova classificação proposta do uso e ocupação do solo da micro-bacia, foi utilizada uma imagem obtida através de técnica de aerofotogrametria do ano de

2006, ano este que corresponde ao fim da série de precipitação e vazões disponíveis para a micro-bacia, a ortofoto (imagem obtida por aerofotogrametria) da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó é resultante de um extenso mapeamento de todo o estado do Rio de Janeiro no ano de 2006, em escala de 1:15.000, financiado pelo INEA e IBGE com o intuito de se atualizar os dados cartográficos de todo o estado do Rio de Janeiro, podemos observar a imagem da ortofoto na figura 10 .

Figura 10 – Ortofoto da micro-bacia Santa Maria/Cambiocó (ano de 2006)



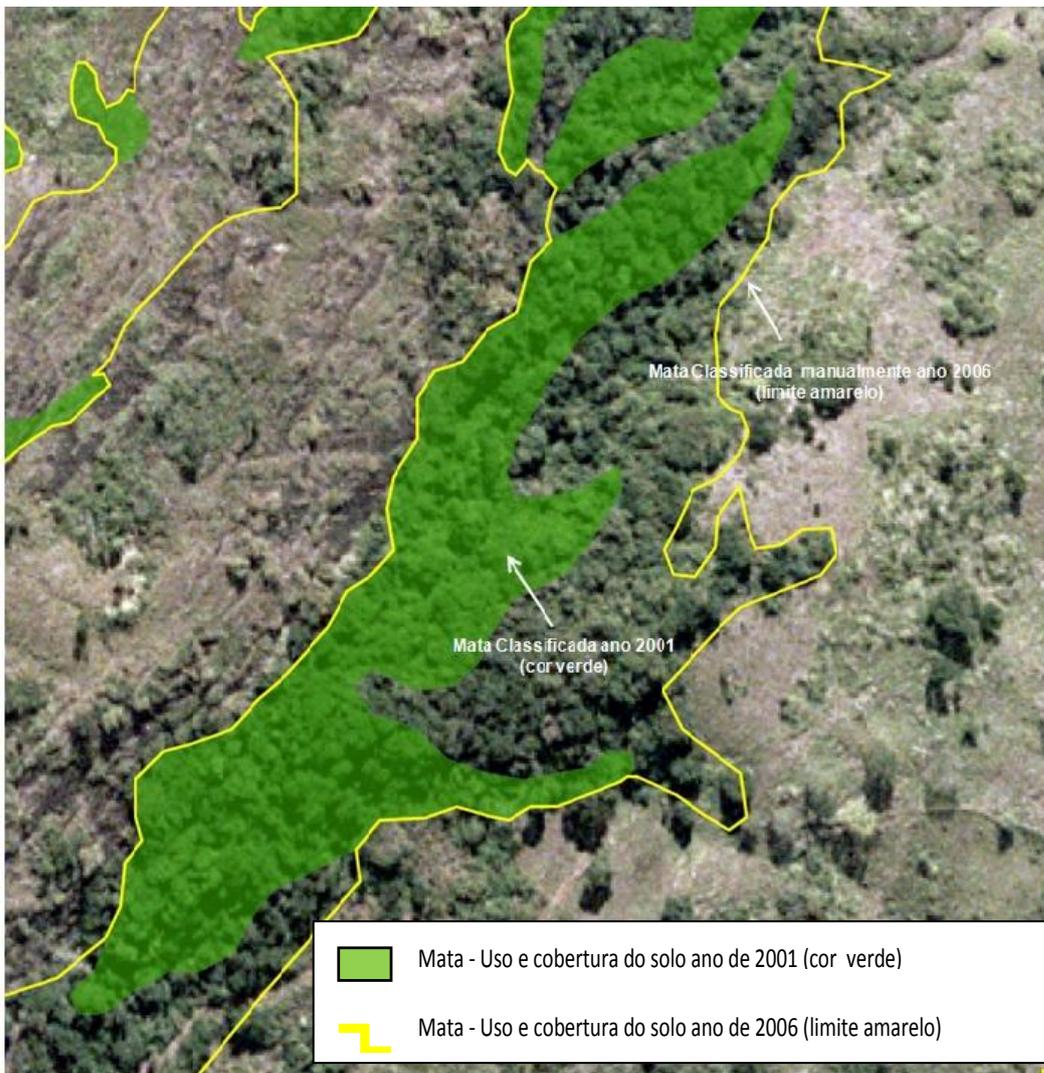
Fonte: O autor, 2015.

Após aquisição da imagem (SF24-V-C I-3-SO), referente a área de interesse do banco de dados espaciais do IBGE (ftp://geoftp.ibge.gov.br/imagens_aereas/ortofoto), esta foi recortada através do comando *Extract By Mask* no ArcGis10.1 obedecendo os limites da micro-bacia,

com estas etapas vencidas analisou-se a qualidade da imagem, que tem resolução espacial de 60cm por pixel, e constatou-se que ela poderia ser utilizada para a nova classificação do uso do solo da micro-bacia para o ano de 2006.

Como a ortofoto disponível já se encontrava fusionada, sem a separação de bandas espectrais, a classificação da imagem por métodos automáticos e semiautomáticos, não produziria um resultado satisfatório, sendo assim a opção pela interpretação da imagem de forma manual, se mostrou mais coerente, utilizando como base a classificação do uso do solo da micro-bacia existente para o ano de 2001, para realizar a classificação do ano de 2006. Podemos observar na figura 11 como ficou a nova classificação do uso e ocupação do solo para o ano de 2006, referente a ortofoto.

Figura 11 – Comparação entre a classificação do uso do solo 2001 e de 2006 (manual).



Fonte: O autor, 2015.

2.4 Geração das Áreas de Proteção Permanente (APP)

As APP`s da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó foram geradas para compor o cenário (hipotético) de uso e ocupação do solo da micro-bacia, caso esta estivesse equalizada com a atual legislação ambiental (Lei12.651), e qual seria a consequente resposta hidrológica desta mudança no uso e ocupação do solo simulada no modelo SWAT.

A simulação deste cenário no qual o território da micro-bacia tem implementadas suas APP`s, tem o intuito de simular a resposta hidrológica da micro-bacia, mas também demonstrar aos moradores e tomadores de decisão que o respeito a legislação ambiental pode provocar a melhoria da qualidade e quantidade de água disponível na micro-bacia, para o consumo humano e irrigação das lavouras e pastagens, com isso a “perda” de áreas, como comumente os agricultores se referem as áreas de APP e Reserva Legal em suas propriedades, pode significar maior disponibilidade hídrica e consequentemente aumento de produtividade, o que compensaria assim, as áreas cedidas a preservação permanente.

As APP`s na micro-bacia foram geradas utilizando técnicas de geoprocessamento no ambiente ArcGis, com a utilização de dados georreferenciados dos rios, nascentes e topografia (MDE). As áreas de Reserva Legal não foram consideradas neste estudo, pois mesmo elas sendo previstas no código florestal como áreas de preservação, o presente estudo não teria tempo hábil para identificar as áreas de Reserva em todas as propriedades da micro-bacia, como isso nos propomos a identificas as APP`s de mata ciliar, declividade, em torno de nascentes e de todos de morro, pois estas podem ser obtidas remotamente através de técnicas de SIG, diferentemente das Reserva Legal que necessitariam de entrevistas e identificação em campo das reservas em todas as propriedades da micro-bacia.

2.4.1 Geração das APP`s de Mata Ciliar

As APP de mata ciliar foram geradas com base no levantamento dos dados digitais georreferenciados dos córregos e rios do estado do Rio de Janeiro em escala de 1:25.000 pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no ano de 2014. Com os dados dos córregos em ambiente SIG foram gerados polígonos de 30m entorno das duas margens dos córregos, utilizando o comando *Buffer* inserido na ferramenta *Analysis Tools* do ArcGis 10.1.

Foram gerados polígonos de 30m a partir das margens dos rios, pois a legislação vigente considera APP de mata ciliar as faixas marginais de qualquer curso d'água natural

perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura (BRASIL, 2012).

2.4.2 Geração das APP's de Entorno das Nascentes

As APP de nascentes segundo o código florestal são as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros (Lei 12.651), sendo assim utilizou-se a mesma ferramenta do ArcGis para gerar polígonos entorno das nascentes encontradas com nos dados digitais de hidrografia da micro-bacia (INEA, 2014).

Utilizando a ferramenta *Buffer*, no ambiente ArcGis foi gerado um polígono com raio de 50m entorno das nascentes da micro-bacia, totalizando uma área de APP de nascente de 12.4 hectares, o que representa 0.93% do total da área da micro-bacia.

2.4.3 Geração das APP's de Encosta

O novo código florestal faz menção em seu texto a duas classes de declividade, sendo a classe de 25° a 45° de inclinação são áreas de uso restrito, porém é permitido o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social (BRASIL, 2012).

A classe com 45° de inclinação ou mais, são definidas como áreas de proteção permanente APP's, para a geração deste dado em ambiente SIG foi utilizado o MDE como dado principal, em seguida a ferramenta *Slope* no *3D Analyst*, gerando assim um mapa de declividades da micro-bacia, para identificação dos dados referentes a 45° ou mais de inclinação, em seguida foi reclassificado o mapa de declividades para duas grande classes, <45° e >45°, utilizado a ferramenta *Reclassify do 3D Analyst*, e como resultado, obtive-se duas classes de declividade, sendo a classe que continha valores menores de 45° de inclinação descartadas e inclinação maiores de 45° utilizadas como APP's de declividade da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó.

2.4.4 Geração das APP's de Topo de Morro

As áreas da APP de topo de morro sofreram alteração no novo código florestal, a alteração mais significativa está na mudança na altitude em relação ao ponto de sela, que deve ser superior a 100m. Na legislação anterior bastava que o morro apresentasse uma altitude de 50m em relação a base ou ponto de sela do morro para que o topo fosse considerado como APP.

Atualmente a legislação considera as áreas de APP de topo de morro como morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (BRASIL, 2012).

2.5 Cenários de uso e ocupação do solo e criação das URH para simulação no SWAT

Este trabalho tem como objetivo geral entender como as mudanças no uso e ocupação do solo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, modificam sua resposta hidrológica, para isso serão utilizadas como entrada para simulação no modelo SWAT, dois cenários de uso e ocupação do solo, sendo possível assim comparar e analisar a relação destes cenários com a resposta hidrológica da micro-bacia.

O uso e ocupação do solo do ano de 2006 será denominado Cenário 1, pois foi a partir deste dado de uso do solo que o modelo foi calibrado e verificado, utilizando os dados de vazão e precipitação da micro-bacia monitorados por Moraes (2007), este cenário retrata a situação real da micro-bacia neste ano, e com base no banco de dados disponível, o entendimento, e a calibração do modelo para esta realidade nos permitirá simular cenários futuros, planejados e melhorados, permitindo assim demonstrar aos tomadores de decisão e moradores da região, através de dados simulados pelo modelo SWAT, como o a mudança no uso e ocupação do solo na micro-bacia provocaria mudanças na disponibilidade de água e na qualidade de vida dos moradores.

O cenário que estamos propondo para comparar como o uso do solo de 2006 (Cenário 1), é a composição deste uso e ocupação do solo com exigências legais previstas para as áreas de preservação permanente APP, do novo código florestal, em síntese é atribuir ao uso do

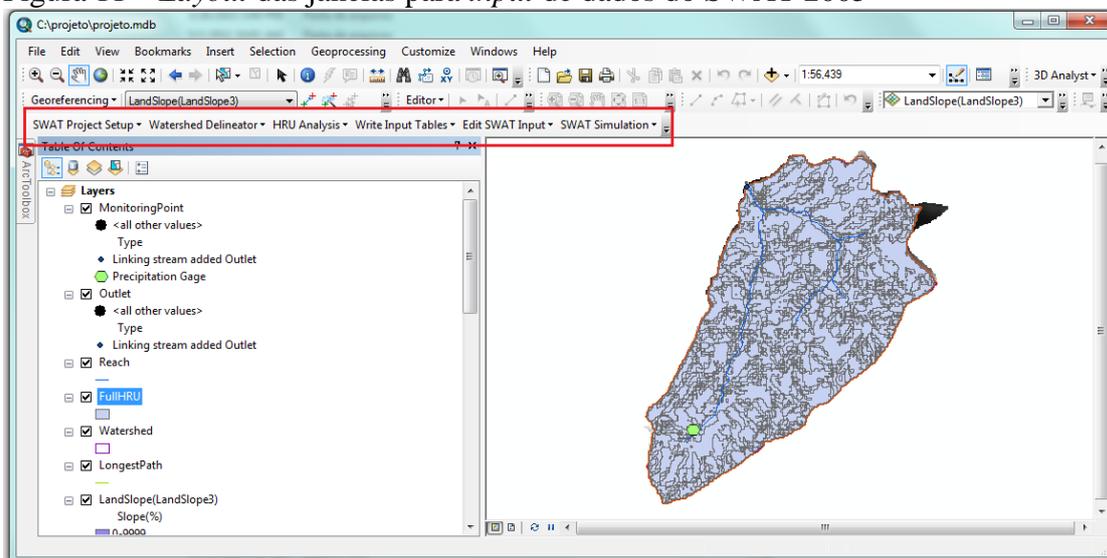
solo da micro-bacia as áreas que por lei deveriam ser protegidas, as APP's, e assim entender a importância das APP's para o balanço hídrico da micro-bacia. O Cenário 2 fica então caracterizado como a composição do uso e ocupação do solo com as áreas de APP da micro-bacia.

2.6 Estruturação dos dados de entrada do SWAT

Os dados de entrada do modelo SWAT foram estruturados de acordo com as orientações contidas em Winchell et al. (2005), *ArcSWAT for SWAT 2005 – User's Guide*, guia para implementações de projetos no modelo, ele demonstra os passos, e os dados mínimos necessários para a implementação do SWAT (BELLON, 2014).

O SWAT é acoplado ao ArcGis 9.3, e estruturado em várias janelas para entrada de dados, sendo a sequência apresentada na *interface* a forma correta de *input* dos mesmos, em deacordo com a ordem a seguir: (i) *SWAT Project Setup*, (ii) *Watershed Delineator*, (iii) *HRU Analysis*, (iv) *Write Input Tables*, (v) *Edit SWAT Input* e (vi) *SWAT Simulation*, como podemos observamos na figura 11.

Figura 11 – *Layout* das janelas para *input* de dados do SWAT 2005



Fonte: O autor, 2015.

Os dados de entrada no modelo foram estruturados em dois banco de dados distintos, um banco para o cenário 1 (*c:/projeto/cenario1*) e outro para o cenário 2 (*c:/projeto/cenario2*), esta distinção foi necessária, pois foram realizadas duas simulação com

dados de uso e ocupação do solo diferentes, o que não seria impossível se fosse feito em um mesmo projeto em decorrência da geração das URH serem distintas nos dois cenários.

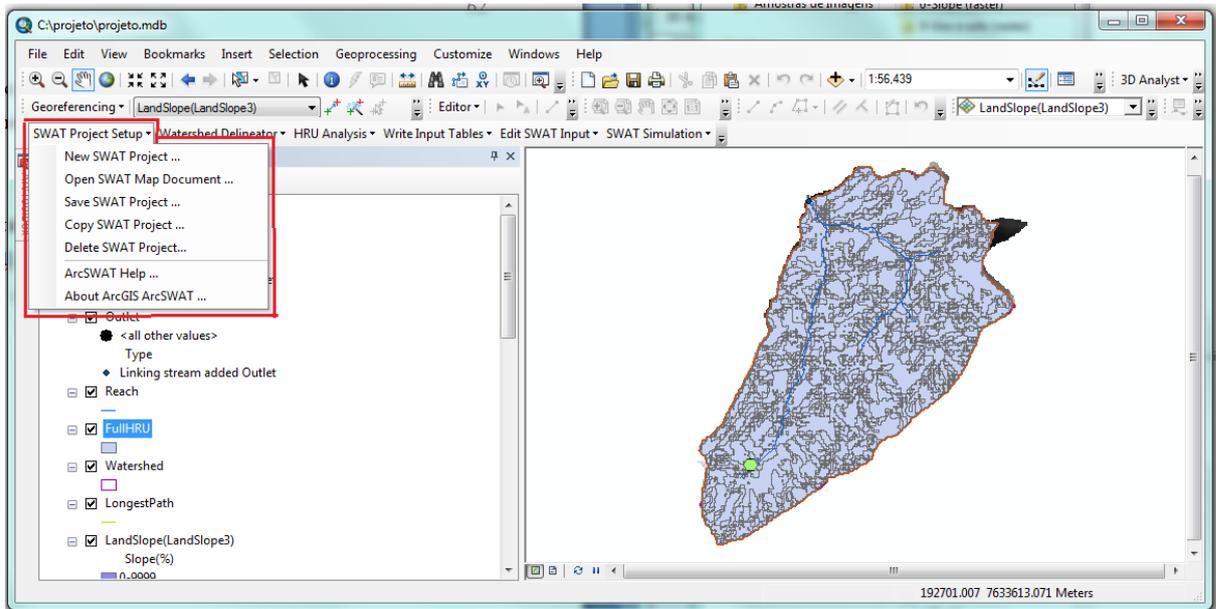
No banco de dados do cenário 1 e 2 constam os seguintes dados geoespaciais e tabulares referentes a micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó:

- 1) Hidrografia em escala 1:15.000 (Shapefile)
- 2) Uso e ocupação do solo 2006 (cenário 1) e uso e ocupação do solos 2006 + áreas de APP em escala 1:10.000 (Shapefile)
- 3) Solos da micro-bacia escala 1:15.000 (Shapefile)
- 4) Dados tabulares referentes aos parâmetros físico-hídrico dos solos da micro-bacia (Profundidade do solo, densidade volumétrica saturada, disponibilidade de águas, conteúdo de carbono orgânico, condutividade hidráulica, conteúdo de argila, conteúdo de silte, conteúdo de areia, conteúdo de rocha e albedo do solo saturado).
- 5) Áreas de APP na micro-bacia 1:15.000 (Shapefile)
- 6) MDE em escala 1:15.000 (Raster)
- 7) Imagem Ikonos 2001 em escala 1:10.000 (Raster)
- 8) Ortofoto do ano de 2006 em escala 1:15.000 (Raster)
- 9) Dados tabulares de precipitação da micro-bacia de novembro de 2005 a agosto de 2006.
- 10) Dados tabulares de vazão da micro-bacia de novembro de 2005 a agosto de 2006.
- 11) Dados tabulares do gerador climático² (Médias mensais das temperaturas máximas e mínimas, desvio padrão mensal das temperaturas máximas e mínimas, precipitação mensal, desvio padrão da precipitação diária no mês, coeficiente de assimetria para precipitação diária no mês, probabilidade de ocorrer um dia úmido ocorrer depois de um dia úmido e seco no mês, número de dias com chuva no mês, precipitação mensal máxima em 30 minutos, média mensal da radiação solar diárias, média mensal da temperatura do ponto de orvalho diárias, média mensal das velocidades do vento diárias (BELLON, 2014).

² Os dados para o gerador climático foram gerados com base na estação climática do INMET de Itaperuna (1990– 2010 e 2004-2008)

Com os dados espaciais e tabulares estruturados para entrada no modelo, foram seguidos os passos estruturados por Winchell et al. (2005), iniciamos então pelo *SWAT Project Setup*, o usuário cria um projeto e define onde este e o arquivo .mdb, vão ser salvos, o arquivo .mdb armazena todos os *inputs* do modelo (Figura 12).

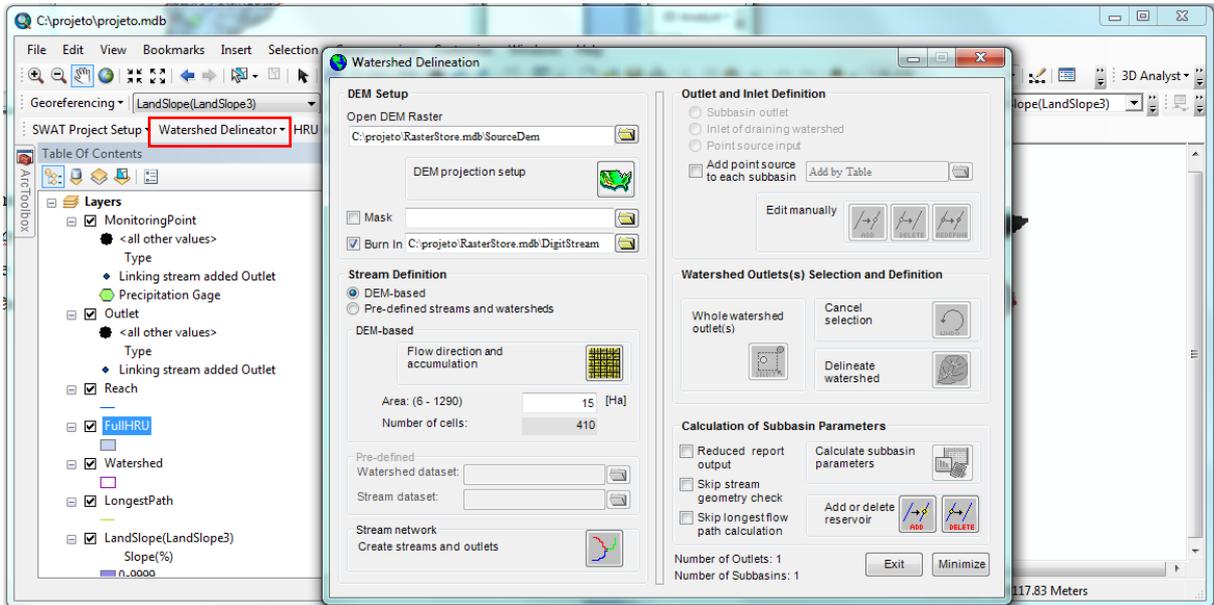
Figura 12 – *Layout* da janela *SWAT Project Setup*



Fonte: O autor, 2015.

O próximo passo é a delimitação da bacia e das sub-bacia, e da rede de drenagem, na ferramenta *Watershed Delineator*, esta pode ser feita automaticamente pelo SWAT com base no modelo digital de elevação (MDE), ou pode ser ainda inserida pelo usuário que já possua a delimitação da bacia, assim como a rede de drenagem e os pontos de exultório, como pode ser observado na figura 13.

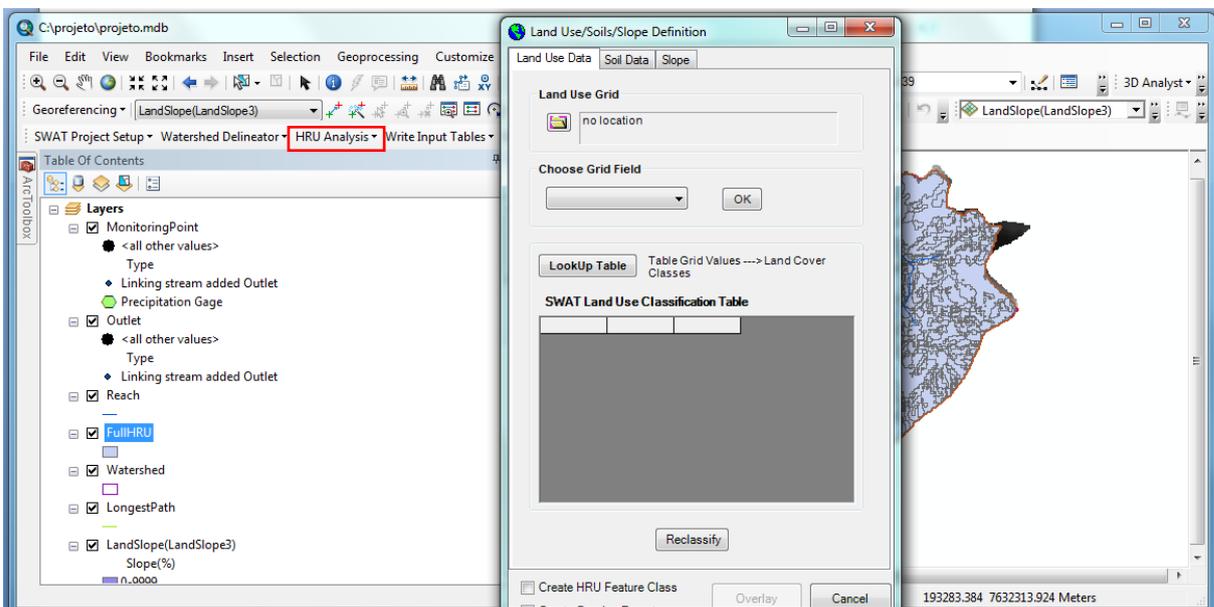
Figura 13 – *Layout da janela Watershed Delineator*



Fonte: O autor, 2015.

Após a delimitação da bacia hidrográfica e sua sub-bacias, assim como a rede de drenagem, passa-se a definição das unidades de resposta hidrológicas URH, na janela *HRU Analysis*, para que o SWAT defina as URH temas que entrar com os dados de uso do solo, solos e declividade e os reclassificar no modelo. Como os dados inseridos e reclassificados o modelo fará um *overlay* (cruzamento) dos dados e como *output* irá gerar os as URH, no formato *shapefile*. Na figura 14 podemos observa como se da a entrada dos dados.

Figura 14 – *Layout da janela HRU Analysis*

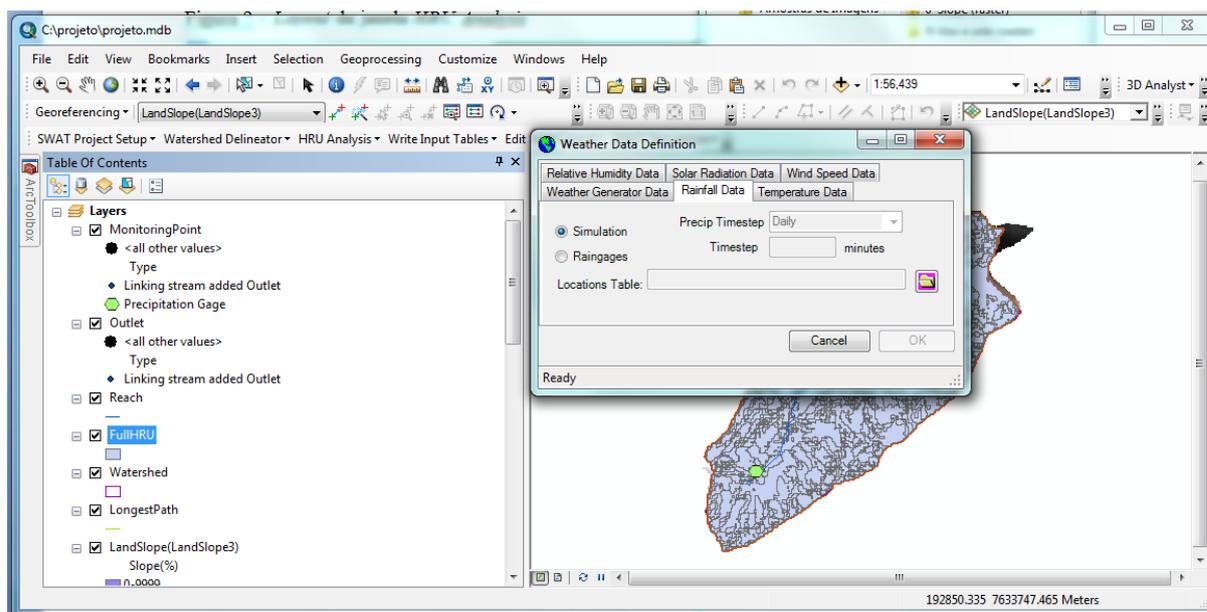


Fonte: O autor, 2015.

Com as URH's definidas o próximo passo é inserir os dados tabulares referentes as características climáticas da micro-bacia como: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, o SWAT disponibiliza um banco de dados climático para bacias não monitoradas, estes dados são baseados em modelos atmosféricos de alta resolução e estão disponíveis no período de 1979-2010, no Global Weather Data for SWAT, sendo assim caso o usuário não tenha nenhum dado da bacia em que esta trabalhando, pode fazer *download* do banco de dados e aponta-lo aqui nesta janela.

No caso do presente trabalho, não optou-se por este banco de dados do SWAT, como foi construído um gerador climático com base nos dados da estação meteorológica de Itaperuna, próxima a área de estudo, os dados nesta etapa foram simulados com base nos dados desta estação, na figura 15, podemos observar como se da a entrada dos dados.

Figura 15 – *Layout* da janela *HRU Analysis*

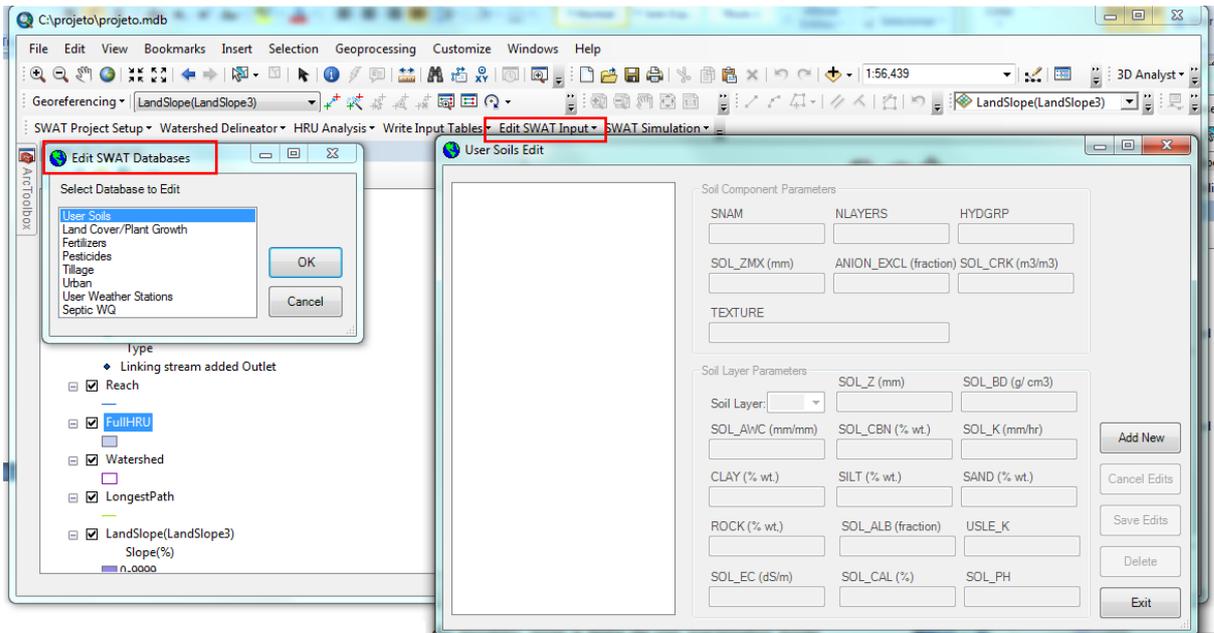


Fonte: O autor, 2015.

A próxima etapa de *input* dos dados é o *Edit SWAT Input*, nesta etapa podem ser editados todos os *inputs* do SWAT, nela também que é realizada a parametrização do modelo, os dados que pode ser editados nesta etapa são: parâmetros de uso do solo, dos solos, do gerador climático, das sub-bacias, das URH, das águas subterrâneas, do uso da água, do manejo do solo, da qualidade da água, das operações, dos balanço hídrico entre outros, como observamos na figura 16.

Esta etapa é a parte mais complexa do modelo, pois a falta de um parâmetro, assim como um parâmetro super ou subestimado pode provocar problemas na simulação, caso isto aconteça na simulação, os erros podem ser corrigidos em uma etapa posterior de calibração.

Figura 16 – *Layout* da janela *Edit SWAT Input*



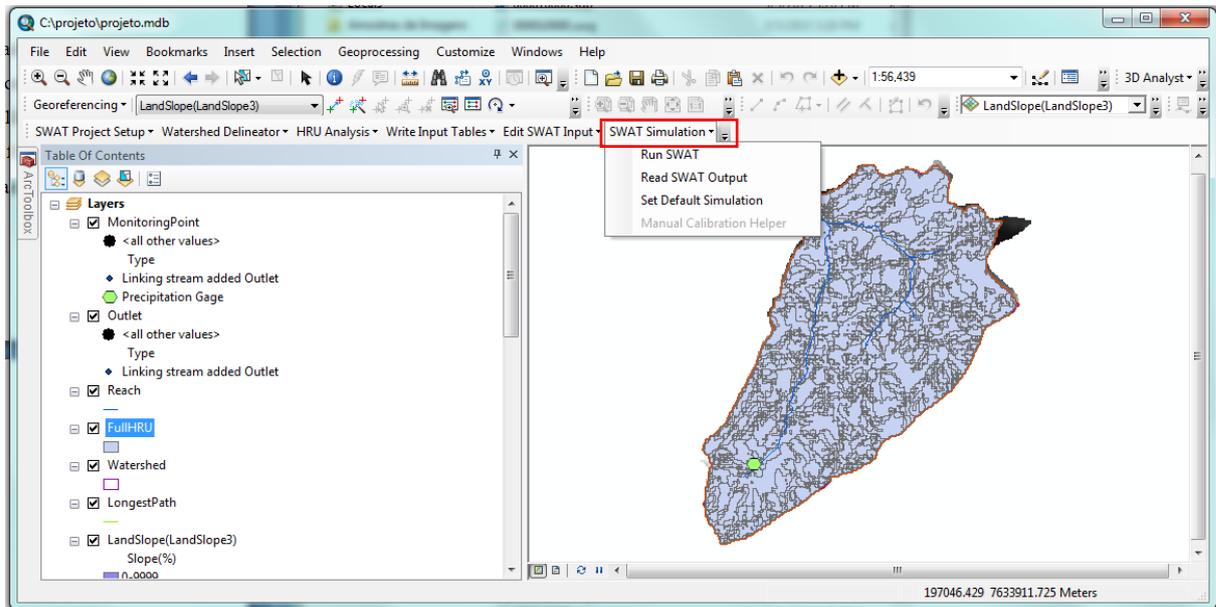
Fonte: O autor, 2015.

Por fim, a última etapa para a simulação no SWAT é o *SWAT Simulation*, com base nos *inputs* inseridos pelo o usuário, o modelo fará uma simulação da bacia hidrográfica e produzirá diversos dados de saída, de acordo com os dados que foram alimentados.

Nesta fase deverá ser inserido o período de tempo de simulação, feito isso o modelo produzirá diversos arquivos de saída, que podem ser encontrados na pasta do projeto em *c:/projeto/scenários/txtinout*, as saídas no SWAT são em *.txt*, sendo necessário usuário converter para um arquivo mais amigável para se manusear os dado, outra questão importante de se destacar que as saídas do SWAT estão em milímetros (mm), sendo necessário então realizar a conversão para m³ ou litros, por dia, hora ou segundo.

Caso a simulação não apresente um resultado coerente com os indicadores estatísticos (ver tabela 8), ou em comparação com os dados medidos em campo, é necessário realizar a calibração do modelo, para que os resultados sejam coerentes, esta calibração pode ser realizada manualmente alterando os parâmetros no *Edit SWAT Input*, ou de forma automática com o auxílio de programas de calibração e análise de sensibilidade dos parâmetros. Na figura 17, podemos observar o layout da janela *Edit SWAT Input*.

Figura 17 – *Layout da janela Edit SWAT Input*



Fonte: O autor, 2015.

2.7 Desenvolvimento do projeto no modelo SWAT

2.7.1 Discretização da micro-bacia

O modelo SWAT utiliza ferramentas do *Spatial Analyst* do ArcGis para realizar o delineamento da bacia hidrográfica com bases em dados de declividade e altitude, e são calculados a direção do fluxo de drenagem, o fluxo de drenagem acumulado, as sub-bacias e seu respectivo exultório (CASTRO, 2013).

Todos os dados necessários nesta etapa foram restituídos do MDE da micro-bacia, que tem resolução espacial de 19m, para que não houvesse conflitos nos dados produzidos pelo modelo e a rede de drenagem mapeada na micro-bacia, adicionamos o *layer* de hidrografia para que o SWAT gerasse as drenagens coerentes com as mapeadas, e consideramos somente um ponto de exultório, excluindo assim os pontos gerados pelo modelo para as sub-bacias na área de estudo. Adotamos o valor de 15ha como área de drenagem mínima para os dois cenários propostos, e com isso resultamos em uma única sub-bacia e um ponto de exultório.

2.7.2 Definição das Unidades de Resposta Hidrológicas – URH

A definição das unidades de resposta hidrológica – URH é baseada nos dados de uso do solo, de tipos de solos e declividade da micro-bacia inseridas com *inputs* no SWAT. Os dados de uso e ocupação do solo da área de estudo foram compatibilizados com a base de dados do modelo através da ferramenta *Land Couver/Plant Growth Database*, na interface do modelo, como podemos observar na tabela 4.

Tabela 4 – Compatibilização dos dados de Uso do solo no modelo SWAT

Uso e Ocupação do Solo	Uso e Ocupação do Solo SWAT	Sigla
Afloramento Rochoso	Rock	ROCK
Agricultura	Agricultural Land-Generic	AGRL
Água	Water	WATR
Área Urbana	Residential Med/Low Density	URML
Caminho	Transportation	UTRN
Mata	Florest Evegren	FRSE
Pastagem	Pasture	PAST
Várzea	Wetlands Non-Florested	WETN

Fonte: O autor, 2015.

Os dados de tipos de solo foram inseridos no modelo através da ferramenta *Edit SWAT Inputs / Databases / Edit SWAT Databases*, também inserida na interface do modelo, os dados de tipos de solo são oriundos dos levantamentos de Ottoni (2005) e Embrapa Solos (2003), sendo as camadas superiores do solo correspondente aos dados de Ottoni (2005), com profundidade de 50cm, caso houvesse truncamento por rocha, e de 70 cm caso não houvesse truncamento, as camadas inferiores são correspondentes aos levantamentos realizados pela Embrapa Solos (2003) (BELLON, 2014). Os dados dos tipos de solo inseridos no modelo constam no APENDICE B.

Posteriormente a reclassificação dos tipos de solo, como a base de dados inseridos no modelo, a próxima etapa se destina a classificação da declividade com base no MDE inserido para a delimitação da micro-bacia, optou-se pela classificação de uma classe de declividade, este critério se destinou a diminuir o número de UHRs gerados para simplificar a parametrização do modelo, sendo que os eventuais problemas relacionados a esta simplificação poderiam ser solucionados em etapas posteriores (BELLON, 2014).

2.7.3 Definição dos parâmetros climáticos

No modelo SWAT o gerador climático WXGEN (Shapley & Williams 1090), é um dos componentes essenciais para a simulação no modelo, sendo necessário a entrada de dados diários ou subdiários referentes a área de estudo. Foram inseridos no gerador climático dados de precipitação medidos em intervalo de 15 minutos por Moraes (2007) no período de abril de 2005 até agosto de 2006, sendo anexado a esta série monitorada, um período de aquecimento correspondente ao período de 31/06/2004 a 31/03/2005, que replicou os dados monitorados (BELLON, 2014).

O período de aquecimento é necessário para que se estabilizem os processos hidrológicos do solo (BLAINSKI & GARBOSSA, 2009) considerando adequado aquecimento com um ano de duração, para simulações com menos de cinco anos (NEITSCH Et al., 2004; BELLON 2014).

Para este trabalho foram utilizados os dados do gerador climático construídos por Bellon (2014), sendo esses dados inseridos no *User Weather Stations database*, na interface do SWAT, os dados foram providos com valores médios mensais das variáveis climáticas representativas da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, foram utilizados dados da estação climática de Itaperuna, operada pelo INMET em uma série de vinte anos (1990-2010), sendo utilizado programas como o WGS Excel Marco, para calcular os seguintes dados: i) Temperatura máxima ii) temperatura mínima e desvio padrão iii) precipitação e desvio padrão iv) coeficiente de assimetria da precipitação v) probabilidade de um dia seco ocorrer depois de um dia úmido vi) probabilidade de um dia úmido ocorrer depois de um dia úmido e vii) temperatura do ponto de orvalho (BELLON, 2014).

Os dados de chuva máxima de 30 dias foram obtidos pelos estudos de Moraes (2007), o de radiação solar para as latitudes de 20° a 22° em Tucci (2004) e velocidade do vento da estação de Itaperuna nos anos de 2004 a 2008 (BELLON, 2014), Apêndice B.

2.7.4 Simulação

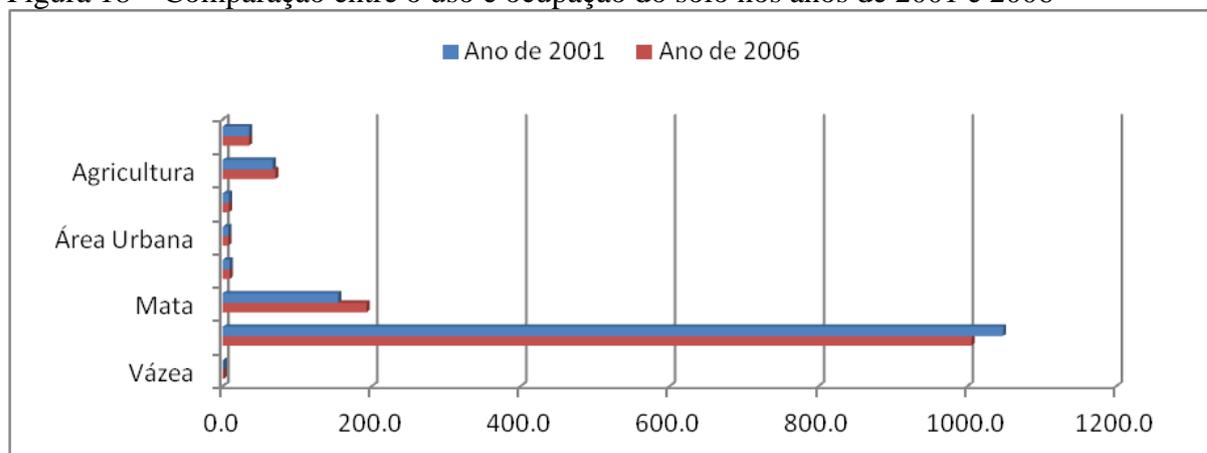
Com todos os dados inseridos na interface do modelo, sendo configurado todos os parâmetros de entrada necessários ao seu funcionamento, procedeu-se então a simulação para os dois cenários propostos de uso do solo na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, o período simulado foi de 01/04/2005 a 31/06/2008, tendo um período de aquecimento de 31/06/2004 a 31/03/2005, sendo este desprezado para as análises e resultados.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Resultado da classificação do uso e ocupação do solo

Como resultado da classificação manual do uso e ocupação do solo baseado na ortofoto do ano de 2006, foi comparada a evolução espacial do uso e ocupação do solo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó do ano de 2001 e foi observado que as modificações mais sensíveis em curto espaço de tempo, de aproximadamente 5 anos, foram referentes ao aumento das áreas de remanescentes florestais (primários e secundários) passando de 67 ha para 70.7ha - um acréscimo de 5.3% de mata em relação ao ano de 2001. Outro ponto que chamou a atenção foi a diminuição das áreas de pastagens, que deram lugar às lavouras e à regeneração das florestas, passando de 1047.9 ha em 2001 para 1005.9 ha em 2006. Um decréscimo de 4% nas pastagens da micro-bacia, conforme pode ser observado na Figura 18 e na Tabela 5.

Figura 18 – Comparação entre o uso e ocupação do solo nos anos de 2001 e 2006



Fonte: O autor

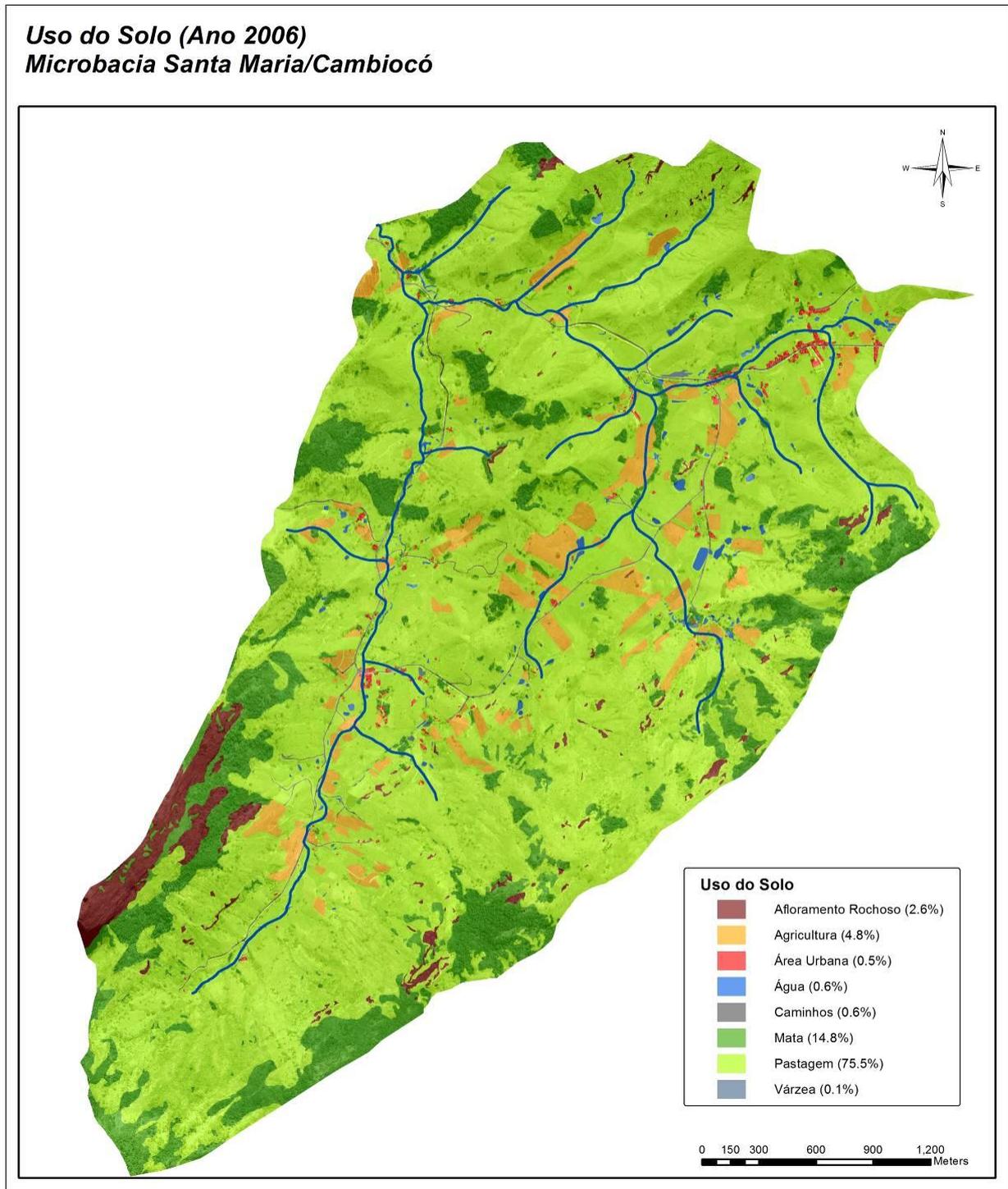
Tabela 5 - Comparação entre o uso do solo nos anos de 2001 e 2006

Classes de Uso do Solo	Ano de 2001 (ha)	Ano de 2006 (ha)
Afloramento Rochoso	35.1	35.1
Agricultura	67.0	70.7
Água	8.3	8.3
Área Urbana	7.4	7.4
Caminho	9.1	9.1
Mata	154.9	193.2
Pastagem	1047.9	1005.9
Várzea	1.1	1.1

Fonte: O autor

Como resultado final da reclassificação manual do uso e ocupação do solo da micro-bacia, foi obtido o mapa de uso e ocupação do solo no ano de 2006 (figura 13), e um indicativo de evolução espacial do uso da área de estudo.

Figura19 – Mapa de uso do solo da micro-bacia de Santa Maria /Cambiocó (ano 2006)



Fonte: O autor

3.2 Geração das Áreas de APP da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó

As áreas de APP's da micro-bacia totalizaram 128 ha, sendo deste total 4.5ha de áreas de APP de declividade, 12.4 ha de APP de nascentes e 108.1 ha de APP de mata ciliar. Em comparação com a área total da micro-bacia, as áreas de APP representam 9.6%, o que neste caso, leva a crer que as áreas destinadas a preservação permanente APP's, poderiam coexistir com as culturas agrícolas e rebanhos de animais, já que estas ocupam uma área pequena da micro-bacia, e produzem efeitos sensíveis na qualidade e quantidade de água.

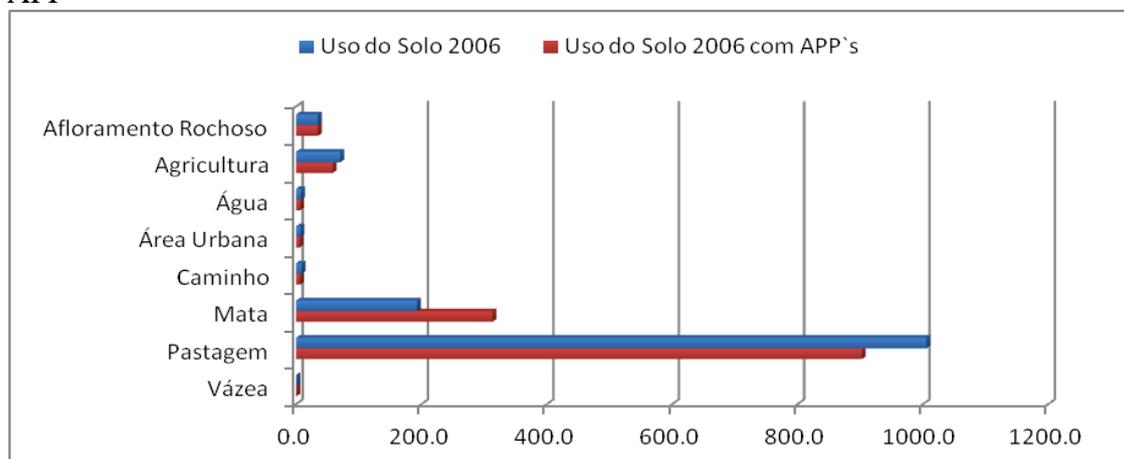
Na Tabela 6 e na Figura 20 pode-se observar as modificações do uso e ocupação do solo, com a inserção das áreas de APP que no cenário proposto pelo estudo foram classificadas como áreas de mata. Na Figura 16 observa-se o mapa especializando as áreas de APP da micro-bacia.

Tabela 6 – Comparação entre o uso do Solo sem e com introdução de áreas de APP

Classes	Área (ha) Uso do Solo 2006 (Cenário 1)	%	Área (ha) Uso do Solo 2006 com APP's (Cenário 2)	%
Afloramento Rochoso	35.1	2.6	35.1	2.6
Agricultura	70.7	5.3	58.8	4.4
Água	8.3	0.6	6.9	0.5
Área Urbana	7.4	0.6	5.8	0.4
Caminho	9.1	0.7	6.7	0.5
Mata	193.2	14.5	313.6	23.6
Pastagem	1005.9	75.6	902.9	67.9
Vázea	1.1	0.1	0.7	0.1
<i>Total</i>	<i>1330.7</i>	<i>100.0</i>	<i>1330.7</i>	<i>100.0</i>

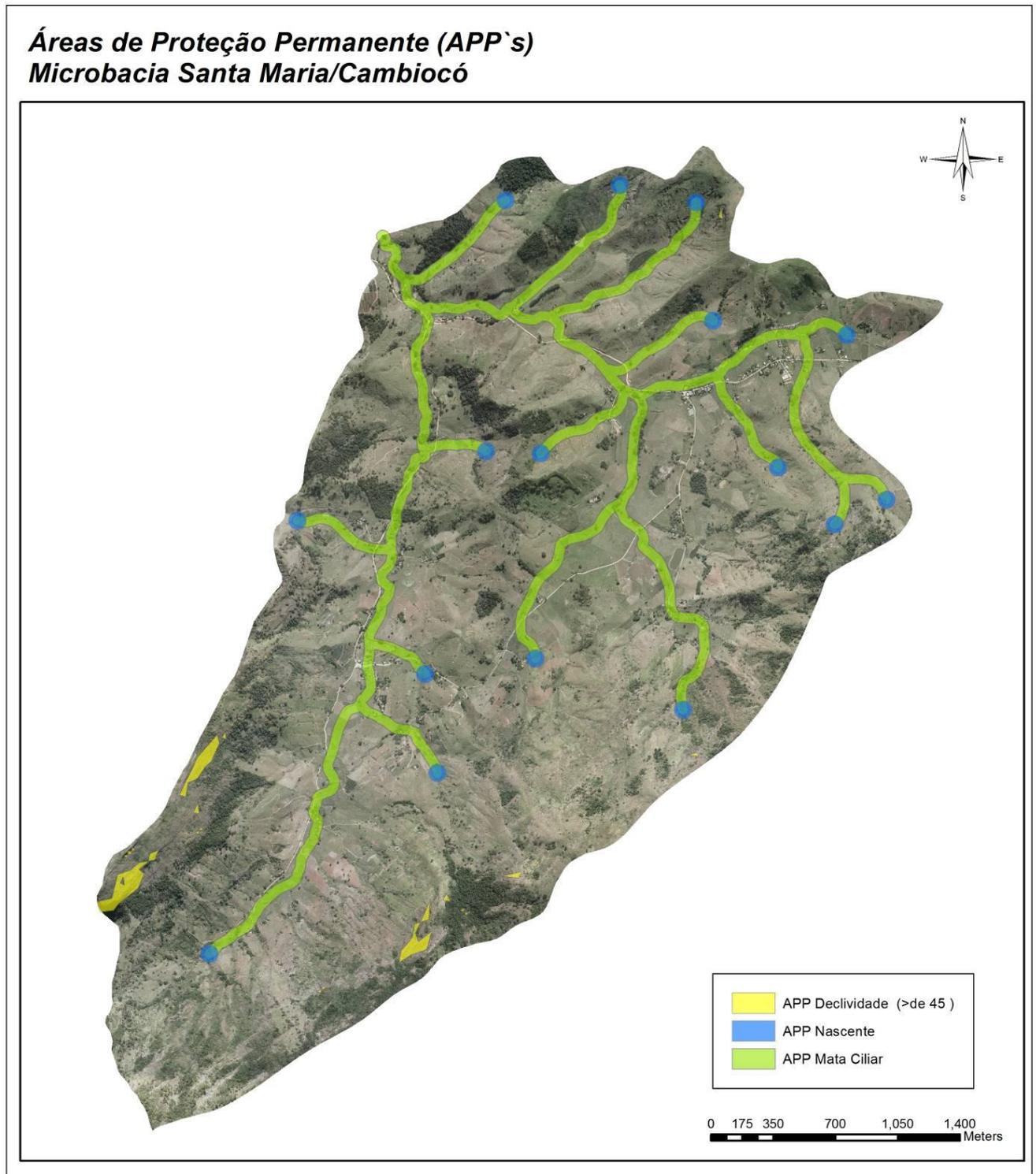
Fonte: O autor, 2015.

Figura 20 – Gráfico de comparação entre o uso do solo sem e com introdução de áreas de APP



Fonte: O autor, 2015.

Figura 21 – Mapa das Áreas de Proteção Ambiental (APP) da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó



Fonte: O autor, 2015.

3.3 Análise do déficit de vegetação nas áreas de APP introduzidas

3.3.1 Déficit de vegetação em APP de mata ciliar

Com a inserção dos polígonos no entorno das margens dos rios da micro-bacia (APP), observa-se que o déficit destas áreas de proteção permanente é extremamente alto no território da micro-bacia, sendo o uso mais observado nas áreas que por lei deveriam se destinar a APP, o de pastagens, culturas agrícolas e áreas urbanas. Sendo as pastagens, as mais observadas: 80.5% do total das áreas de APP de mata ciliar. Enquanto as matas, representam 3.4% deste total. Desta forma, em um total de 115.3 hectares de áreas de APP de mata ciliar, o déficit de mata é de 111.3 hectares ou de 96.6%, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Uso do Solo na APP de Mata Ciliar

Uso do Solo APP's de Mata Ciliar	Área (Hectare)	%
Agricultura	12.44	10.8
Área Urbana	1.8	1.6
Várzea	0.4	0.3
Mata	4.0	3.5
Caminho/Estradas	2.3	2.0
Pastagens	93.0	80.7
Barragens	1.4	1.2
Total	115.3	100.0

Fonte: O autor, 2015.

3.3.2 Déficit de vegetação em áreas de APP de nascente

Foi observado que o déficit de vegetação para as áreas de APP de nascentes da micro-bacia, com base no cruzamento do uso do solo e as áreas de APP de nascentes geradas pelo SIG, que 11.1 hectares se encontram em pastagens, e somente 1.3 hectares destas áreas são cobertos por mata. Isso totaliza um déficit de vegetação de APP de nascentes na micro-bacia em 11.1 hectares ou 89.5%.

3.3.3 Déficit de vegetação em áreas de APP de declividade (encostas)

Foram identificadas as áreas de APP de Declividade que totalizaram 7,2 hectares, sendo que destes, 4,9 hectares são de afloramento de rochas (68.6%), 1.3 hectares de mata (18.7%) e 0.8 hectares de pastagens (11%). Observa-se que as áreas de APP de declividade tiveram o menor déficit de mata entre as outras, somente 11% (0.8 hectares), já que não se pode somar a este último os afloramentos rochosos. Isso pode ser explicado pela dificuldade no manejo de culturas agrícolas e animais nestas declividades. Assim, as áreas de APP de declividade menos suscetíveis à intervenções antrópicas.

3.3.4 Déficit de vegetação em áreas de APP de topo de morro

A Lei 12.651/12, Código Florestal, define áreas de APP de topo de morro as que apresentam altitudes de 100m ou mais acima do ponto de sela. A análise do relevo demonstrou que na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó não existe áreas de APP de topo de morro.

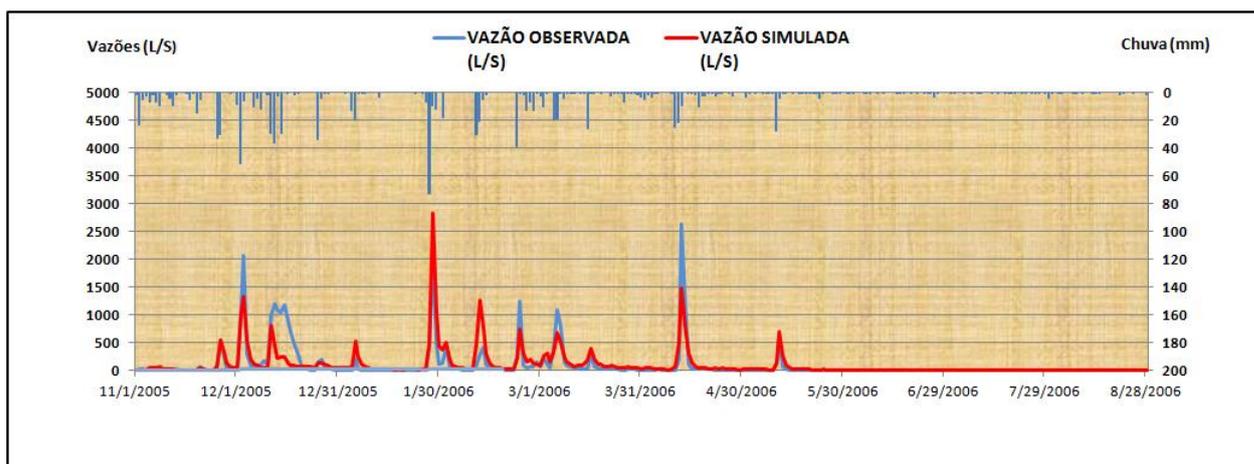
3.4 **Resultados da simulação do Cenário 1 (Uso e Ocupação do Solo Ref. 2006)**

A parametrização do modelo utilizada para a simulação dos cenários 1 (uso e ocupação do solo 2006) e 2 (uso e ocupação do solo 2006 + APP`s), propostos para este estudo, baseou-se no trabalho de Bellon (2014) (Apêndices B, C e D) que realizou calibração dos parâmetros do modelo para a mesma micro-bacia em estudo. No entanto, Bellon assumiu uso e ocupação do solo homogêneos constituídos por pasto. Ao introduzir-se a classificação de uso e ocupação referência 2006, observou-se, como esperado, diferença na URH gerada.

Foi realizado esforço, no sentido da verificação dos valores dos parâmetros obtidos na calibração e validação obtidos por Bellon (2014). No entanto, quando observados os resultados não se pode notar diferença significativa nos valores obtidos para os parâmetros mais sensíveis (conforme Bellon, 2014) versus indicadores de qualidade do ajuste. Desta forma, optou-se por manter os valores dos parâmetros obtidos por Bellon (2014). Estes resultados são descritos a seguir.

Na Figura 22 pode-se observar os hidrogramas de vazão obtidos da simulação com o SWAT para o Cenário 1 (uso e ocupação do solo referência 2006) e o de vazões observadas, conforme Moraes (2007). Pode-se observar que o regime hidrológico foi bem preservado e que não há comportamento tendencioso entre os hidrogramas observado e simulado.

Figura 22–Hidrogramas observado e simulado (Cenário 1, Uso e Ocupação do Solo ref. 2006)

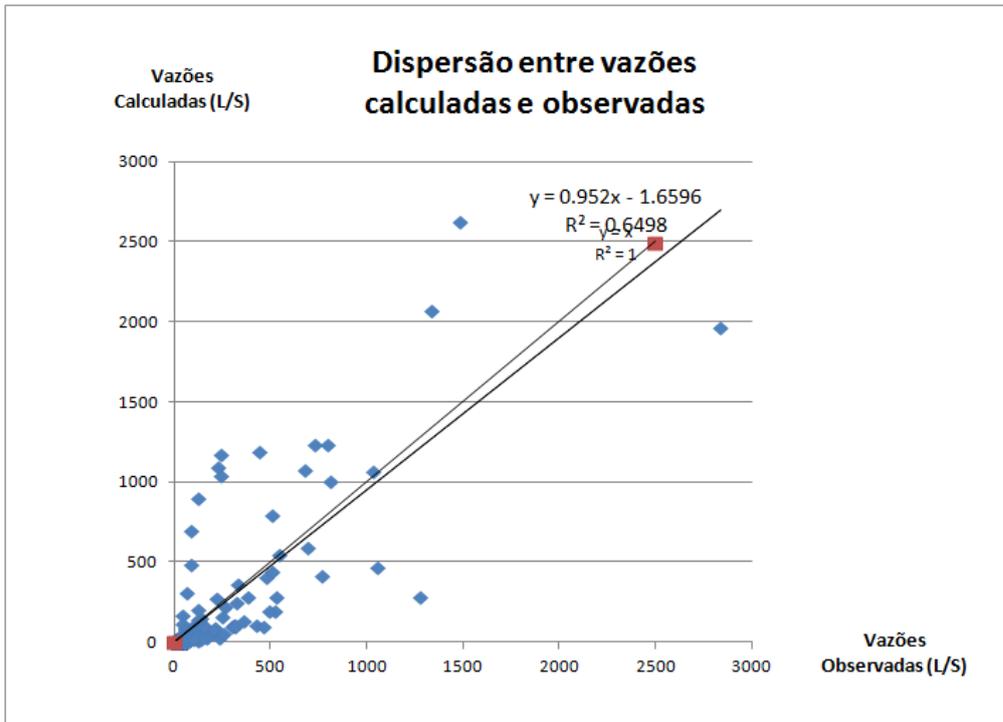


Na Figura 23 apresenta-se a dispersão dos pontos (vazões observadas; vazões simuladas). Observa-se que a distribuição é razoável em torno da reta de 45°. Não se pode afirmar que há uma tendência de superestimação ou subestimação das vazões simuladas pelo modelo.

Na Figura 24 pode-se observar que as vazões simuladas por Bellon (2014) e as simuladas neste estudo (com os mesmos valores de parâmetros obtidos por Bellon, 2014, descritos no Apêndice D) em comparação às vazões observadas (Moraes, 2007). Não foi observada diferenças significativas na qualidade dos ajustes dos valores dos parâmetros após várias tentativas.

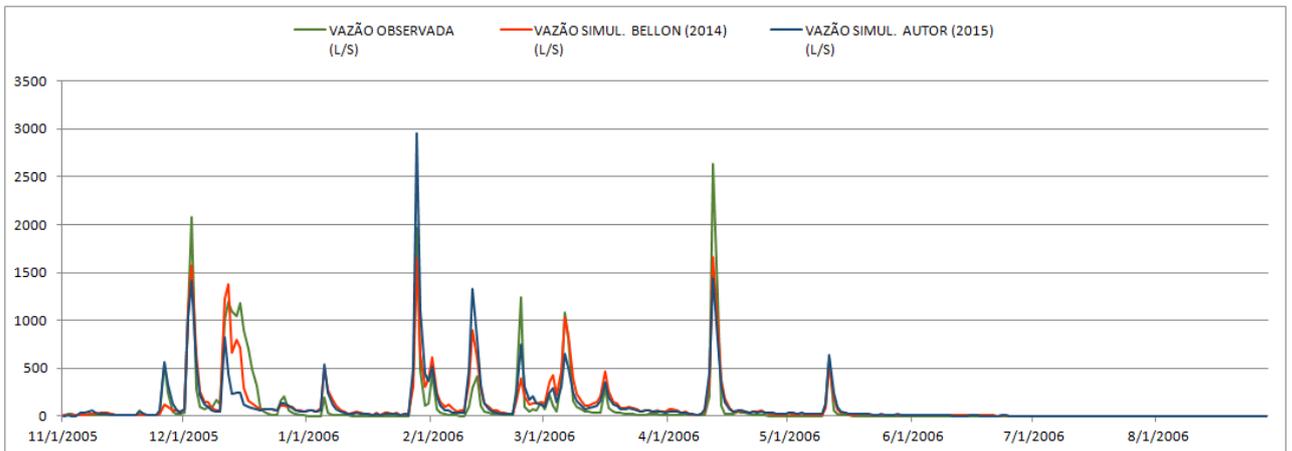
Com base nos estudos propostos por Moriasi et al. (2007), que reuniu indicadores estatísticos como NSE, PBIAS, RSR e R², para avaliar o desempenho da modelagem hidrológica no componente vazão do modelo SWAT, pode-se observar que a maioria dos indicadores resultantes da simulação do **Cenário 1**, obtiveram índices de qualidade da simulação muito bom (Tabela 9). Na Tabela 8, pode-se observar as classificações (scores) propostos por Moriasi et al (2007), para avaliação da qualidade dos dados simulados no modelo. A descrição dos indicadores estatísticos de desempenho da modelagem hidrológica estão apresentados no Apêndice A.

Figura 23 – Dispersão das vazões diárias observadas/simuladas



Fonte: O autor, 2015.

Figura 24 – Vazões observadas e simuladas por Bellon (2014) e pelo autor (2015).



Fonte: O autor, 2015

Tabela 8 – Classificação das simulações hidrológicas

Classificação	RSR	NSE	PBIAS	R ²
Muito bom	$0,00 \leq \text{RSR} \leq 0,50$	$0,75 \leq \text{NSE} \leq 1,00$	$\text{PBIAS} \leq \pm 10$	
Bom	$0,50 \leq \text{RSR} \leq 0,60$	$0,65 \leq \text{NSE} \leq 0,75$	$\pm 10 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 15$	
Satisfatório	$0,60 \leq \text{RSR} \leq 0,70$	$0,50 \leq \text{NSE} \leq 0,65$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 25$	0,60*
Não satisfatório	$\text{RSR} \geq 0,70$	$\text{NSE} \leq 0,50$	$\text{PBIAS} \geq \pm 25$	
Valores obtidos	0,46	0,65	6,75	
*R ²	Santhi et al. (2001) consideram que valores maiores do que 0,60 são aceitáveis para fase de simulação.			
NSE	Santhi et al. (2001) consideram as seguintes faixas: <ul style="list-style-type: none"> • $\text{NSE} \geq 0,65$ – Muito bom • $0,54 \leq \text{NSE} \leq 0,65$ – Bom • $0,50 \leq \text{NSE} \leq 0,54$ – Satisfatório 			

Fonte: MORIASI et al. (2007) apud BELLON (2014)

Tabela 9 – Comparação entre o estudo de Bellon (2004) e o presente estudo

Simulação diária	Validação			
	R ²	NSE	PBIAS	Pearson
Bellon (2011)	0.815	0.805	14.10	0.90
Presente estudo (2015)	0.650	0.648	6.75	0.80

Fonte: O autor, 2015.

O indicador PBIAS não se enquadrou na faixa “bom”, e apresentou o valor de 6.75. Moriasi et al. (2007) salientam a importância de serem conhecidas as incertezas relacionadas aos dados observados ao se considerar o indicador PBIAS para avaliar os modelos hidrológicos, pois podem ocorrer na simulação uma série de situações que interferem nos resultados do indicador. Desde o tamanho e características físicas naturais e antrópicas das bacias hidrográficas, amplitude das séries monitoradas, intervalo das observações (diário, mensal e anual) e qualidade das observações. Na Tabela 9 também são apresentados os resultados dos valores dos parâmetros obtidos por Bellon (2014) para mesma série de dados hidrológicos e características climáticas e parametrização de solos. Embora tenham sido observadas diferenças entre os resultados dos indicadores obtidos em Bellon (2014) e neste estudo, as mesmas não justificaram a alteração dos parâmetros obtidos na calibração e validação dos estudos de Bellon.

A média das vazões observadas na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó no estudo de Moraes (2007) foi de 102.3(L/S), enquanto as obtidas por Bellon (2014) foram de 116.3 (L/S), e das simuladas pelo autor de 110.0 (L/S). As áreas das pequenas barragens criadas pelos produtores agrícolas da micro-bacia visando estocar água para os períodos de seca que se sobrepõem aos períodos de rega do tomate, não foram considerados nem em Bellon (2014), nem no Cenário 1 simulado. O autor especula, assim como Bellon (2014) que isso poderia justificar a obtenção de valores médios para as vazões simuladas ligeiramente maiores.

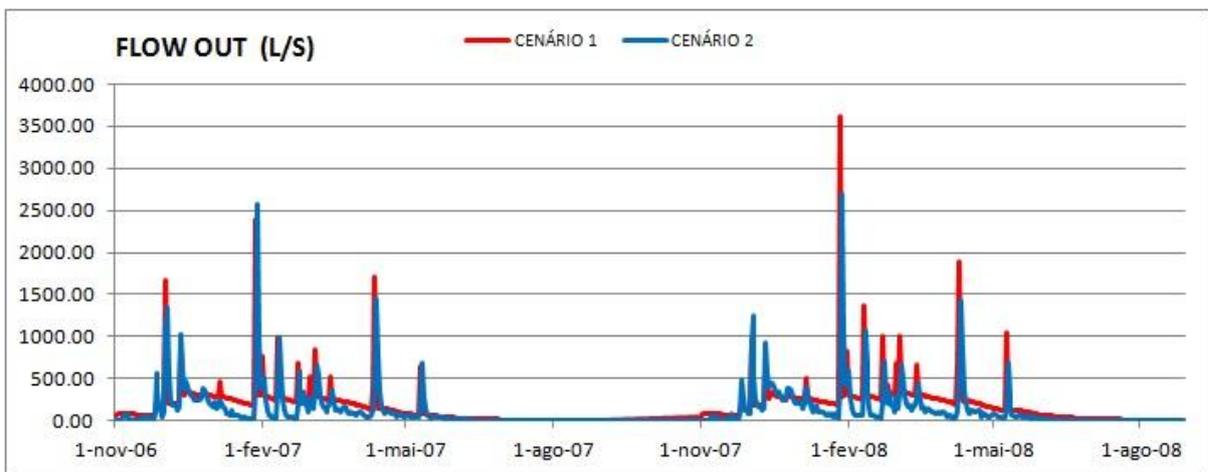
3.5 Resultados da simulação do Cenário 2 (Uso e Ocupação do Solo Ref. 2006 + APP)

O **Cenário 2** envolveu a inserção de áreas de APP no mapa de uso e ocupação do solo referência 2006 (Figura 21), conforme Código Florestal (Lei 12.651/12). O parâmetro CN (Curva Número; adimensional) que depende dos grupos hidrológicos dos solos e do tipo de uso e ocupação do solo foi alterado de 80 para 69 (NRCS, reproduzidos em Tucci et al.,1993) para as áreas de APP introduzidas. Para as demais áreas o valor de CN permaneceu igual a 80, para pastos, em acordo com Bellon (2014). Os parâmetros associados à representação da evapotranspiração são alterados internamente no modelo SWAT de acordo com a vegetação especificada.

Na Figura 25 são apresentadas as vazões simuladas pelo modelo nos cenários 1 e 2 para anos consecutivos considerando os mesmos índices pluviométricos para os dois anos. Neste sentido, foram admitidos períodos de aquecimento do modelo iguais para os cenários 1 e 2, de três anos. Após este período de simulação, observou-se a estabilização dos valores das vazões simuladas. Daí por diante, foram simulados os cenários 1 e 2, considerando períodos futuros hipotéticos para análise do comportamento dos elementos principais do ciclo hidrológico para os dois cenários. Observa-se que as vazões para o cenário 2 foram menores no primeiro ano, conforme esperado, dado o aumento de áreas de infiltração na micro-bacia. No entanto, de forma inesperada, observa-se a tendência de aumento dos valores de pico dos hidrogramas e também da diminuição das vazões de base no cenário 2. De fato, embora observe-se a tendência de aumento dos picos, as vazões anuais diminuíram. A diferença das vazões entre os Cenários 1 e 2, apresentou um decréscimo de 33,2% nos valores totais (Tabela 10).

A diminuição das vazões no Cenário 2, pode ser explicada pela inserção de vegetação florestal no cenário simulado, sendo o SWAT um modelo dinâmico, este simula o consumo de água para as áreas florestais em diferentes níveis de crescimento, utilizando equações de crescimento potencial das florestas NEITSCH et al. (2005). Bacellar (2005), que demonstra que o reflorestamento tende a diminuir as vazões anuais, com o aumento da evapotranspiração, infiltração e o consumo das plantas. No trabalho de Aragão et al. (2012) que se propôs a identificar a influência da mata ciliar (Lei 12.651) no escoamento superficial na bacia do rio Japarutuba, no estado do Sergipe utilizando o modelo SWAT, os resultados demonstraram a mesma tendência observada no presente estudo. Moro (2005), que utilizou o SWAT para simular diversos cenários de uso do solo na micro-bacia de Ribeirão Pires em Piracicaba-SP, com o intuito de calcular o volume de sedimentos e escoamento superficial, também se assemelha aos resultados obtidos nesta pesquisa.

Figura 25 – Vazões simuladas do cenário 1 e 2



Fonte: O autor 2015

Tabela 10 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das vazões totais.

CENÁRIOS	ANOS	FLOW OUT (L/S)
CENÁRIO 1	Ano 1	50530.02
	Ano2	59232.58
	Total	109762.59
CENÁRIO 2	Ano 1	39974.37
	Ano 2	42399.31
	Total	82373.68

Fonte: O autor, 2015

Além das vazões, foram observadas também outros elementos do ciclo hidrológico também simulados pelo modelo: evapotranspiração real, quantidade de água no perfil do solo, escoamento de base e fluxo lateral, conforme discussão a seguir.

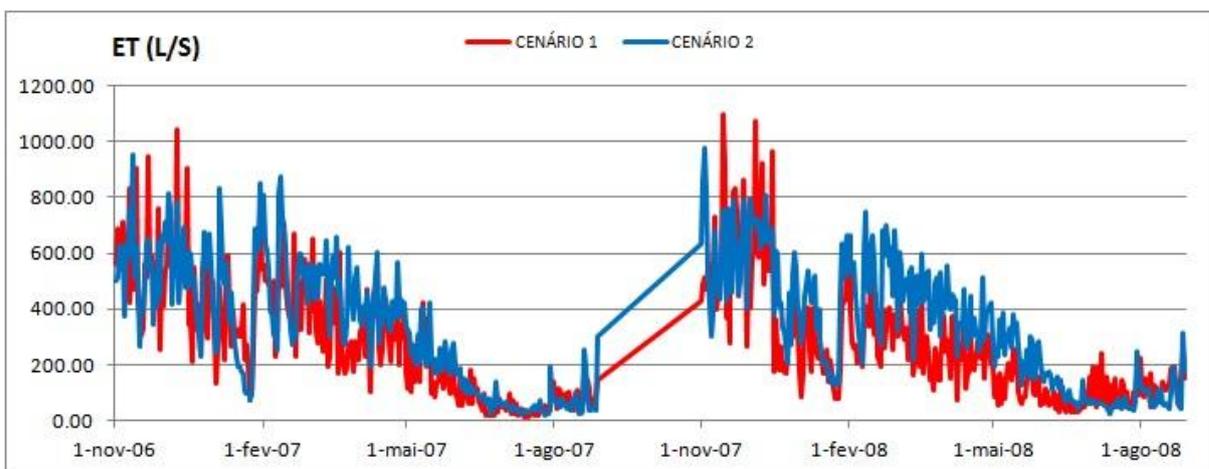
A evapotranspiração real no modelo SWAT, inclui a evaporação dos rios e açudes e superfícies com vegetação, o modelo computa a evaporação do solo separadamente. A evaporação potencial da água no solo é calculada em função da evapotranspiração potencial e do índice de área foliar (NEITSCH, S.L. et al. 2005). O método escolhido para o cálculo da evaporação potencial foi a equação de Hargreaves (Equação 1). Na Equação 2, pode-se observar os elementos para o cálculo da evapotranspiração real e de Hargreaves (evapotranspiração potencial), utilizadas na simulação do SWAT.

$$Ea = Ecan = Eo \rightarrow R_{\text{int}(f)} = R_{\text{int}(i)} - Ecan \quad (1) \text{ Evapotranspiração potencial}$$

$$\lambda E_o = 0.0023 \cdot H_0 \cdot (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} \cdot (\bar{T}_{\text{av}} + 17.8) \quad (2) \text{ Equação Evapotranspiração real}$$

O que se pode observar nos resultados da simulação é um incremento de 22.4% na evapotranspiração na micro-bacia no cenário 2. Este aumento é decorrente de inserção de 38.3 ha de área de floresta na simulação do cenário 2 (Figura 26 e Tabela 11).

Figura 26 – Taxas de evapotranspiração real simuladas para o cenários 1 e 2.



Fonte: O autor 2015.

Esta tendência no aumento da evaporação real em bacias hidrográficas com a inserção de áreas florestadas foi observada também por Tucci e Clarke (1997), analisando diversos trabalhos produzidos no Brasil e no mundo, identificando o impacto das mudanças na cobertura vegetal e a interferência desta no escoamento da bacia. Sendo assim os resultados simulados pelo SWAT estão coerentes com estudos da literatura.

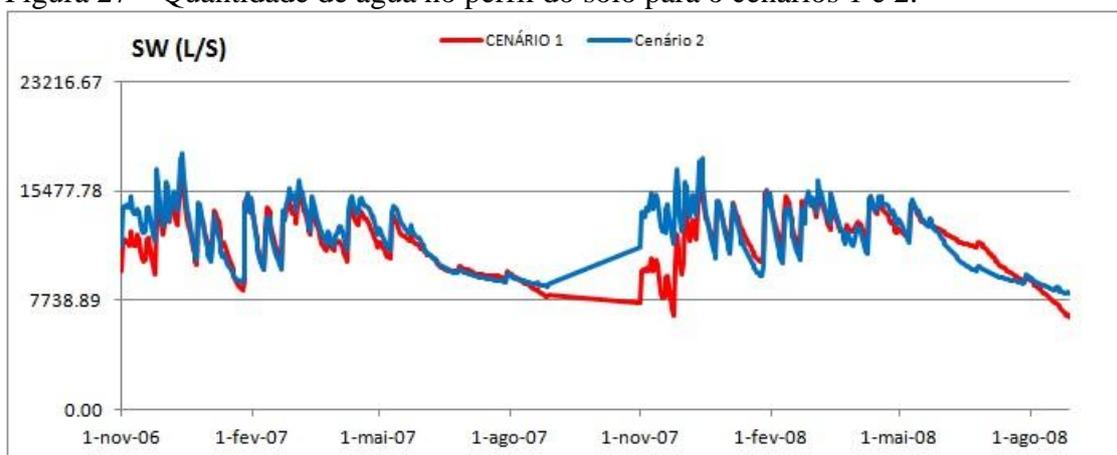
Tabela 11 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das taxas de Evapotranspiração Real.

CENÁRIOS	ANOS	ET (L/S)
CENÁRIO 1	Ano 1	88264.28
	Ano 2	77913.63
	Total	166177.91
CENÁRIO 2	Ano 1	101535.16
	Ano 2	101594.98
	Total	203130.14

Fonte: O autor 2015.

Conforme esperado, observa-se que para o cenário 2 ocorreu aumento da quantidade de água no perfil do solo e conseqüentemente aumento das taxas de infiltração (Figura 27). Foi verificado um aumento de 3.1% no volume de água no perfil do solo, passando em média de 3.552m³/ano para 3.563m³/ano, demonstrando que neste sentido o modelo SWAT, foi sensível a inserção das áreas de floresta na simulação (Tabela 12).

Figura 27 – Quantidade de água no perfil do solo para o cenários 1 e 2.



Fonte: O autor 2015.

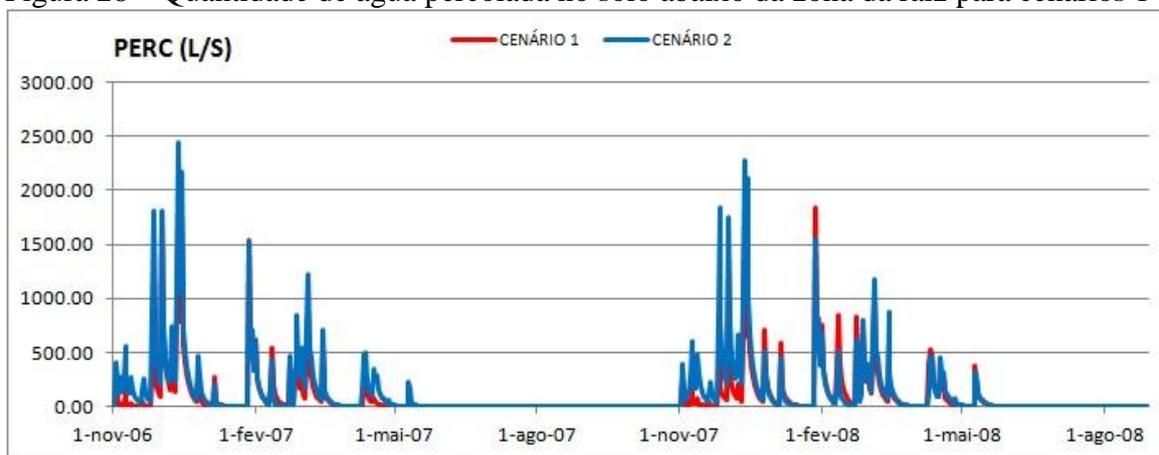
Tabela 12 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das quantidade de água no solo.

CENÁRIOS	ANOS	SW (L/S)
CENÁRIO 1	Ano 1	3489100.71
	Ano 2	3596444.27
	Total	7085544.98
CENÁRIO 2	Ano 1	3620879.32
	Ano 2	3685185.36
	Total	7306064.68

Fonte: O autor 2015.

Com relação à percolação de água fora da zona da raiz, a Figura 28 demonstra o aumento das taxas de percolação no cenário 2. Reis (2015) ressalta que a água percolada abaixo da zona das raízes não é utilizada pelas plantas, sendo assim estas infiltram para alimentar os lençóis freáticos profundos e os aquíferos. O que por outro lado, não se refletiu conforme esperado, no aumento dos escoamentos de base. Na Tabela 13 são apresentados os volumes percolados para os dois cenários simulados.

Figura 28 – Quantidade de água percolada no solo abaixo da zona da raiz para cenários 1 e 2.



Fonte: O autor 2015.

O resultado da simulação demonstrou um aumento de 38.1% no volume de água no perfil do solo.

Tabela 13 – Comparação entre os Cenários 1 e 2 das quantidade percolada no solo.

CENÁRIOS	ANOS	PERC (L/S)
CENÁRIO 1	Ano 1	29514.37
	Ano 2	35622.35
	Total	65136.72
CENÁRIO 2	Ano 1	44173.91
	Ano 2	45829.02
	Total	90002.93

Fonte: O autor 2015.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A dissertação buscou através da simulação de dois cenários de uso e ocupação do solo para uma micro-bacia experimental e representativa localizada no município de São José de Ubá, Região Noroeste Fluminense, avaliar os possíveis impactos da implementação das áreas de APP previstas pelo Código Florestal. Sendo que o cenário 1 envolveu o uso e ocupação do solo observado em 2006 restituído a partir de ortofotos, e o cenário 2 incluiu a inserção das áreas de APP. A Região escolhida para os estudos se justifica por seus problemas recorrentes de escassez hídrica nos períodos de estiagem e degradação ambiental observada na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. A Região é constituída por municípios onde são observados os menores Índices de Desenvolvimento Humano do Estado do Rio de Janeiro.

Os resultados relacionados às áreas de APP demonstraram como as áreas de preservação não têm sido respeitadas na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó. No total as áreas destinadas à APP equivaleriam a 9.6% da área total. No entanto, na observação das imagens restituídas observou-se um déficit de vegetação de cerca de 96.4% nas áreas que deveriam ser preservadas como APP.

Apesar dos esforços para melhoria da calibração e validação dos parâmetros do modelo SWAT para o parcelamento de uso e ocupação do solo referência 2006, os resultados do ajuste em relação à estudos anteriores nunca era efetivamente melhor. Desta forma, foram mantidos os valores dos parâmetros obtidos em estudos anteriores. A análise dos indicadores demonstraram a qualidade dos resultados obtidos, que foram classificados como muito bom para a maioria dos indicadores, e bom para o indicador PIBIAS.

Como a série de precipitação era limitada em tempo, os resultados dos cenários 1 e 2, não podem ser entendidos como simulações concretas, e sim como simulações de tendência com base na suposição que o período observado seria representativo de precipitações futuras. A partir da observação de elementos do ciclo hidrológico para os cenários 1 e 2, concluiu-se que o modelo SWAT foi sensível na escala da micro-bacia às mudanças impostas pela inserção das áreas de APP (Lei 12.651/12).

Na análise dos resultados das simulações dos cenários 1 e 2, pode-se concluir que com a inclusão das áreas de APP, em relação ao cenário 1, foi promovido aumento do volume infiltrado e do armazenamento de água na zona do solo. Com isso, os volumes de escoamento superficial foram em média reduzidos. As taxas reais de evapotranspiração também tiveram aumento, assim como os volumes percolados abaixo da zona das raízes. No entanto, diferente do esperado, foi observada a redução dos escoamentos de base, em relação aos valores

simulados para o cenário 1. Esse último resultado precisa ser melhor investigado e justificado em futuros estudos. Dessa forma, pode-se concluir, que pelo menos em um primeiro momento os impactos do reflorestamento seriam mais sentidos no controle da erosão, apesar da inclusão das áreas de APP envolverem um aumento de apenas 10% em áreas vegetadas na micro-bacia.

Sugere-se ainda, que além da promoção de medidas que estimulem o cumprimento das regras impostas no Código Florestal, que sejam promovidas também ações que visem conscientizar os moradores e agricultores sobre os impactos positivos das áreas de preservação permanente (APP), sobretudo no aumento do armazenamento de águas nos solos, aumento da infiltração e redução do escoamento superficial e da erosão com rebatimentos na conservação dos solos e dos recursos hídricos. De forma que a própria população local possa garantir o respeito às áreas de APP e sua manutenção no futuro, apesar do desenvolvimento econômico desejável que as atividades agropecuárias possam garantir à Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Adicionalmente, reconhece-se que Programas como o Rio Rural da Secretaria Estadual de Agricultura e o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) da Secretaria Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro são iniciativas do poder público podem também incentivar e financiar as medidas de reflorestamento e conservação das áreas de APP.

Como recomendações para trabalhos futuros sugere-se:

- a) Aprofundamento do entendimento da representação do escoamento de base no modelo SWAT, e de como o mesmo é influenciado pelos outros elementos do ciclo hidrológico no modelo, mas sobretudo pelas características dos solos e hidrogeológica da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó no sentido de justificar a redução do escoamento de base para o cenário 2 (inclusão das áreas de APP);
- b) Ampliação do monitoramento climatológico, hidrológico e ambiental de micro-bacias aumentando a compreensão das relações entre uso e ocupação do solo, manejo do uso dos solos e disponibilidade hídrica, contribuindo para a ampliação de medidas de conservação ambiental;
- c) Ampliação de número de cenários simulados em modelo, incluindo restituições do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e de áreas de reserva legal, de forma a melhorar os processos de planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos e do território, de forma a aumentar a resiliência das bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro ao aquecimento global e às mudanças climáticas; Promover melhor detalhamento na escala do MDE

disponível da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, para melhor definição da drenagem e delimitação das URH`s.

- d) A simulação do impacto da irrigação e da construção de reservatórios durante o período de estiagem na disponibilidade hídrica da micro-bacia.

REFERÊNCIAS

ADRIOLO, M. V., SANTOS, I., GIBERTONI, R. C., CAMARGO, A. S. G. Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. In: VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Belo Horizonte – Minas Gerais, 2008.

ANDRADE, Márcio A.; MELLO, Carlos R. de; BESKOW, Samuel. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - Pb, v. 17, n. 1, p.69-76, jan. 2012.

ARAGÃO, Ricardo de et al. Análise da influência da mata ciliar na bacia do Rio Japarutuba-Mirim, Sergipe, sobre o escoamento superficial e produção de sedimentos simulados com o modelo SWAT. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves: ABRH, 2012.

BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. Revista Ambiência, Guarapuava, v. 4, n. 1, p.131-149, 2007.

BALDISSERA, Gisele Cristina. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Ciências Exatas e da Terra, UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

BACELLAR, Luiz de A. P.. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. Revista Geobr, Ouro Preto, v. 1, jan. 2005.

BELLON, Ernani. Planejamento de recursos hídricos de áreas rurais degradadas: aplicação do modelo SWAT em bacia hidrográfica experimental na região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Engenharia Ambiental, UERJ - Universidade Estadual do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

BELLON, Ernani; SILVA, Luciene Pimentel da. Avaliação Preliminar de Resposta Chuva-Vazão com o Modelo SWAT em Micro-bacia Experimental-Representativa na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

BEVEN, K. Changing ideas in hidrology- the case of physically based model. Journal of Hydrology, v105, 1989.

BEVEN, Keith; FREER, Jim. A dynamic TOPMODEL. Hydrological Processes, Lancaster - Uk, v. 15, 2000.

BHERING, S.B. et al. Caracterização edafoambiental das micro-bacias de Cambiocó e Santa Maria, no município de São José de Ubá, região noroeste do estado do Rio de Janeiro, para fins de planejamento conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Recife, 2005.

BONUMÁ, N. B., REICHERT, J. M., MINELLA, J. P., BARROS, C. A. P., RODRIGUES, M. F., BUARQUE, D. C. Balanço hídrico e sua relação com a modelagem da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. In: IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Brasília, Distrito Federal, 2010.

BRASIL. Código Florestal. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

BRASIL. Código Florestal. Lei nº 4.471 de 15 de setembro de 1965.

CALIJURI, M.C.; BUBEL, A.P.M. Conceituação de micro-bacias. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (org.) As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de micro-bacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RiMA, 2006.

CÂMARA, G. ; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D. Sistemas de Informação Geográfica: Aplicações na agricultura. Brasília. EMBRAPA-CPAC.1998.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.

CASTRO, Kássia Batista de. Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Geociências, Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, Brasília, 2013

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COPPE- ITCP UFRJ. Valão de Santa Maria: Memórias e imagens de São José de Ubá. Rio de Janeiro: Coppe, 2007.

CUNDERLIK, J.M. Hydrologic model selection for the CFCAS project: assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions. Project Report I. Canada: University of Western Ontario, 2003.

DIB, Simone Faury; SILVA, Neusa Cardim da. Roteiro para elaboração das teses e dissertações da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2. ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2012.

DURÃES, M. F. Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do Rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação

e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído. Dissertação (Mestrado), Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

EMATER-RJ. PEM – Plano executivo da micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, 2009.

EMATER-RJ. ASPA – Área e produção colhida do estado do Rio de Janeiro. 2009.

FERNANDES, J. G.; GALVÍNIO, J. D.; FREIRE, M. B. G. dos S.. O Modelo SWAT e suas Possibilidades de Aplicações em APL Agrícolas. Revista Brasileira de Geografia Física, 2012.

FLORENZANO, T. G. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de textos 2002.

GALHARTE, Caroline Alves. Estimativa de escoamento superficial e da produção de sedimentos em áreas de atividade São Paulo, em função da mudança de uso e cobertura do solo. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Engenharia Ambiental, USP - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

GASSMAN, P.W. et al. The Soil and Water Assessment Tool: historical development, applications, and future research directions. American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 50, n. 4, p. 1211-1250, 2007.

GARBOSSA, Luis Hamilton Pospissil et. al. Potencial de uso do modelo hidrológico de base física na avaliação da legislação florestal e seus impactos nos cenários hidrológicos. X Simpósio de Recursos hídricos do Nordeste, Fortaleza, 2010.

GARCIA, Yara Manfrin. O código florestal brasileiro e sua alterações no congresso nacional. Geoatos, Presidente Prudente, v. 1, n. 12, jan. 2012.

GEPARMBH. Relatório 1 do Projeto Gestão Participativa da Bacia do Rio São Domingos. In: Edital CT-HIDRO/FINEP-MCT, 2003.

GONÇALVES, A. O. et al. Caracterização climática da bacia do rio São Domingos. Workshop de integração de informações obtidas no âmbito do projeto Prodatab Aquíferos: Embrapa solos. Rio de Janeiro, 2006.

GONÇALVES, A.O; FIDALGO, E.C.C.; BASTOS, C.L. Caracterização climática do município de São José de Ubá, estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 95, 2006.

GRAYSON, R.B.; MOORE, I.D.; McMAHON, T.A. Physically-based hydrologic modeling: II. Is the concept realistic? Water Resources Research, V.26, N. 10, 1992.

GUERRA, A.T. Dicionário geológico e geomorfológico, Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

GUIMARÃES, Verônica Maria Bezerra et al. O novo código florestal e seus reflexos para a gestão ambiental. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, Londrina: CBGA, 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (Brasil). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Série histórica climatológica: 1990-2010. Estação Itaperuna-RJ. KRYSANOVA, V.; ARNOLD, J.G. Advances in ecohydrological modelling with SWAT – a review. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, v. 53, n. 5, 2008.

LIMA, L.A. et al. Favorabilidade de aquíferos fraturados na bacia hidrográfica do rio São Domingos-RJ. Anuário do Instituto de Geociências, v. 32, n. 2, Rio de Janeiro, 2009.

LIMA, W.P.; ZAKIA M. J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES,R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. Matas Ciliares: conservação e recuperação.São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000.

MARCHIORO, E; FERNANDES, N. F; MACEDO, J. R. de; BHERING, S. B; GONÇALVES, A.O; CAIADO, M.A.C..Modelagem da produção de sedimentos no noroeste fluminense como subsídio ao planejamento ambiental: um estudo de caso da bacia do córrego Santa Maria. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 12, 2011.

MARCHIORO, Eberval et al. Aplicação do código florestal brasileiro como subsídio para o planejamento ambiental: Um estudo de caso na região noroeste do estado do Rio de Janeiro. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 22, n. 1, p.11-21, abr. 2010.

MATIAS, Lindon Fonseca. Sistema de informação geográficas (SIG): Teoria e método para representação do espaço geográfico. 2001. 325 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Geografia, USP - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MELO NETO, J. O. Análise de sensibilidade escalar do modelo hidrológico SWAT. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras. 2013.

MENDES, C. A. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informação geográficas: fundamentos. Revista brasileira de recursos hídricos, 1. 47-66, 1996.

MERCURI, E. G. F., DEPPE, F., LOHMANN, M., SIMÕES, K. Metodologia da geração de dados de entrada e aplicação do modelo SWAT para bacias hidrográficas brasileiras. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal – Rio Grande do Norte, 2009.

MOORE, I.D. et al. GIS and land-surface-subsurface process modeling. In: GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. Environmental modeling with GIS. New York: Oxford University Press, 1993.

MORAES, M.F. Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental e representativa de Santa Maria/Cambiocó, município de São José de Ubá-RJ. 2007. 233 f. Tese (Doutorado) em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

MORAES, M.F. et al. Estudo de balanço hídrico na bacia experimental de Santa Maria/Cambiocó. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo, 2010.

MORO, Michela. A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Agronomia, USP - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NASCIMENTO, Melchior Carlos do et al. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 2, 2005.

NEITSCH, S.L. et al. SWAT Theoretical Documentation, Version 2005. Grassland Soil and Water Research Laboratory, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas Water Resources Institute, Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 2005.

NEITSCH, S.L. et al. SWAT Input/Output File Documentation, Version 2005. Grassland Soil and Water Research Laboratory, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas Water Resources Institute, Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 2004.

NORONHA, Gustavo Carneiro de; SILVA, Luciene Pimentel da; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera da. Avaliação dos usos consultivos na micro-bacia de Santa Maria/Cambiocó, São José de Ubá,RJ. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

OTTONI, M. Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio do Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

PAIM, J. B; MENEZES, J. T. Estimativa do balanço sedimentar da bacia do rio Tijucas a partir da aplicação do modelo hidrológico SWAT. Revista Geográfica Acadêmica, 2009.

PIMENTEL DA SILVA, L.; EWEN, J. Modelagem hidrológica para grandes bacias hidrográficas: a necessidade de novas metodologias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 4, 2000.

PIRES, Cleomirtes do Socorro José. As alterações do código florestal brasileiro e as consequências sobre as áreas de reservas legais no município de Formosa-GO. 2012. 131 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PRADO, Rachel Bardy et al. Diagnóstico do Meio Físico da Bacia Hidrográfica do Rio Muriaé. ed: Embrapa, Rio de Janeiro, 2005.

REIS, Clerson. Resposta da cultura de melão a diferentes intensidades e frequências de irrigação em Porto Nacional-TO. 2015. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas-IPH, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Vianei. Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental. São José dos Campos: INPE, 2000.

RESTREPO, P.; SCHAAKE, J. Hydrologic forecasting in the 21st century: Challenges and directions of research. Vienna, Austria: EGU General Assembly, p. 19-24, 2009.

SALLES, Leandro de Almeida. Calibração e validação do modelo SWAT para predição de vazões na bacia do Ribeirão Pípiripau. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SANTOS, I., ANDRIOLO, M. V., GIBERTONI, R. C., PEREIRA FILHO, D. L., NISHIDA, E., SILVA, R. C. Simulação com modelo SWAT das condições hidrológicas e de produção e transporte de sedimentos na bacia do rio Apucarantina – PR. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas. Goiânia, 2006.

SANTOS, R. M. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos na agricultura irrigada: São Domingos – RJ (GEPARMBH) "Resultados e Considerações Finais", 2007.

SUMMERFIELD, M.A. Global Geomorphology: an introduction of the study of landforms. Essex, Longman Scientific & Technical, 1991.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRS/ABRH, 2004.

TUCCI, C.E.M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1998.

TUCCI, C.E.M. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. In: TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B.P.F. (Org.) Clima e recursos hídricos no Brasil. Brasília: ABRH, 2003.

TUCCI, Carlos; CLARKE, Robin. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume, Porto Alegre, v. 2, n. 1, 1997.

UZEIKA, T. Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. Dissertação (Mestrado), Instituto de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

UZEIKA, T.; MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P.G.; MORO, M. 2012. Use of the swat model for hydro-sedimentologic simulation in a small rural watershed. Rev. Bras. Ciênc. Solo. vol.36, n.2 ISSN 0100-0683. 558-566.

VELEDA, J.A.D. Gestão Sustentável de Bacias Hidrográficas: base conceitual e proposições para a recuperação ambiental do município de São José de Ubá, RJ. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VIOLA, M.R. Simulação hidrológica na região Alto Rio Grande a montante do reservatório de Camargos/CEMIG. 2008. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2008.

WINCHELL, M. et al. ArcSWAT Interface for SWAT 2005, User's Guide. Grassland Soil and Water Research Laboratory, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas Water Resources Institute, Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 2007.

YASSUDA, E.R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. Revista de Administração pública, Rio de Janeiro, v.27 n.2, 1993.

APÊNDICE A – Indicadores usados na avaliação de simulações hidrológicas

Indicador	Descrição*
Nash-Sutcliffe (NSE)	<p>Medida que compara o desempenho em termos da variância das vazões simuladas em relação às observadas, normalizando-as pela variância das vazões médias observadas. Graficamente representa o ajustamento (aderência) das vazões calculadas em relação às observadas. A amplitude de variação está no intervalo $(-\infty, 1]$. A maior desvantagem do coeficiente deve-se às diferenças entre as vazões simuladas e observadas, que são calculadas como valores quadrados. Como resultado, os erros são superestimados nas vazões maiores da série temporal do que nas vazões mínimas. A expressão de cálculo do indicador é dada por:</p> $NSE = 1 - \frac{\sum(\text{obs} - \text{sim})^2}{\sum(\text{obs} - \text{média obs})^2}$
Determinação (R^2)	<p>Medida de correlação linear entre as vazões simuladas e observadas cuja amplitude de variação está no intervalo $[0,1]$, indicando em porcentagem o quanto o modelo estimado consegue explicar os valores observados. Quanto maior o valor de R^2 melhor o ajuste entre os hidrogramas. A inclinação da reta mostra a relação entre os valores simulados e observados. A interceptação da reta no eixo-y indica a presença de um deslocamento (atraso ou adiantamento) entre os valores simulados e observados, ou que os dados não estão perfeitamente alinhados. Se a inclinação corresponder a “1” e a reta interceptar o eixo-y na origem o modelo reproduz fielmente as magnitudes dos dados medidos. Naturalmente, a análise pura deste indicador desconsidera a existência de erros relativos aos dados observados, o que raramente acontece na prática. Assim como o NSE o coeficiente de determinação é mais sensível às diferenças maiores entre valores simulados e observados. O cuidado que se deve ter quando se usa o indicador isoladamente é que ele apenas correlaciona a dispersão entre os valores das variáveis simuladas e observadas. Um modelo que sistematicamente subestima ou superestima as previsões na simulação pode resultar em valores próximos de “1”, mesmo que todas as previsões estejam erradas. Em termos gráficos se a inclinação da reta for diferente de “1” é porque existem diferenças de magnitude entre as vazões. A expressão de cálculo do indicador é dada por:</p> $R^2 = \frac{\sum(\text{obs} - \text{média obs}) * (\text{sim} - \text{média sim})}{[\sum(\text{obs} - \text{média obs})^2 * \sum(\text{sim} - \text{média sim})^2]^{0.5}}$
Tendência percentual bias (PBIAS)	<p>Medida percentual da tendência das vazões simuladas serem maiores ou menores que as respectivas vazões observadas. Valores próximos de zero ou com baixa magnitude indicam boa simulação sem tendência nas estimativas. Se a fórmula de cálculo considera valores simulados menos valores observados o resultado positivo indica que a vazão simulada está superestimada, e subestimada, se o resultado é negativo. A expressão de cálculo do indicador é dada por:</p> $PBIAS = \frac{\sum(\text{sim} - \text{obs}) * 100}{\sum(\text{obs})}$

Equação da
Razão RMSE
(RSR)

Medida sugerida por Moriasi et al. (2007) ainda pouco usada nas avaliações. A normalização da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) por meio da divisão pelo desvio padrão das vazões observadas torna o coeficiente adimensional, permitindo que seja usado mais facilmente para comparar os resultados das simulações. Quanto menor o valor de RSR melhor a simulação. Valor zero indica simulação perfeita. A expressão de cálculo do indicador é dada por:

$$RSR = \frac{[(\sum(obs - sim)^2)^{0.5}]}{[(\sum(obs - média sim)^2)^{0.5}]}$$

*** Termos usados nas expressões:**

obs = vazão observada, média obs = média das vazões observadas

sim = vazão simulada, média sim = média das vazões simuladas

Fonte: KRAUSE et al., 2005 e MORIASI et al., 2007. BELLON, 2014

APÊNDICE B – Dados dos solos da micro-bacia

Tabela 15 – Parâmetros físico-hídricos dos solos inseridos no *User soils database*
(apenas os dados dos solos remanescentes depois da geração das URHs)

SNAM	SOIL_LAYER	SOL_Z (mm)	SOL_BD (g/cm ³)	SOL_AWC (mm H ₂ O/mm)	SOL_CNB (% wg.)	SOL_K (mm/hr)	CLAY (% wg.)	SILT (%wg.)	SAND (%wg.)	ROCK (%wg.)	SOL_ALB (fraction)
CXve1	1	300	1,47	0,07	1,44	6,07	17,00	17,10	65,90	0,00	0,20
	2	430	1,46	0,07	0,94	6,82	22,00	18,30	59,70	0,00	0,20
	3	700	1,63	0,06	0,69	2,89	22,00	14,90	63,10	0,00	0,20
	4	1150	1,40	0,08	0,33	1,91	18,30	14,80	66,90	4,00	0,20
	5	1600	1,40	0,10	0,34	1,77	22,40	22,30	55,30	3,50	0,20
CXve2	1	200	1,38	0,08	1,56	8,66	23,00	21,60	55,40	0,00	0,20
	2	300	1,39	0,08	1,04	8,61	25,50	25,45	49,05	0,00	0,20
	3	500	1,47	0,07	0,63	6,22	24,00	26,70	49,30	0,00	0,20
	4	1080	1,37	0,10	0,21	2,10	20,45	19,00	60,55	4,95	0,20
CXve3	1	200	1,38	0,08	1,56	8,66	23,00	21,60	55,40	0,00	0,20
	2	300	1,39	0,08	1,04	8,61	25,50	25,45	49,05	0,00	0,20
	3	500	1,47	0,07	0,63	6,22	24,00	26,70	49,30	0,00	0,20
	4	1080	1,37	0,10	0,21	2,10	20,45	19,00	60,55	4,95	0,20
RLve	1	105	1,34	0,08	2,07	9,33	18,00	22,00	60,00	0,00	0,20
	2	320	1,40	0,08	1,67	7,53	18,50	20,70	60,80	0,00	0,20
PVAd	1	230	1,60	0,09	1,59	3,11	20,00	16,50	63,50	0,00	0,20
	2	300	1,55	0,08	0,99	3,71	29,00	17,00	54,00	0,00	0,20
	3	590	1,48	0,07	1,01	5,35	50,00	18,10	31,90	0,00	0,20
	4	700	1,58	0,08	0,69	3,59	43,00	25,70	31,30	0,00	0,20
	5	960	1,35	0,17	0,23	2,17	45,10	30,30	24,60	0,00	0,20
	6	1060	1,39	0,16	0,18	2,29	41,00	29,20	29,80	0,00	0,20
	7	1410	1,40	0,15	0,15	1,75	34,80	31,80	33,40	0,00	0,20

*** Parâmetros dos solos:**

SNAM – Nome dado ao solo

CXve1 - Cambissolo Háplico gleico

CXve2 e CXve3 - Cambissolo Háplico léptico

PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo

RLve - Neossolo Litólico

SOIL_LAYER (#) – Camada do solo

SOL_Z (mm) – Profundidade da superfície até a base

SOL_BD (g/cm³) – Densidade volumétrica saturada

SOL_AWC (mm H₂O/mm solo) – Disponibilidade de água

SOL_CNB (% em peso) – Conteúdo de carbono orgânico

SOL_K (mm/hr) – Condutividade hidráulica saturada

CLAY (% em peso) – Conteúdo de argila

SILT (% em peso) – Conteúdo de silte

SAND (% em peso) – Conteúdo de areia

ROCK (% em peso) – Conteúdo de fragmentos de rocha

SOL_ALB (fração) – Albedo do solo saturado

Fonte: EMBRAPA SOLOS e OTTONI, 2005.

APÊNDICE C – Dados do gerador de clima da micro-bacia

Tabela 16 – Dados do gerador climático inseridos no *User weather stations database*

Variáveis climáticas	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TMPMX (°C)	32,58	33,33	32,32	30,71	28,41	27,72	27,52	28,60	29,21	30,24	30,35	31,53
TMPMN (°C)	22,31	22,41	22,10	20,67	17,88	15,96	15,67	16,35	18,04	19,87	21,02	21,84
TMPSTDMX (°C)	3,17	2,80	2,72	2,81	2,65	2,77	3,11	3,39	3,99	3,94	3,94	3,11
TMPSTDMN (°C)	1,25	1,18	1,28	1,86	2,28	2,31	2,31	2,49	2,09	1,92	1,77	1,42
PCPMM (mm)	210,10	118,16	132,27	68,54	36,98	20,87	14,54	21,93	59,56	98,51	182,99	259,76
PCPSTD (mm)	14,03	9,64	11,78	6,63	4,66	3,29	2,14	3,25	7,08	8,42	13,03	15,15
PCPSKW	2,95	2,98	4,54	4,16	5,90	6,63	9,11	7,84	5,67	3,62	3,42	2,89
PR-W1	0,26	0,22	0,23	0,21	0,17	0,10	0,09	0,09	0,15	0,22	0,35	0,42
PR-W2	0,64	0,58	0,57	0,45	0,34	0,28	0,58	0,54	0,55	0,60	0,67	0,71
PCPD (n° de dias)	13,39	10,00	10,61	8,28	6,44	3,72	5,11	5,17	7,83	10,22	15,39	17,94
RAINHHMX (mm)	18,10	12,20	10,60	14,30	12,00	3,40	2,30	1,20	14,40	18,50	19,40	13,10
SOLARAV (MJ/m ² dia)	41,23	39,06	34,82	29,76	25,20	23,21	24,44	28,15	33,34	37,54	40,39	41,35
DEWPT (°C)	22,98	23,03	22,78	21,77	19,50	18,37	17,73	17,72	18,70	20,22	21,40	22,82
WNDVAV (m/s)	1,34	0,89	1,07	0,88	0,79	0,78	0,91	1,19	1,51	1,53	1,31	1,06

*** Variáveis climáticas:**

WLATITUDE (grau decimal) – Latitude da estação usada para criar os parâmetros estatísticos = -21,38

WELEV (m) – Altitude da estação climática = 149

RAYN_YRS – Número de anos para calcular RAINHHMX = 5

TMPMX (°C) – Média mensal das temperaturas máximas diárias do ar

TMPMN (°C) – Média mensal das temperaturas mínimas diárias do ar

TMPSTDMX (°C) – Desvio padrão da temperatura máxima diária do ar no mês

TMPSTDMN (°C) – Desvio padrão da temperatura mínima diária do ar no mês

PCPMM (mm) – Precipitação total mensal

PCPSTD (mm) – Desvio padrão da precipitação diária no mês

PCPSKW – Coeficiente de assimetria para precipitação diária no mês

PR-W1 – Probabilidade de um dia úmido ocorrer depois de um dia seco no mês

PR-W2 – Probabilidade de um dia úmido ocorrer depois de um dia úmido no mês

PCPD (n° de dias) – Número de dias com chuva no mês

RAINHHMX (mm) – Precipitação mensal máxima de 30 minutos

SOLARAV (MJ/m² dia) – Média mensal das radiações solares diárias

DEWPT (°C) – Média mensal das temperaturas do ponto de orvalho diárias

WNDVAV (m/s) – Média mensal das velocidades do vento diárias

Fonte: Calculado com base na estação climática do INMET de Itaperuna (1990-2010 e 2004-2008).

APÊNDICE D – Configuração dos parâmetros da micro-bacia

Tabela 17 – Parâmetros do *input file* “unidade de resposta hidrológica” (.hru)

0,1695790	HRU_FR: Fração da área da sub-bacia contida na URH
50,000	SLSUBBSN: Comprimento médio do declive superficial [m]
CXve1 0,067	HRU_SLP: Declividade média na URH [m/m]
CXve2 0,440	HRU_SLP: Declividade média na URH [m/m]
CXve3 0,301	HRU_SLP: Declividade média na URH [m/m]
PVAd 0,307	HRU_SLP: Declividade média na URH [m/m]
RLve 0,557	HRU_SLP: Declividade média na URH [m/m]
Valores considerados igualmente em todas as URHs:	
0,150	OV_N: Coeficiente de Manning para escoamento de superfície
0,000	LAT_TTIME: Tempo de deslocamento do fluxo lateral [dias]
50,000	SLSOIL: Comprimento do declive para o fluxo subsuperficial lateral [m]
30,000	CANMX: Interceptação máxima pelo dossel [mm]
0,700	ESCO: Fator de compensação da evaporação do solo
1,000	EPCO: Fator de compensação da remoção de água pelas raízes

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

Tabela 18 – Parâmetros do *input file* “água subterrânea” (.gw)

0,5000	SHALLST: Profundidade inicial do lençol freático [mm]
1000,0000	DEEPST: Profundidade inicial do aquífero confinado [mm]
31,0000	GW_DELAY: Tempo para recarga do aquífero raso [dias]
0,3000	ALPHA_BF: Constante de recessão do escoamento de base [dias]
500,0000	GWQMN: Profundidade do aquífero raso para o escoamento de base ocorrer [mm]
0,2000	GW_REVAP: Coeficiente para haver retorno da água do aquífero raso para a zona de raízes
500,0000	REVAPMN: Profundidade do aquífero raso para ocorrer o “revap” [mm]
0,0500	RCHRG_DP : Fração de água que percola da zona de raízes para o aquífero confinado

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

Tabela 19 – Parâmetros do *input file* “manejo do solo” (.mgt)

Parâmetros Iniciais de Crescimento de Vegetação:	
0	IGRO: Status para a cobertura: 0-não há cultura em crescimento
Parâmetros Gerais de Manejo:	
CN2	80 (Pastagem) 69 (Floresta)

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

Tabela 20 – Parâmetros do *input file* “canal principal” (.rte)

5,983	CHW2: Largura do canal principal [m]
0,362	CHD: Profundidade do canal principal [m]
0,01627	CH_S2: Declividade do canal principal [m/m]
4,925	CH_L2: Comprimento do canal principal [km]
0,014	CH_N2: Coeficiente de Manning para o canal principal
0,000	CH_K2: Condutividade hidráulica efetiva no canal principal [mm/hr]
0,000	CH_COV: Fator de cobertura do canal
16,548	CH_WDR: razão largura-profundidade do canal [m/m]
0,000	ALPHA_BNK: Fator de transmissividade do escoamento de base das margens [dias]

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

Tabela 21 – Parâmetros do *input file* “sub-bacia” (.sub)

13,500000	SUB_KM: Área da sub-bacia [km ²]
-21,393656	LATITUDE: Latitude da sub-bacia [graus]
206,52	ELEV: Altitude da sub-bacia [m]
1	IRGAGE: Número de estações de precipitação na sub-bacia
Canais Tributários:	
6,058	CH_L1: Canal tributário mais long [km]
0,083	CH_S1: Declividade media do canal tributári [m/m]
5,983	CH_W1: Largura media do canal tributário [mm/km]
0,500	CH_K1: Condutividade hidráulica efetiva no canal tributário [mm/hr]
0,014	CH_N: Coeficiente de Manning para canais tributários

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

Tabela 22 – Parâmetros do *input file* “bacia hidrográfica” (.bsn)

Opções de Modelagem: Fase Terrestre:	
Balanço hídrico:	
2	IPET: PET Método: 2=Hargreaves
0,700	ESCO: Fator de compensação da evaporação do solo
1,000	EPCO: Fator de compensação da remoção de água pelas raízes
0,000	EVLAI: Índice de área foliar na qual não há evaporação [m ² /m ²]
0,000	FFCB: Conteúdo inicial de água no solo expresso como fração do conteúdo da capacidade de campo
Escoamento superficial:	
3	IEVENT: 3= chuva subdiária / método de infiltração Green & Ampt / saída horária
0	ICRK: Código do fluxo em vertissolos: 0=não modela
4,000	SURLAG: Atraso no escoamento superficial [dias]
Opções de Modelagem: Canais:	
0	IRTE: Método de roteamento da água: 0=armazenamento variável
0	IDEG: Código de degradação do canal: 0=dimensões permanecem constantes na simulação
0	IWQ: Código de que há transformação de nutrientes e pesticidas: 0=não há

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

Tabela 23 – Parâmetros do *input file* “configurações e opções de modelagem” (file.cio)

Clima:	
0	IGEN: Número randômico usado para gerar dados de clima: 0=considera números padrão
1	PCPSIM: Código de simulação da precipitação: 1=medida
15	IDT: Intervalo de tempo da precipitação (minutos)
1	IDIST: Código de distribuição da precipitação: 1=exponencial
0,300	REXP: Expoente para IDIST
2	TMPSIM: Código de simulação da temperatura: 2=simulada
2	SLRSIM : Código de simulação da radiação solar: 2=simulada
2	RHSIM : Código de simulação da umidade relativa: 2=simulada
2	WINDSIM : Código de simulação da velocidade do vento: 2=simulada

Fonte: Pasta Scenarios/Txtinout do “diretório de trabalho”.

APÊNDICE E – Relatório URH (Cenário 1- Uso do Solo 2006)

SWAT model simulation CENÁRIO 1		Time: 00:00:00	
MULTIPLE HRUs LandUse/Soil/Slope OPTION		THRESHOL	90 [%]
Number of HRUs: 9			
Number of Subbasins: 1			
		Area [ha]	Area[acres]
Watershed		1289.783	3187.1184
		Area [ha]	Area[acres] %Wat.Area
LANDUSE:			
Pasture --> PAST		1090.333	2694.268 84.54
Forest-Evergreen --> FRSE		199.4498	492.8503 15.46
SOILS:			
CXve1		183.8297	454.2523 14.25
CXve2		220.6222	545.1685 17.11
CXve3		354.5115	876.0157 27.49
PVAd		250.9601	620.135 19.46
RLve		279.8596	691.547 21.7
SLOPE:			
0-9999		1289.783	3187.1184 100
		Area [ha]	Area[acres] %Wat.Area
SUBBASIN #	1	1289.783	3187.1184 100
LANDUSE:			
Pasture --> PAST		1090.333	2694.268 84.54
Forest-Evergreen --> FRSE		199.4498	492.8503 15.46
SOILS:			
CXve1		183.8297	454.2523 14.25
CXve2		220.6222	545.1685 17.11
CXve3		354.5115	876.0157 27.49
PVAd		250.9601	620.135 19.46
RLve		279.8596	691.547 21.7
SLOPE:			
0-9999		1289.783	3187.1184 100
HRUs			
1	Pasture --> PAST/CXve1/0-9999	183.8297	454.2523 14.25
2	Pasture --> PAST/CXve2/0-9999	174.0325	430.043 13.49
3	Pasture --> PAST/CXve3/0-9999	320.2661	791.3935 24.83
4	Pasture --> PAST/PVAd/0-9999	225.6245	557.5294 17.49
5	Pasture --> PAST/RLve/0-9999	186.5806	461.0499 14.47
6	Forest-Evergreen --> FRSE/CXve2/0-9999	46.5897	115.1255 3.61
7	Forest-Evergreen --> FRSE/CXve3/0-9999	34.2454	84.6222 2.66
8	Forest-Evergreen --> FRSE/PVAd/0-9999	25.3356	62.6056 1.96
9	Forest-Evergreen --> FRSE/RLve/0-9999	93.279	230.497 7.23

Fonte: Pasta Watershed/Txtinout do “diretório de trabalho”.

APÊNDICE F – Relatório URH (Cenário 2- Uso do Solo 2006 + APP's)

SWAT model simulation CENÁRIO 2
 MULTIPLE HRUs LandUse/Soil/Slope OPTION
 Number of HRUs: 11
 Number of Subbasins: 1

Time: 00:00:00
 THRESHOLDS : 8 / 8 / 90[%]

	Area [ha]	Area[acres]		
Watershed	1289.783	3187.1184		
	Area [ha]	Area[acres]	%Wat.Area	
LANDUSE:				
Pasture --> PAST	962.7547	2379.015	74.64	
Forest-Evergreen --> FRSE	327.0284	808.1034	25.36	
SOILS:				
CXve1	191.5797	473.4031	14.85	
CXve2	211.9684	523.7844	16.43	
CXve3	342.8685	847.2451	26.58	
PVAd	243.7724	602.3738	18.9	
RLve	267.3408	660.6124	20.73	
GXve	32.2533	79.6996	2.5	
SLOPE:				
0-9999	1289.783	3187.1184	100	
	Area [ha]	Area[acres]	%Wat.Area	
SUBBASIN #	1	1289.783	3187.1184	100
LANDUSE:				
Pasture --> PAST	962.7547	2379.015	74.64	
Forest-Evergreen --> FRSE	327.0284	808.1034	25.36	
SOILS:				
CXve1	191.5797	473.4031	14.85	
CXve2	211.9684	523.7844	16.43	
CXve3	342.8685	847.2451	26.58	
PVAd	243.7724	602.3738	18.9	
RLve	267.3408	660.6124	20.73	
GXve	32.2533	79.6996	2.5	
SLOPE:				
0-9999	1289.783	3187.1184	100	
HRUs				
1	Pasture --> PAST/CXve1/0-9999	130.0389	321.3326	10.08
2	Pasture --> PAST/CXve2/0-9999	160.6225	396.9063	12.45
3	Pasture --> PAST/CXve3/0-9999	294.2568	727.1232	22.81
4	Pasture --> PAST/PVAd/0-9999	199.4241	492.7869	15.46
5	Pasture --> PAST/RLve/0-9999	178.4124	440.866	13.83
6	Forest-Evergreen --> FRSE/CXve1/0-9999	61.5408	152.0705	4.77
7	Forest-Evergreen --> FRSE/CXve2/0-9999	51.3458	126.8781	3.98
8	Forest-Evergreen --> FRSE/CXve3/0-9999	48.6117	120.1219	3.77
9	Forest-Evergreen --> FRSE/GXve/0-9999	32.2533	79.6996	2.5
10	Forest-Evergreen --> FRSE/PVAd/0-9999	44.3483	109.5869	3.44
11	Forest-Evergreen --> FRSE/RLve/0-9999	88.9284	219.7464	6.89