

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus Rio Claro

EDVALDO GUEDES JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
ATRAVÉS DO MODELO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO SWAT (SOIL AND
WATER ASSESSMENT TOOL).**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
Co-Orientador: Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro (SP)

2015

EDVALDO GUEDES JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
ATRAVÉS DO MODELO HIDROSEDIMENTOLÓGICO SWAT (SOIL AND
WATER ASSESSMENT TOOL).**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Rio Claro, SP ____ de _____ de _____

551.46 Guedes Júnior, Edvaldo
G924a Avaliação da erosão hídrica de superfície e transporte de sedimentos através do modelo hidrossedimentológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) / Edvaldo Guedes Júnior. - Rio Claro, 2015
85 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição
Coorientador: Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

1. Hidrografia. 2. SWAT. 3. Erosão. 4. Bacia Hidrográfica. I. Título.

Dedico este trabalho e toda a minha família, em especial meu pais Edvaldo e Vera e meus irmãos André, Davi e Larissa. Vocês são a minha principal motivação.

Agradecimentos,

Sinto uma grande alegria no momento de escrever estes agradecimentos. A seguir, tentarei enumerar todos aqueles gentilmente me ajudaram durante estes sete e poucos anos na UNESP de Rio Claro. É um motivo de grande felicidade expressar neste espaço o meu carinho e gratidão por todos.

Em primeiro lugar eu agradeço a Deus por todo sustento. Agradeço a minha grande família, tantas pessoas que se eu fosse cita-las nominalmente, com certeza o volume de páginas seria maior do que o deste trabalho. Agradeço especialmente ao meu pai Edvaldo e minha mãe Vera, o amor e carinho de vocês tem sido imprescindível nesta caminhada. Meus irmãos André, Davi e Larissa sou um cara feliz por ter vocês ao meu lado.

Agradeço ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição que ajudou muito fornecendo todo suporte para esta realização deste trabalho. Obrigado pelo acolhimento, pelas viagens e pelas valorosas conversas que me ajudaram muito nestes anos de UNESP. De igual forma agradeço ao Prof. Dr. Sérgio dos Anjos, pessoa que tenho como exemplo de profissional e que me abriu as portas do CEAPLA (Centro de Análise e Planejamento Ambiental – UNESP, Rio Claro), local onde eu convivi com pessoas maravilhosas cuja convivência me proporcionou momentos de grande alegria na UNESP. Agradeço ao Prof. Dr. Alexandre Ferreira e ao Prof. Dr. Diego Sardinha cujas conversas, além de renderem boas risadas, contribuíram muito na reta final de elaboração deste trabalho. Agradeço a Danielle Bressiani e a todos os membros do SWAT User's Groups. Sem a ajuda de vocês, não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores e funcionários do DEPLAN; Álvaro, Arnaldo, Bete, Bira, Cássia, Carol, Hias, Magali e Sueli; aos meus grandes amigos de UNESP; Luiz Henrique, Éder, Rafael, Antônio, Edvânia e Bel; aos companheiros de república Bob e Kendi; aos grandes amigos José Carlos, Marcos, Iuri, Vitor, Igor e Galdino e grandes amigas Kátia, Tamara e Letícia. Sinto-me honrado pela amizade e pelo companheirismo de todos vocês. Agradeço a todos os meus amigos de Rio Claro, lugar onde eu nasci e cresci. Por fim, gostaria de prestar a minha homenagem ao meu amigo Bruninho cuja partida nos entristeceu muito nos últimos dias. Esteja em paz meu amigo, para quem tem fé em Deus, a vida nunca termina.

RESUMO

A crescente demanda por recursos naturais promove pressões sobre o meio ambiente que colocam em risco a capacidade da natureza em renovar seus recursos. Em se tratando do solo e da água, recursos essenciais para manutenção da vida na Terra, têm-se observado sua crescente deterioração provocada, sobretudo pelo aumento das áreas destinadas a suprir as demandas agrícolas, energéticas e de recursos minerais, que compõem o conjunto de insumos necessários para suprir os atuais padrões de consumo das sociedades modernas. Dentre os problemas de ordem ambiental, a aceleração dos processos erosivos constitui um dos principais agentes de degradação do meio ambiente destruindo as camadas férteis do solo. Para equacionar este problemas, modelos matemáticos de base física integrados a Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) são uma importante ferramenta para prever os impactos provocados ao meio ambiente em função dos usos e da cobertura da superfície terrestre. Neste trabalho, o modelo hidrossedimentológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool – Arnold et al., 1998) foi aplicado em duas bacias hidrográficas homogêneas quanto as suas características climáticas e heterogêneas quanto suas composições litológicas e pedológicas tendo por objetivo a análise da atuação dos processos erosivos neste contexto. O modelo foi programado para rodar três cenários, sendo no cenário 1 programado para rodar 21 anos, no cenário 2 programado para rodar 10 anos e no cenário 3 programado para rodar pelo período de 1 ano. Os resultados mais coerentes foram aqueles apresentados no cenário 1 com uma produção de sedimentos máxima no mês de Janeiro equivalente a 28,34 t/ha na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e 25,15 t/ha na bacia do Ribeirão Jacutinga.

Palavras-Chave: Hidrografia, SWAT, Erosão, Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

The demand for natural resources has promoted pressures on the environment that put's in a threat the nature's ability to renew their resources. In terms of soil and water resources of great importance for sustaining life on Earth, has been observed their deterioration growing caused mainly by the increase of areas designed to supply agricultural, energy and mineral demands, which make up the set of inputs necessary to maintain the current standards of consumption of modern societies. Among the problems related to the environment, the acceleration of erosion is one of a major environmental degradation agents destroying the fertile soil layers. To settle this problem, mathematical models of physical base integrated with Geographic Information Systems (GIS) are an important tool to predict the impacts to the environment due to the use and coverage of the Earth's surface. In this work, the hydrosedimentological model SWAT (Soil and Water Assessment Tool - Arnold et al, 1998) was applied to two homogeneous watershed as their climate and heterogeneous characteristics as its lithology and soil compositions. The objective was analyze the performance of erosive processes in this context. The model was programmed to run three scenarios. In the first scenario, the SWAT was set to run 21 years of hydrography process. In second scenario scheduled to run for 10 years and in scenario three, set by one year of process. The most consistent results were those presented in scenario 1 with a maximum production of sediments in January equivalent to 28.34 t /ha in the Ribeirão Grande Monjolo watershed and 25.15 t / ha in Ribeirão Jacutinga watershed.

Keywords: Hidrography, SWAT, Erosion, Watershed.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1 Objetivos.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Ciclo Hidrológico.....	5
2.2 Sistemas Ambientais.....	9
2.3 Bacias hidrográficas.....	11
2.4 Intemperismo e erosão hídrica de superfície.....	16
2.5 Transporte de sedimentos.....	19
2.6 Modelagem de processos erosivos.....	22
2.7 SWAT: histórico.....	24
2.8 SWAT: descrição e aplicações.....	26
2.9 Sistemas de informação geográfica na análise ambiental.....	28
3. ÁREA DE ESTUDO.....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1 Modelo SWAT.....	45
4.2 Interface ArcSWAT.....	49
4.3 Variáveis climáticas e hidrológicas.....	49
4.4 Cálculo dos parâmetros físicos das classes de solos.....	51
4.5 Caracterização fisiográfica e elaboração do banco de dados georreferenciado.....	52
5. RESULTADOS DE DISCUSSÃO.....	54
5.1 Elaboração dos planos de informação.....	54
5.2 Delineamento das sub bacias e definição dos canais de drenagem e exutórios.....	56
5.3 Definição do uso do solo, classes de solo e classes de declividade.....	58
5.4 Processo de modelagem e comparação entre os resultados.....	64
5.5 Considerações finais.....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos naturais promove pressões sobre o meio ambiente que colocam em risco a capacidade da natureza em renovar seus recursos. Em se tratando do solo e da água, recursos essenciais para manutenção da vida na Terra, têm-se observado sua crescente deterioração provocada, sobretudo pelo aumento das áreas destinadas a suprir as demandas agrícolas, energéticas e de recursos minerais, que compõem o conjunto de insumos necessários para suprir os atuais padrões de consumo das sociedades modernas. Neste contexto, a demanda por insumos vem gerando pressões sobre os padrões de uso e ocupação do território, fato que tem provocado a alteração de um equilíbrio natural que tem permanecido estável por milhares de anos. Este cenário gera incertezas quanto o comportamento da natureza, fato observado através do aumento do número de anomalias climáticas que causam desastres naturais dentre eles secas e mudanças nos regimes de chuva que causam grandes prejuízos econômicos e de ordem ambiental.

Dentre os problemas de ordem ambiental, a aceleração dos processos erosivos constitui um dos principais agentes de degradação do meio ambiente, sendo digno de uma especial atenção no sentido de atenuar os danos causados por sua má utilização. Na construção desta tarefa, o desenvolvimento de métodos científicos de investigação vem promovendo o acúmulo de conhecimento que nos permite entender os processos que ocorrem na natureza e em que grau e escala as ações humanas podem exercer influência sobre os processos naturais. Este conhecimento tem sido útil na promoção de ações que visam diminuir os danos causados ao meio ambiente auxiliando na busca por formas de exploração sustentada dos recursos naturais.

Diante do exposto a partir das concepções metodológicas da teoria geral dos sistemas (BERTALANFFY 1975), várias pesquisas têm demandando esforços para compreender a dinâmica de interação entre os elementos que compõem os ecossistemas no que diz respeito às trocas entre matéria e energia que promovem o seu funcionamento. Para este fim, a literatura científica tem apresentado vários trabalhos que adotam as bacias hidrográficas como objeto de estudo, visto que estas podem funcionar como um sistema aberto ou fechado, capaz de reproduzir numa unidade territorial todos os estágios do ciclo hidrológico podendo também evidenciar as alterações na paisagem resultantes das ações humanas. Moldan e Cerny (1994)

contribuem com este raciocínio ao afirmar que as bacias hidrográficas podem ser entendidas uma unidade natural de planejamento e gestão, uma vez que os elementos atmosféricos, hidrológicos, biológicos e litológicos interagem de maneira sistêmica, sendo capazes de reproduzir os efeitos causados pelas atividades antrópicas sobre a superfície terrestre.

Para promover a gestão das bacias hidrográficas e mensurar os impactos ambientais sobre as mesmas em função de seu uso e ocupação, a utilização de modelos matemáticos preditivos de base física tem servido como apoio para tomada de decisões, uma vez que tais modelos possuem a capacidade de prever a disponibilidade futura de recursos naturais em função das condições atuais de uso e ocupação do ambiente. De acordo com Barth et al (1987), os modelos utilizados na modelagem ambiental são compostos por equações matemáticas capazes de representar o comportamento de um sistema natural, sendo possível realizar previsões para vários cenários e níveis de discretização através da alteração de seus parâmetros, dada a versatilidade de sua lógica. Nas geociências a modelagem é uma ferramenta de fundamental importância, sendo utilizada na descrição de regimes tectônicos; sistemas atmosféricos e meteorológicos para previsão do tempo; análises de mudanças climáticas em escalas global, regional e local e na gestão de bacias hidrográficas.

A partir da década de 1970, vários modelos foram desenvolvidos impulsionados pela revolução da tecnologia computacional de processamento de dados, fato que aumentou substancialmente a confiabilidade dos resultados gerados através processos de modelagem ambiental. Em se tratando de modelagem de bacias hidrográficas, o modelo hidrossedimentológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool - ARNOLD et al., 1995), tem sido empregado com sucesso na modelagem destes sistemas ambientais, apresentando resultados que subsidiam as tomadas de decisão quanto ao planejamento ambiental, do aproveitamento do solo e dos recursos hídricos em variadas escalas de bacias hidrográficas. O modelo SWAT foi desenvolvido pelo Agricultural Research Service (ARS/USDA), em Temple no Texas, EUA e possui a capacidade de operar em um intervalo de tempo diário, podendo realizar simulações contínuas para reproduzir processos e respostas por longos períodos de tempo. O SWAT permite que vários processos físicos sejam simulados no contexto de bacias hidrográficas com o objetivo de analisar os impactos sobre o uso e alteração dos solos, sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em variadas escalas de bacias hidrográficas.

De acordo com o exposto e considerando os problemas ambientais decorrentes dos padrões de uso e ocupação do solo em função das atividades agrícolas, têm-se como resultado um cenário de degradação do solo e dos recursos hídricos, fato expressado através dos processos erosivos acelerados, e do comprometimento da qualidade e disponibilidade de água nas bacias hidrográficas. Este cenário pouco otimista é ainda mais grave em países subdesenvolvidos, que dependem muito da atividade agrícola. Nestes países, por ser praticada sem a adoção de padrões de manejo sustentável do solo e da água, a atividade agrícola gera grandes danos ao meio ambiente. Neste sentido, torna-se necessária a adoção de medidas que visem atenuar os danos causados ao meio ambiente pelas atividades de exploração dos recursos naturais. O uso de sistemas de modelagem do meio físico possui grandes potencialidades em tarefas que visem subsidiar a exploração sustentada do meio ambiente, uma vez que tais modelos possuem a capacidade de projetar cenários futuros relativos a disponibilidade de recursos naturais. Desta forma, este trabalho tem como objetivo contribuir para a modelagem dos processos de vazão e produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas de uso estritamente agrícola, visto que a predição destes processos pode apoiar a gestão de bacias hidrográficas tendo em vista a preservação dos recursos naturais.

1.1 Objetivos

Os modelos de base física como EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE - WISCHMEIER e SMITH, 1978), WEPP (Water Erosion Prediction Project - LAFREN, 1991), MEUPS (Modified Universal Soil Loss Equation - WILLIAMS, 1995) e o SWAT (Soil and Water Assessment Tool - ARNOLD, 1998) necessitam de uma grande quantidade de dados de entrada para simular os processos físicos de que cada um deles trata. Em se tratando de simulações relacionadas ao escoamento superficial e a produção de sedimentos, as variáveis que mais influenciam nestes processos estão diretamente relacionadas à pedologia, morfologia e características climáticas (temperatura, regime pluviométrico) da bacia hidrográfica em questão. Neste sentido, é imprescindível a disponibilidade de uma base de dados sólidos que possa servir como parâmetros para calibração e verificação da confiabilidade do modelo. Partindo destas premissas, este trabalho tem por principal objetivo a aplicação do modelo SWAT para simular o transporte de sedimentos em duas bacias hidrográficas:

- Bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (BHMG);

- Bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (BHRJ).

As bacias hidrográficas do Ribeirão Monjolo Grande e do Ribeirão Jacutinga são distintas quanto as suas características geológicas e pedológicas, no entanto, apresentam-se homogêneas quanto aos aspectos de uso e cobertura do solo, aspectos climáticos e aspectos estruturais que regulam a morfometria e a evolução da paisagem na Depressão Periférica Paulista. Neste sentido, busca-se avaliar a diferença na produção e transporte de sedimentos em função das características pedológicas e geológicas das bacias em questão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclo hidrológico

O ciclo da água diz respeito à presença e circulação da água sobre a superfície da litosfera, sobre os mares e oceanos, através de todas as camadas da atmosfera e por entre o subsolo, podendo seus estados físicos variarem entre sólido, líquido e gasoso. Em escala planetária, desconsiderando-se a pequena contribuição de corpos rochosos extraterrestres que caem sobre a Terra, vários autores concordam que o ciclo hidrológico constitui um sistema fechado, de forma que a quantidade de água existente no planeta sempre foi a mesma desde a sua formação, ocorrendo somente variações quanto ao seu estado físico e quanto ao tempo de residência (CHRISTOFOLETTI 1999, PRESS et al 2006, TUCCI 2001, SANTOS et al, 2001). A dinâmica de movimento do ciclo hidrológico é alimentada pela energia proveniente da radiação solar associada à força da gravidade e à rotação terrestre.

Sob uma perspectiva panorâmica do ciclo hidrológico, considerando os intercâmbios que ocorrem entre as esferas que compõe o planeta Terra, podemos analisar os intercâmbios de água entre as esferas do planeta a partir de uma visão cíclica, em estágios onde a água comporta-se de maneiras e formas distintas em cada um dos referidos estágios. O ciclo hidrológico pode ser descrito e sistematizado partindo da água no estado sólido e líquido, armazenada nas geleiras, rios, lagos e oceanos, lugares esses que constituem os reservatórios naturais de água. Sobre a influência da radiação solar incidente sobre a superfície das águas associada aos movimentos dos gases atmosféricos e aos movimentos rotacionais do planeta, a água dos reservatórios naturais passa para o estado gasoso, assumindo a forma de vapor

d'água. Ao sofrer influências dos movimentos convectivos de ar e ao entrar em contato com minúsculas partículas em suspensão na atmosfera denominadas núcleos de condensação, o vapor de água se condensa, podendo precipitar-se sobre as formas de chuva, neve ou gelo. A água precipitada pode cair sobre outros corpos de água, retornando aos reservatórios naturais; pode ser interceptada pela vegetação, onde pode evaporar-se novamente ou escoar através da vegetação até o solo; ou ainda pode incidir diretamente sobre o solo desprotegido, onde infiltrar-se no solo ou gera o escoamento superficial. A água que infiltra no solo, sobre influência da força gravitacional, ainda pode escoar por entre as partículas do subsolo até aflorar em algum corpo d'água ou permanecer armazenada no subsolo, onde forma os aquíferos profundos. A outra parte da água que incide sobre o solo e escoar superficialmente, carrega sedimentos e material dissolvido até os níveis altimétricos mais baixas da superfície.

Os estados físicos pelos quais a água passa durante o ciclo hidrológico, bem como o local onde a água fica armazenada durante o ciclo, possuem uma grande variação nas escalas temporal e espacial, sendo que essas variações possuem um importante papel na regulação de diversos processos que ocorrem na natureza. Por exemplo, no contexto do processo de pedogênese, a disponibilidade de água e o seu tempo de armazenamento no subsolo é determinante na formação do solo e na seleção dos minerais e compostos orgânicos que caracterizam seus horizontes. No contexto das bacias hidrográficas, a relação temporal do ciclo hidrológico diz respeito ao que conceitualmente chama-se tempo de concentração, que por sua vez está relacionado ao tempo necessário para que toda a área de captação da bacia contribua para o escoamento superficial nos exutórios. De acordo com Tucci (2009), os fatores que regulam o tempo de concentração da água estão relacionados com a forma, declividade, cobertura do solo, área e declividade dos canais de drenagem dentro da área de captação da bacia hidrográfica. O tempo de concentração apresenta uma relação diretamente proporcional com a área de captação da bacia hidrográfica, ou seja, quanto maior a área de captação, maior é o tempo de concentração da água na bacia hidrográfica (TUCCI, 2009). A figura 1 ilustra os reservatórios e os estados físicos da água durante o ciclo hidrológico.

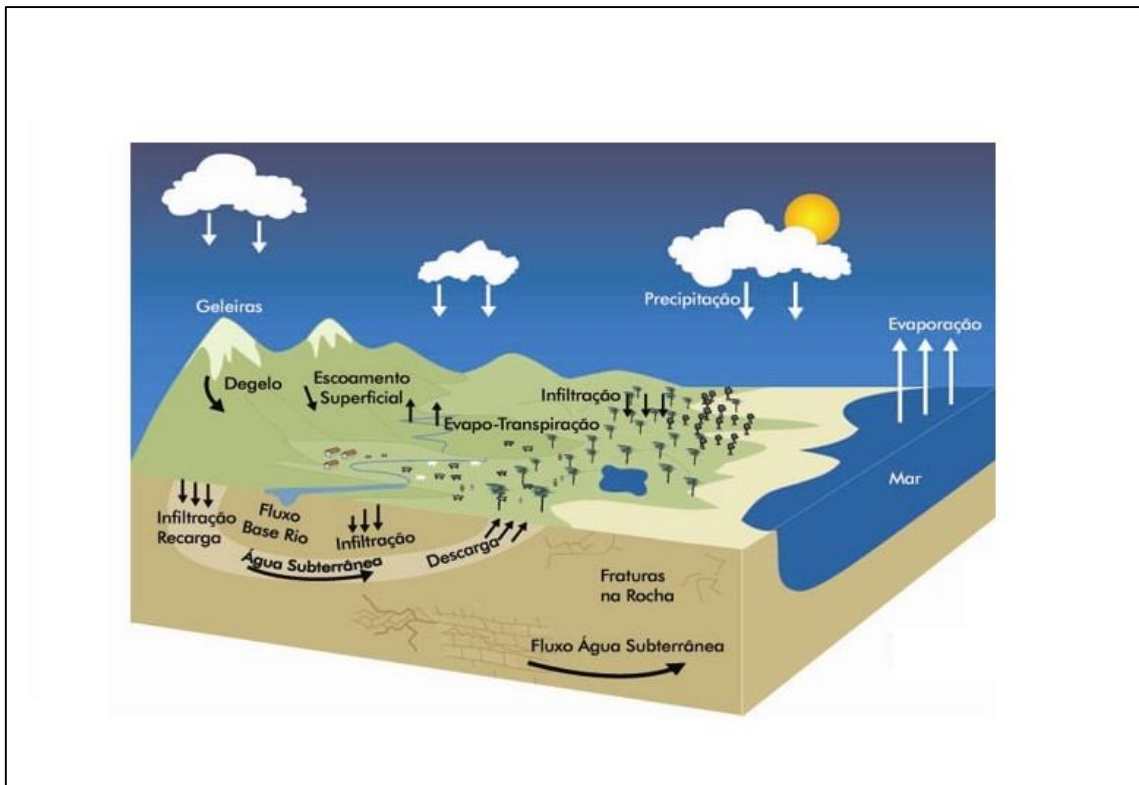


Figura 1: Estágios do Ciclo Hidrológico (Fonte: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>)

A água existente em todo o planeta e em constante circulação não está distribuída de forma homogênea, existindo uma grande variabilidade espacial e temporal das manifestações do ciclo hidrológico sobre as esferas terrestres. Santos et al (2001), atribui essa desuniformidade a fatores relacionados com a distribuição da intensidade da radiação solar que atinge o planeta, diferenças na termodinâmica dos continentes e oceanos, à quantidade de vapor de água, CO_2 e ozônio na atmosfera, variabilidades na cobertura vegetal e uso do solo e à influência exercida pelos movimentos do planeta Terra. De acordo com Santos et al (2001), muitas pesquisas fizeram estimativas para quantificar os valores dos fluxos e volume das reservas de água no planeta, sendo que os resultados das mesmas não apresentam valores com grandes variações entre si. De acordo com Teixeira et al (2009), 94% do volume total de água na Terra está armazenado nos oceanos, o que corresponde a um volume de $1370 \text{ km}^3 \times 10^6$. Os 6% restantes estão distribuídos entre a atmosfera e os continentes, sendo 2% sobre a forma de geleiras com um volume de $30 \text{ km}^3 \times 10^6$ e 4% estocados no subsolo, com um volume de $60 \text{ km}^3 \times 10^6$. A parte que corresponde ao volume estocado nos rios, lagos e reservatórios artificiais é inferior a 0,01%, com um volume de $2 \text{ km}^3 \times 10^5$. Tendo em vista a pequena quantidade de águas superficiais disponíveis nos continentes, ressalta-se

a importância de medidas para preservação destes recursos. A tabela 1 apresenta os valores de água contidos em diversos reservatórios presentes na natureza. Os valores foram quantificados através do relatório World Water Balance and Resources of Earth (UNESCO, 1978) e citado por Santos et al (2001); Oki e Kanae (2006); Teixeira et al (2009).

Tabela 1. Estimativa de disponibilidade de água a nível global.

Reserva	Volume (Km ³)	% Água	% Água Doce
Oceano	1.338.000.000	96,54	
Água Subterrânea	23.400.000	1,69	30,1
Umidade do solo	16.500	0,012	0,05
Geleiras	24.364.100	1,76	69,6
Lagos	176.400	0,013	0,26
Pântanos	11,470	0,0008	0,03
Rios	2.120	0,0002	0,006
Água Biosfera	1.120	0,0001	0,003
Água Atmosfera	12.900	0,0009	0,004
Total água	1.385.984.610	100	
Total água doce	35.029.210	2,53	100

Fonte: World Water Balance and Resources of the Earth (UNESCO, 1978 apud Santos et al, 2001, Oki e Kanae, 2006; Teixeira et al 2009.)

Relacionado ao balanço hídrico, Santos et al (2001) consideram que a precipitação média anual sobre a parte terrestre equivale a 800 mm e a evapotranspiração equivalente a 480 mm. A tabela 2 apresenta uma estimativa dos fluxos de relevantes para o balanço hídrico global quantificados pelo relatório da UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) World Water Balance and Resources of Earth (UNESCO, 1978) e citado por Santos et al (2001); Oki e Kanae (2006); Teixeira et al (2009).

Tabela 2. Balanço hídrico global anual

	Unidade	Oceano	Terra
Área	Km ²	361.300.000	148.800.000
Precipitação	Km ³ /ano	458.000	119.000
	mm/ano	1270	800
Evaporação	Km ³ /ano	505.000	72.000
	mm/ano	1400	484
Escoamento para o oceano			
Rios	Km ³ /ano	-	44.700
Escoamento Subterrâneo	mm/ano	-	2.200
Escoamento Total	Km ³ /ano	-	47.000
	mm/ano	-	316

Fonte: World Water Balance and Resources of the Earth (UNESCO, 1978
Apud Santos et al, 2001; Oki e Kanae, 2006; Teixeira et all, 2009).

2.2 Sistemas ambientais

O ciclo da água, bem como a rede de drenagem que compõe uma bacia hidrográfica tem seu funcionamento conforme um sistema ambiental integrado. Segundo Christofolletti (1980), “um sistema pode ser definido como o conjunto de elementos e de suas relações entre si e entre seus atributos”. Na abordagem da composição sistêmica, os principais aspectos que devem ser levados em consideração são a matéria, que diz respeito ao material que será mobilizado através do sistema; a energia, que consiste nas forças que imprimem o caráter de dinamicidade do sistema; e a estrutura, que corresponde ao arranjo organizacional dos elementos que compõe o sistema.

De acordo com Vicente e Perez (2003), em função das leis físicas que regem a natureza os sistemas podem ser divididos entre sistemas aberto e fechados. Os princípios dos sistemas fechados são regidos pelos conceitos tradicionais da física, como a termodinâmica, de forma que os fluxos de matéria e energia são controlados dentro de um ambiente fechado onde as condições finais do sistema dependem das condições iniciais. Já com relação aos sistemas abertos, estes dependem constantemente de uma fonte externa de energia sendo mantidos em equilíbrio pela entrada e remoção de matéria e energia de forma que as condições iniciais são diretamente influenciadas por uma série de variáveis. Os sistemas abertos englobam todos os fenômenos de ordem

natural e social, podendo ser visualizados a partir do funcionamento de uma célula, até bacias hidrográficas e seus canais de drenagem, passando pelas relações econômicas e sociais, compondo uma relação simbiótica no tempo e no espaço.

Relacionado aos sistemas envolvidos na análise ambiental, Christofolletti (1999) afirma que estes processos funcionam dentro de um ambiente que por sua vez faz parte de um conjunto maior, podendo ser classificado quanto sua funcionalidade e quanto sua composição. Quanto ao critério funcional, os sistemas podem ser classificados como sistemas isolados, quando não existe perda nem ganho de energia ou matéria do ambiente, e em sistemas não isolados, quando são mantidas as relações com outros sistemas presentes no ambiente. Os sistemas não isolados ainda podem ser subdivididos em sistemas não isolados fechados, quando ocorre somente o intercambio de energia, sem alteração da matéria, e em sistemas não isolados abertos, onde ocorre o intercambio de energia e matéria com o ambiente circundante.

Quanto ao critério da composicional dos sistemas, Chorley e Kennedy (1971) consideram que os sistemas de maior valor para análise ambiental são os sistemas morfológicos; sistemas em sequência ou encadeantes; sistemas de processo resposta e sistemas controlados. Os sistemas morfológicos podem ser isolados, fechados ou abertos e podem ser exemplificados através das variáveis geométricas da superfície terrestre que podem ser analisadas quanto suas particularidades. São exemplos de sistemas morfométricos as redes de drenagem, vertentes e canais fluviais. Os sistemas em sequência são compostos por sequências de subsistemas com intercambio de matéria e energia, sendo que a saída de um sistema "*output*" é a entrada "*input*" do sistema subsequente. Como exemplo de um sistema em sequência, pode-se citar o processo de evapotranspiração dos vegetais, onde a água absorvida pelas raízes do sistema vegetal (*input*) é posteriormente expelida através das folhas para o sistema atmosfera (*output*).

Os sistemas de processo resposta podem ser caracterizados através da interação entre os sistemas morfológicos e os sistemas em sequência, sendo caracterizados pelo equilíbrio das variáveis que compõe o sistema, admitindo-se que qualquer alteração no sistema em sequencia resulta em alterações nos sistemas morfométricos e vice e versa até que um novo equilíbrio possa ser atingido. Um típico exemplo de sistemas processo resposta pode ser representado através da dinâmica de transporte e deposição de sedimentos nos canais de drenagem. Admitindo-se que ocorra um eventual rebaixamento no nível de base da bacia hidrográfica causado por alguma perturbação de ordem tectônica, por exemplo, faz com que o canal de drenagem seja rebaixado à

jusante e entre em um processo de retomada erosiva tendo seu leito escavado pelo fluxo de drenagem, processo este que resulta no aprofundando dos vales e na dissecação do relevo em direção à montante do canal de drenagem. De forma contrária, a construção de uma barragem ou elevação no nível de base à jusante que pode ser causada por processos isostáticos, provoca a diminuição da velocidade do fluxo de água do canal de drenagem, fazendo com que o rio passe a depositar sedimentos sobre seu leito em direção à montante da bacia hidrográfica.

Os sistemas controlados são aqueles relacionados à capacidade do homem intervir nos sistemas ambientais. Como exemplo, admite-se que a retirada da vegetação de uma área resulta na aceleração dos processos erosivos que por sua vez, promovem alterações nas formas do relevo local, assoreamento dos canais de drenagem, aumento do aporte de sedimentos e alterações na qualidade das águas superficiais. Tal fato estabelece um encadeamento de processos que modificam o comportamento dos sistemas naturais.

A respeito da aplicação dos conceitos sistêmicos em geomorfologia, Christofolletti (1999) afirma que os componentes de um sistema geomorfológico são representados pela topografia do terreno onde as formas são geradas e integradas pela ação morfoescultural que é condicionada por fatores relacionados à dinâmica atmosférica e a geodinâmica interna do planeta, produzindo as mais variadas formas de relevo. Seguindo a mesma linha de raciocínio, mas aplicando este princípio ao contexto de bacias hidrográficas, Christofolletti (1999) relata que a dinâmica de interação entre os elementos naturais que compõe uma bacia hidrográfica é composta pela cobertura vegetal, pelos solos, pelos aquíferos e a topografia perfazendo os elementos componentes do sistema. A precipitação corresponde às entradas que dão início a outros processos como intemperismo, evapotranspiração, erosão lamiar do solo e demais processos que ocorrem na escala de bacias hidrográficas.

2.3 Bacias hidrográficas

A unidade geográfica para estudos hidrológicos é a bacia hidrográfica, que constitui a de área na qual podemos quantificar o ciclo hidrológico. De acordo com Press et al (2006), uma bacia hidrográfica corresponde a um sistema ambiental dentro de uma unidade de área da superfície terrestre que é composta por uma rede de canais de drenagem e delimitada por divisores topográficos que estabelecem uma área de

captação da precipitação onde é drenada água, materiais dissolvidos e em suspensão para um único ponto de saída, o exutório da bacia. Christofolletti (1981) define a bacia hidrográfica como uma área drenada por um sistema fluvial que pode ser considerada tanto um sistema aberto quanto fechado onde toda matéria e energia presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados intrinsecamente entre si. O tema bacias hidrográficas tem sido objeto de investigação de diversos pesquisadores, atuando nos mais diversos campos científicos. Nas geociências, vários pesquisadores fizeram importantes contribuições para o tema, dentre eles Christofolletti (1980, 1981, 1999), Conceição (2004), Pereira (2010), Spatti Jr (2010), Fernandes (2012).

Quanto às particularidades e aspectos descritivos relacionados às bacias hidrográficas, Christofolletti (1981) afirma que a quantidade de água em uma bacia hidrográfica é função do tamanho da área da bacia, delimitada pelos divisores topográficos; dos fatores climáticos que regulam a precipitação que atinge a área; e das perdas devido à evapotranspiração e à infiltração. Analisando os aspectos dos padrões de drenagem, Christofolletti (1981) classifica as bacias hidrográficas em função dos padrões observados de drenagem como:

- Exorreicas: ocorre quando a rede de drenagem desemboca ao nível do mar.
- Endorreicas: ocorre quando a rede de drenagem possui fluxo voltado ao interior dos continentes, opostos ao nível do mar, desembocando nos níveis mais baixos do continente, geralmente em lagos, depressões cársticas, infiltrando-se nas areias de regiões áridas ou dissipando-se ao desembocar em outros rios.
- Arreicas: são compostas por drenagens intermitentes, típicas de regiões semi áridas e desérticas. A rede arreica de drenagem é regulada pela influência dos regimes de chuvas e do deslocamento das dunas nas regiões das quais fazem parte.
- Criptorreicas: padrão de drenagem composto por canais de drenagem subterrâneos, típicos de regiões cársticas.

Analisando-se individualmente os canais de drenagem, Christofolletti (1980) destaca a classificação proposta por Davis (1954) que relaciona fatores geológicos e estruturais com a disposição espacial e orientação dos canais de drenagem. De acordo com Davis (1954), os canais de drenagem podem ser classificados em:

- Consequentes: quando a drenagem é controlada pela declividade da superfície terrestre, desta forma o fluxo da drenagem se dá no mesmo sentido do ângulo de inclinação das camadas rochosas subjacentes.
- Subsequentes: são as drenagens que acompanham as zonas de fraqueza do terreno fluindo sobre zonas de juntas e falhas. A direção do fluxo de drenagem é perpendicular à inclinação das camadas rochosas.
- Obsequentes: cuja drenagem flui no sentido inverso ao da inclinação das camadas rochosas subjacentes.
- Ressequentes: quando o fluxo de drenagem se dá na mesma direção de rios consequentes, geralmente tem suas montantes alocadas no alto dos reversos das escarpas e fluem até desembocar em um rio subsequente.
- Insequentes: ocorrem quando os canais de drenagem não apresentam uma orientação regulada pela estrutura geológica da área que drenam, sendo comuns em planícies e áreas de homogeneidade litológica.

As drenagens ainda podem ser classificadas de acordo com padrões que referem-se à disposição espacial dos cursos fluviais, obedecendo a uma regulação estabelecida pela natureza e disposição das camadas rochosas subjacentes, pela variável resistência das rochas aos processos de intemperismo, pelo grau de declividade das vertentes e pela evolução geomorfológica de uma região. De acordo com Christofolletti (1980), os padrões de drenagem foram um assunto amplamente discutido na literatura geomorfológica, onde alguns especialistas levam em consideração somente o tipo fundamental de drenagem, enquanto outros aprofundam sua análise até padrões derivados de processos mais complexos. Restringindo a análise em função da geometria dos canais de drenagem, Christofolletti (1980), considera como principais padrões a drenagem dendrítica, drenagem em treliça, drenagem retangular, drenagem paralela, drenagem radial e drenagem anelar.

De acordo com Christofolletti (1980), a drenagem dendrítica desenvolve-se em áreas com substrato rochoso de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares paralelas horizontais. No padrão de drenagem dendrítica, os canais tributários de menor expressão fluem em todas as direções de montante à jusante unindo-se uns aos outros em ângulos agudos até atingirem o principal fluxo de drenagem da bacia. Christofolletti (1980) compara o padrão dendrítico de drenagem à configuração de uma árvore, onde o tronco pode ser representado pelo canal principal, enquanto os galhos e ramos mais

finos representam os canais tributários . Christofolletti (1980) descreve que o padrão de drenagem em treliça possui um forte vínculo com estruturas falhadas do substrato rochoso, sendo comum em áreas homoclinais e cristas anticlinais. De acordo com o autor, o padrão de drenagem em treliça é composto por rios principais consequentes que fluem paralelos uns aos outros conectando-se com afluentes consequentes que fluem perpendicularmente aos principais canais de drenagem.

Cristofolletti (1980) relaciona o padrão de drenagem retangular ao controle estrutural exercido por sistemas de falhas, juntas e diáclases. O padrão de drenagem retangular apresenta uma configuração semelhante a do padrão em treliça, no entanto, o padrão retangular apresenta bruscas alterações (próximas ao ângulo de 45°) nos entroncamentos dos cursos de drenagem. O padrão paralelo de drenagem, segundo Christofolletti (1980), está associado a áreas onde há presença de falhas litoestruturais paralelas e vertentes com elevado grau de inclinação onde os canais tributários fluem quase que paralelamente ao canal principal. De acordo com Chistofolletti (1980), o padrão paralelo de drenagem é muito comum em áreas com lineamentos topográficos como drumlins e morenas.

O padrão de drenagem radial apresenta os canais de drenagem dispostos radialmente a partir de um ponto central. Chistofolletti (1980) afirma que este padrão de drenagem pode se desenvolver sobre qualquer tipo de embasamento litoestrutural, podendo ser dividida em dois sub tipos: drenagem radial centrífuga, quando os canais fluem a partir de uma área elevada como topos de morros; e drenagem radial centrífuga, quando os canais de drenagem fluem de áreas elevadas em direção um ponto central numa altitude mais baixa no terreno. Este padrão de drenagem se faz presente em áreas com antigas crateras vulcânicas que entraram em colapso. O padrão de drenagem anelar desenvolve-se em áreas dômicas onde a drenagem principal se estabelece sobre as áreas cuja litologia é mais frágil, dando origem a canais subseqüentes que recebem afluentes ressequentes e obsequentes. A figura 2 representa de forma sucinta os padrões de drenagem encontrados na natureza.

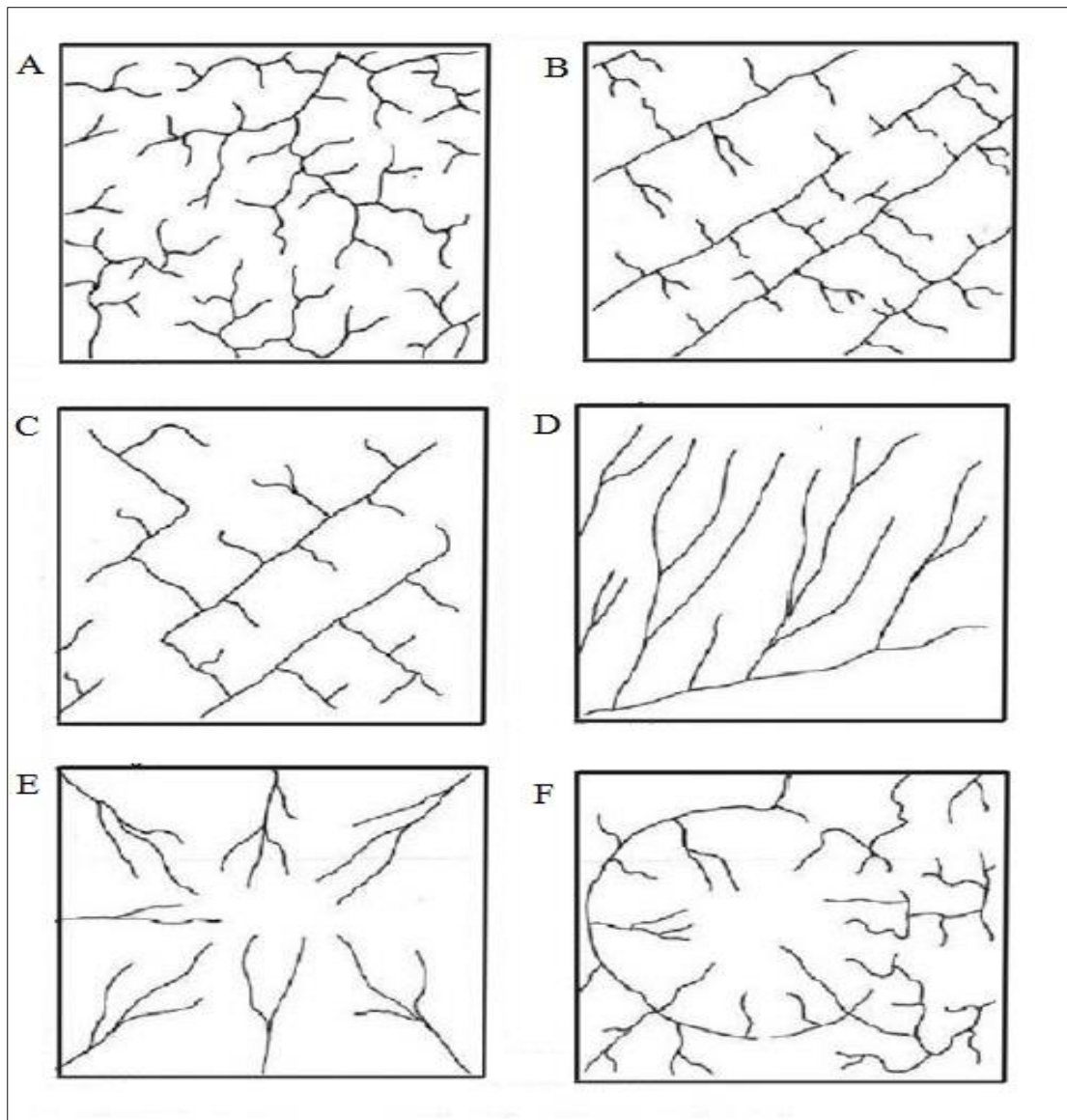


Figura 2: Padrões de drenagem – A: Dendrítica. B: Treliça. C: Retangular. D: Paralela. E: Radial. F: Anelar. (Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980.)

As bacias hidrográficas são elementos da paisagem de grande importância para os estudos ambientais que tem por objetivo compreender as transformações que ocorrem na natureza em função da interação entre matéria e energia, sendo capaz de representar em diversas escalas, todos os estágios do ciclo hidrológico. Nesta linha de raciocínio, Andreozzi (2005) exalta a importância das bacias hidrográficas para estudos que visem compreender a dinâmica de seus componentes, sendo desta forma considerada a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes do meio natural: atmosfera, vegetação, solos, substrato rochoso, águas superficiais e de sub-superfície, sendo, portanto, um sistema que melhor reflete as respostas do meio natural frente às atividades antrópicas. Por ser a menor unidade de paisagem capaz de

integrar os elementos bióticos e abióticos de uma área, as bacias hidrográficas também se apresentam como unidades territoriais para ações de planejamento e gestão do meio ambiente (SOUZA, 2003).

Neste sentido, a partir de uma visão da natureza funcionando como um sistema, destaca-se a importância de se os fenômenos naturais através da análise dos processos físicos e químicos que ocorrem nas variadas escalas temporais e espaciais na natureza, levando em consideração o papel do homem como agente capaz de interferir de várias maneiras no equilíbrio dos sistemas naturais. Desta forma, contextualizando os processos naturais em paralelo com as ações humanas de modificação da paisagem, denota-se a relevância da análise e compreensão dos processos naturais que ocorrem em bacias hidrográficas tomando-a como um sistema e uma unidade natural de planejamento e gestão, visto que todos os elementos da paisagem (atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera) interagem de maneira que os reflexos das atividades antrópicas podem ser representados nesta unidade natural (MONDAN e CERNY, 1994).

2.4 Intemperismo e erosão hídrica de superfície

Em conjunto com a ação da dinâmica interna do planeta e à ação dos elementos atmosféricos, os processos intempéricos e erosivos atuam na modelagem das formas de relevo promovendo a alteração dos materiais rochosos, formação dos solos e sedimentos que são carregados pelos rios (PRESS *et al*, 2006). O intemperismo consiste em uma variável chave para os estudos dos processos erosivos pois se configura no ponto de partida para a formação dos solos e seus horizontes, promovendo a alteração das rochas na superfície da Terra e gerando como produtos os solos e substâncias dissolvidas transportadas em solução através dos rios até os oceanos.

Quanto à natureza do intemperismo, ele é classificado em intemperismo físico ou mecânico, intemperismo químico e intemperismo biológico. De acordo com Carneiro (2012), o intemperismo biológico contribui para acentuar os processos intempéricos físicos e químicos através da ação dos seres vivos por meio das substâncias por eles produzidas, e pela decomposição de matéria orgânica. O intemperismo físico consiste na fragmentação da rocha por processos mecânicos sem alteração de sua estrutura química, sendo regulado principalmente por agentes climáticos como a ação dos ventos, e variações sazonais de temperatura que promove a dilatação e contração das rochas causando como consequência o seu fraturamento.

Também são responsáveis pela fragmentação mecânica das rochas as atividades de organismos biológicos, como o crescimento de raízes de árvores; o acunhamento pelo gelo, processo característico de climas temperados que ocorrem quando a água no interior das fissuras das rochas se congela aumentando de volume e causando o fraturamento da rocha; ação dos rios promovendo o arraste de sedimentos, e o processo de abrasão e remoção promovidas pela expansão das geleiras. Segundo relata Carneiro (2012), o processo de abrasão promovido pelo avanço e contração das geleiras, é caracterizado pela pulverização das rochas subjacentes a partir do impacto e atrito de partículas em movimento, processo este que remove grandes quantidades de material rochoso.

O intemperismo químico ocorre quando os minerais componentes da rocha são alterados em sua composição e estrutura química. O processo de alteração química das rochas ocorre quando seus constituintes minerais entram em contato com o ar e com a água, ocorrendo reações que desestabilizam o estado original dos minerais podendo leva-los à dissolução ou a combinar-se com outros elementos, promovendo assim a formação de novos minerais. De acordo com Moniz (1972), os processos de intemperismo químico promovem a decomposição das rochas, com formação de novos minerais que permanecem no solo e de componentes solúveis que são lixiviados pelas águas de percolação. Os agentes de decomposição química das rochas (ar e água), podem se tornar mais ativos através da adição natural de certos íons e moléculas como CO_2 , O_2 , OH^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , sendo agrupadas em alguns processos dentre eles a dissolução, hidrólise, oxidação, carbonatação, hidratação e acidólise.

De acordo com Carneiro (2012), o fenômeno da erosão consiste no conjunto que engloba destruição das rochas e solos e o seu transporte por meio da água da chuva, rios, mares, geleiras, ação do vento e outros agentes superficiais. Bertoni e Lombardi Neto (1993) definem o fenômeno de erosão como o processo de desprendimento e arraste e deposição das partículas de minerais e nutrientes que constituem os horizontes dos solos, sendo desencadeado pela ação da água ou do vento, e regulados por fatores como a cobertura do solo, a declividade do terreno, a capacidade do solo em reter ou escoar as águas das chuvas. As águas pluviais que percolam através das vertentes constituem o agente mais relevante nos processos erosivos, sendo o ponto de partida para o fenômeno da erosão hídrica de superfície. Este fenômeno promove a denudação das camadas superficiais do solo por meio do arraste de suas partículas expondo as camadas mais profundas do solo à ação dos agentes intempéricos. Desta maneira, o

intemperismo e a erosão são fenômenos que se complementam no contexto do ciclo das rochas, formação dos solos, ciclagem de nutrientes dentre outros processos que ocorrem na natureza.

De acordo com Guerra (2009), os processos de erosão hídrica de superfície são desencadeados pelo escoamento das águas das chuvas em superfície e em subsuperfície, sendo regulados por fatores relacionados à erosividade, que por sua vez é função da energia cinética das gotas das chuvas, estando relacionadas à capacidade das gotas de chuva desencadear o desprendimento das partículas do solo. Este fenômeno também é regulado pelas propriedades físicas e químicas inerentes ao solo, à cobertura vegetal e às características das encostas. Os processos erosivos atuam de forma mais acentuada em países de clima tropical e com altos índices de pluviosidade, fato que pode constituir problemas de ordem ambiental e social se não forem tratados de forma adequada.

Considerando a questão da erosividade dos solos, Hudson (1961; apud GUERRA, 2009), enuncia que a capacidade da chuva em causar erosão está diretamente relacionada com a intensidade da chuva (medida em mm/h), à energia cinética e momento das gotas de água, e ao total de chuva precipitada sobre uma determinada área. Dentre estes parâmetros, a intensidade das chuvas é o fator mais relevante em provocar a erosão nos solos, uma vez que existe uma correlação entre a intensidade da chuva, energia cinética, momento e diâmetro das gotas de água, fato este que por sua vez potencializa a eficiência das chuvas em provocar o desprendimento das partículas componentes do solo, aumentando o escoamento superficial que por sua vez acarreta em maiores taxas de erosão dos solos. Ilustrando a correlação entre o diâmetro das gotas de chuva e a sua eficiência em provocar erosão, Bertoni e Lombardi Neto (1993), enunciam um aumento exponencial nas perdas de solo em decorrência do aumento do diâmetro das gotas de chuva. De acordo com os autores, o aumento no diâmetro das gotas de chuva de 1 para 5 mm diminui em média 70% a velocidade de infiltração da água no solo aumentando as perdas de regolito pelo escoamento superficial em 120%. Deve-se considerar, no entanto, que estes valores foram obtidos através de experimentos em laboratórios, os valores médios podem variar em função da declividade e das características de compactação e densidade da cobertura vegetal dos solos.

A natureza e as propriedades físicas e químicas dos solos são também fatores de fundamental importância na ocorrência dos processos erosivos, influenciando diretamente na intensidade com que estes afetam os agregados do solo. Segundo Morgan (2005), a erodibilidade dos solos está relacionada à resistência do solo em ser

removido e transportado pelos processos erosivos. Já para Guerra (2009), os aspectos relacionadas às propriedades do solo que exercem maior relevância em sua susceptibilidade em sofrer erosão são as características relacionadas à textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade de agregados e pH. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), o elemento textura diz respeito à distribuição das classes de tamanho das partículas que compõe os perfis de solo.

De acordo com Pinto (1991), os solos vêm sendo degradados em função da ação antrópica, verificando-se uma grande relação entre processos de ocupação do solo e aceleração dos processos erosivos. Tucci (2001) contribui com este raciocínio ao afirmar que a exploração inadequada dos solos configura um grande problema ambiental produzindo a perda gradual da capacidade produtiva da agricultura, contaminação dos recursos hídricos e consequentemente queda da disponibilidade e qualidade da água para abastecimento e outros usos.

2.5 Transporte de sedimentos

O transporte de sedimentos corresponde ao material intemperizado e erodido que é carregado pelos canais de fluviais e pelo escoamento superficial. Christofolletti (1981) considera que a carga de material intemperizado transportado até os exutórios das bacias hidrográficas através dos canais de drenagem, constitui numa mistura de partículas de várias espécies que têm sua origem governada por fatores hidrológicos, dentre os quais podemos enumerar como principais:

- Distribuição e intensidade da precipitação que atinge as vertentes, influenciando o desprendimento de sedimentos e no escoamento superficial.
- A estrutura geológica da área, que diz respeito à susceptibilidade do terreno em sofrer erosão em função da ação dos agentes intempéricos.
- As condições topográficas, que diz respeito ao grau de inclinação das vertentes de forma que quanto mais acentuado o grau de inclinação do terreno, maior é a susceptibilidade do regolito se desprender em função da ação da gravidade e dos agentes intempéricos.
- O uso e a cobertura vegetal do terreno, que diz respeito ao grau de proteção que a cobertura vegetal proporciona ao solo, diminuindo a energia cinética das gotas

de chuva e consequentemente sua eficiência em provocar desprendimento das partículas do solo.

A interação entre estes fatores resultam nos processos fluviais de remoção, transporte e deposição de sedimentos nas bacias hidrográficas, uma vez que todo material desprendido flui para as áreas mais baixas do terreno, onde geralmente estão os canais de drenagem. Chistofolletti (1981) considera que a sedimentação fluvial inclui os processos de remoção, transporte e deposição de material erodido das vertentes por processos químicos ou mecânicos, de forma que toda a bacia hidrográfica é responsável pelo fornecimento de sedimentos aos canais de drenagem. Esta dinâmica promove a esculturação do relevo e a evolução das paisagens, sendo importante para elucidar questões relativas ao tempo geológico, paleoclimas, ambientes de sedimentação, entre outros assuntos relacionados à evolução da paisagem terrestre.

De acordo com Holeman (1968), o total de sedimentos transportado dos rios para os oceanos anualmente equivale a 20×10^9 toneladas, sendo o continente Asiático responsável por cerca de 80% deste montante. As contribuições do continente americano são moderadas, enquanto que o continente europeu, africano e australiano contribuem com pequenas taxas de deposição. Considerando as características do material transportado, o transporte de sedimentos pode ser classificado de acordo com três tipos de carga: carga dissolvida, carga em suspensão e carga de arraste no canal de drenagem.

De acordo com Christofolletti (1981), a carga dissolvida é constituída pelo material intemperizado das rochas e transportado em solução pelos canais de drenagem, de forma que o fornecimento do material em solução depende da contribuição da água subterrânea e do escoamento superficial, variando nas escalas temporal e espacial. A composição química das águas fluviais é regulada pela litologia, características de uso e ocupação e cobertura vegetal da bacia e em menor escala pelos elementos em suspensão na atmosfera que precipitam sobre os cursos de água durante os eventos de chuva.

A meteorização das rochas é responsável pela maior parte dos elementos químicos presentes na composição das águas superficiais, de forma que os elementos mais abundantes dissolvidos são cálcio, sílica, ferro, potássio e sódio. A vegetação influencia a composição química das águas e consequentemente o material transportado através do fornecimento de ácidos orgânicos, e as características de ocupação da área contribui com o transporte de materiais dissolvidos fornecendo poluentes que causam

modificações na concentração de material dissolvido, surtindo efeito sobre o balanço biológico nas águas superficiais (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A concentração de material dissolvido transportado pelos canais de drenagem varia sazonalmente, sendo diretamente influenciada pelas estações secas e chuvosas. Christofolletti (1981) considera que existe uma relação inversamente proporcional entre a vazão e a concentração de material dissolvido transportado pelos canais de drenagem de forma que durante o período chuvoso ou eventos extremos de chuva, a concentração de material dissolvido diminui dado o efeito de diluição causado pelo aumento da vazão e pela contribuição do escoamento superficial proveniente das vertentes. Durante os períodos de seca, ocorre o processo inverso ocorrendo a diminuição da vazão e do escoamento superficial e o aumento da contribuição das águas subterrâneas, ricas em elementos provenientes da intemperização das rochas, fato que promove o aumento da concentração de material dissolvido transportado pelos canais de drenagem.

O segundo tipo de transporte diz respeito à carga de sedimentos em suspensão, sendo constituída por material sólido, geralmente composto por silte e argila que são transportados devido à ação turbulenta do fluxo dos canais de drenagem, compondo assim, uma mistura homogênea de água e sedimentos. Santos et al (2001) consideram que o material transportado em suspensão é proveniente da ação abrasiva do fluxo de drenagem sobre o leito somado ao material carregado pelo escoamento superficial proveniente das vertentes. De acordo com Christofolletti (1981), o mecanismo de transporte de sedimentos em suspensão é regulado pela velocidade do fluxo de drenagem, observando-se assim, uma relação diretamente proporcional entre a intensidade da turbulência e a capacidade do fluxo em transportar sedimentos. Isso significa que quanto maior a turbulência, maior diâmetro e quantidade dos sedimentos transportados em suspensão pelo fluxo de drenagem. Quando a turbulência do fluxo diminui, o material transportado em suspensão é depositado. Neste sentido, de forma contrária com o que ocorre no transporte dos sólidos dissolvidos, observa-se uma relação diretamente proporcional entre o transporte de sedimentos em suspensão e a vazão do fluxo de drenagem.

O terceiro tipo de transporte relatado pela literatura é a carga de leito, e diz respeito aos sedimentos de granulometria maior, geralmente compostos por partículas de areia e pequenos seixos, que são transportadas por arraste ou saltação no fundo dos canais de drenagem. Este tipo de transporte está diretamente relacionado com o tamanho das partículas e a capacidade do fluxo turbulento em transportá-las,

condizendo com o material que o fluxo não consegue transportar em suspensão, sendo este material mobilizado e transportado na interface de contato entre a coluna de água e o fundo do canal de drenagem. De acordo com Santos et al (2001) os sedimentos transportados por arraste sofrem abrasão a medida em que se movimentam em direção à jusante do canal de drenagem, fato que ocorre devido ao choque entre os sedimentos durante sua mobilização e transporte.

De acordo com Chistofolletti (1981), a dinâmica do transporte de sedimentos está condicionada a fatores temporais e espaciais atuantes no canal de drenagem. Santos et al consideram que a concentração total de sedimentos é condicionada pela velocidade da corrente, da disponibilidade de sedimentos e de sua granulometria. Quanto à distribuição dos sedimentos ao longo da bacia, Santos et al (2001) consideram que na maioria das bacias hidrográficas, no alto curso é predominante o transporte de arraste e saltação, o médio curso é uma área de estabilidade, sem grandes acréscimos e perdas de volume transportado, enquanto que o baixo curso é uma área onde predomina a deposição de sedimentos. Com relação à distribuição de sedimentos no tempo, este está relacionado com o comportamento da vazão. De acordo com Chistofolletti (1981), 50% do volume de sedimentos transportados durante o ano ocorrem durante eventos severos de chuva, enquanto que o restante é transportado pela vazão média anual.

2.6 Modelagem de processos erosivos

Modelos hidrossedimentológicos para previsão da produção e aporte de sedimentos possuem um grande potencial de uso para o planejamento de ações que visam a antecipação de cenários em função dos usos e ocupação da área. Dentre os modelos hidrossedimentológicos, podemos destacar os modelos EUPS (Universal Soil Loss Equation - WISCHEMEIER e SMITH, 1978), MEUPS (Modified Universal Soil Loss Equation - WILLIAMS, 1975), RUSLE (Revised Universal Soil Erosion Equation - RENARD et al., 1991), WEPP (Water Erosion Prediction Project - LAFLEN et al., 1991) e SWAT (Soil and Water Assessment Tool - ARNOLD et al., 1998) constituem ferramentas que simulam os processos naturais visando uma aproximação da realidade através da análise das características fisiográficas e do uso da terra nas bacias hidrográficas. O uso de modelos que simulam as respostas do meio ambiente em detrimento das atividades nele desenvolvidas possui um grande potencial para resolução

dos problemas decorrentes de processos erosivos acelerados, servindo como subsídio para tomada de decisões de acordo com cenários gerados pelos modelos.

O modelo hidrossedimentológico pioneiro foi a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (Universal Soil Loss Equation – USLE – WISCHMEIER e SMITH, 1978). O modelo tem a capacidade de estimar a erosão hídrica laminar do solo por meio da análise de seus fatores condicionantes. Com referência à utilização de modelos preditivos para a caracterização e avaliação de indicadores da erosão do solo, tem-se a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE - WISCHMEIER e SMITH, 1978) a qual foi difundida no Brasil por Bertoni e Lombardi Neto (2010). O modelo EUPS tem como objetivo obter estimativas da erosão do solo a médio e longo prazo, possibilitando subsidiar o planejamento de práticas conservacionistas visando minimizar a perda de solos a níveis aceitáveis. A EUPS é formulada como se segue:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

onde:

A – é a perda de solo por ano ($\text{ton. ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$);

R – fator R, função da erosividade da chuva, obtido a partir de formulação que inclui energia cinética das chuvas e sua intensidade ($\text{MJ.mm. ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$);

K – fator K, função da erodibilidade do solo, obtido através de formulação considerando dados referentes a características de um solo, que determinam sua susceptibilidade à erosão ($\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$);

L e S - fator LS, função do relevo, envolvendo, respectivamente, a extensão da vertente (em metros) e a declividade (em %);

C – fator C, função da cobertura vegetal e seu manejo da área (adimensional);

P – fator P, que se refere às práticas de suporte ou de conservação do solo em áreas agrícolas, constituindo também um índice (adimensional).

A Modificação da Equação Universal de Perda de Solos – MEUPS (MUSLE – WILLIAMS, 1975) foi desenvolvida a partir da EUPS tendo sua eficácia aumentada em função da substituição do fator erodibilidade pelo fator de energia runoff que corresponde ao escoamento superficial das vertentes. Evoluindo neste sentido, com o aumento da tecnologia e evolução das técnicas de coleta e observação de dados de

campo, foram desenvolvidos outros modelos mais complexos que consideram uma gama maior de variáveis em sua formulação, aumentando a representatividade dos processos simulados e a confiabilidade das respostas geradas.

2.7 SWAT: histórico

Os trabalhos precursores que serviram de base para o desenvolvimento do SWAT foram feitos a partir de uma ação conjunta elaborada pelo U.S Department of Agriculture (USDA), USDA-Soil Conservation Service (USDA - SCS) e Agricultural Research Service (ARS) que atuaram no desenvolvimento dos modelos computacionais de base física, utilizados para simular processos naturais em bacias hidrográficas. O projeto tinha por objetivo a criação de técnicas de manejo do meio ambiente para a otimização da produção agrícola, preservação do solo, água e demais recursos naturais. De acordo com Gassman et al. (2007) o modelo SWAT é uma continuação das experiências de modelagem desenvolvidas pelas agências USDA e ARS, tendo sua base conceitual apoiada nos modelos CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems - KNISEL et al., 1987), GLEAMS (Ground Water Loading Effects on Agricultural Management Systems – LEONARD et al., 1987), e EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator – WILLIAMS et al., 1984).

Segundo Knisel et al. (1987) o modelo CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) foi desenvolvido com intuito de estudar fontes de poluição difusa em áreas agrícolas, tendo por objetivo estabelecer níveis de poluição aceitáveis para um manejo eficiente da água e do solo. O CREAMS foi um dos modelos computacionais de base física precursores para na tarefa de avaliar a resposta do ambiente em função das práticas de manejo das áreas agrícolas. Ao longo do desenvolvimento do modelo, ensaios laboratoriais e de campo permitiram o seu refinamento que ajustaram os algoritmos de processamento o que lhe permitiu a incorporação de ferramentas para análises mais precisas, melhorando a confiabilidade das simulações de escoamento superficial e processos erosivos. A evolução do modelo CREAMS permitiu o desenvolvimento do modelo GLEAMS (Ground Water Loading Effects on Agricultural Management Systems) que foi desenvolvido a partir da introdução de uma função para modelagem do fluxo vertical de pesticidas e nutrientes na camada superficial do solo (LEONARD et al., 1987). O modelo GLEAMS é baseado em conceitos de hidrologia, processos erosivos e ciclagem de nutrientes e tem por

objetivo avaliar a concentração e movimentação de compostos químicos (NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) por entre a camada superficial do solo.

De acordo com Willians et al. (1984), o modelo EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) foi desenvolvido para avaliar os processos de perda de solo em função das atividades agrícolas. O modelo EPIC pode ser dividido em nove componentes, sendo baseado em conceitos hidrológicos, climáticos, processos erosivos, ciclagem de nutrientes, crescimento de culturas agrícolas, temperatura do solo e técnicas de manejo incluindo uma função capaz de calcular os rendimentos econômicos no campo (GASSMAN et al., 2007). A eficácia e aceitação dos resultados propostos pelos trabalhos das agências USDA e ARS evoluía paralelamente ao crescimento da tecnologia da computação no que diz respeito ao armazenamento e processamento de dados, fato que permitiu que os modelos EPIC, GLEAMS e CLEAMS fossem integrados numa única plataforma, dando origem ao modelo SWRRB (Simulation of Water Resoures in Rural Basis – ARNOLD e WILLIANS, 1987). O SWRRB permitiu o processamento de um volume maior de dados, possibilitando a simulação de novos processos relacionados com a dinâmica de água subterrânea; dinâmica de reservatórios de água; processos de geração e transporte de sedimentos e a inclusão de um algoritmo para geração de longas séries de dados climáticos, feitas através da integração de dados de chuva, radiação solar e temperatura permitindo realizar simulações para longos períodos de tempo com boas condições de representatividade espacial e temporal. Posteriormente SWRRB, foi desenvolvido o modelo ROTO (Routing Outputs to Outlet – ARNOLD et al. 1995) como ferramenta de suporte ao manejo de bacias hidrográficas na ordem de milhares de quilômetros quadrados. O modelo ROTO permitia a integração que várias rodadas de modelagem do SWRRB de forma que os fluxos de saída de uma bacia hidrográfica se interligava a outra bacia, criando uma rede de sub bacias que permitia a análise de áreas de milhares de quilômetros quadrados. Devido à evolução da capacidade do processamento dos modelos, era necessária uma considerável capacidade memória para o armazenamento e processamento computacional, fato que impunha limitações à aplicação conjunta do SWRRB e ROTO para modelagem de bacias hidrográficas na ordem de milhões de quilômetros quadrados. Este problema foi equacionado através da integração do SWRRB e ROTO na plataforma do modelo SWAT que permitiu a aplicação de todos os componentes do SWRRB em grandes escalas de análise (GASSMAN et al., 2007).

Por fim, as funções de análise de qualidade da água e nutrientes do modelo QUAL2E (BROWN e BARNWELL, 1987) foram integradas na plataforma do modelo SWAT, ampliando as possibilidades de aplicação do SWAT nos estudos do meio ambiente. Desde então, o modelo SWAT vem sofrendo diversas atualizações, sempre ampliando o universo de possibilidades de aplicação. A figura 3 representa o organograma com os modelos e atributos que compõem a base do desenvolvimento do modelo SWAT.

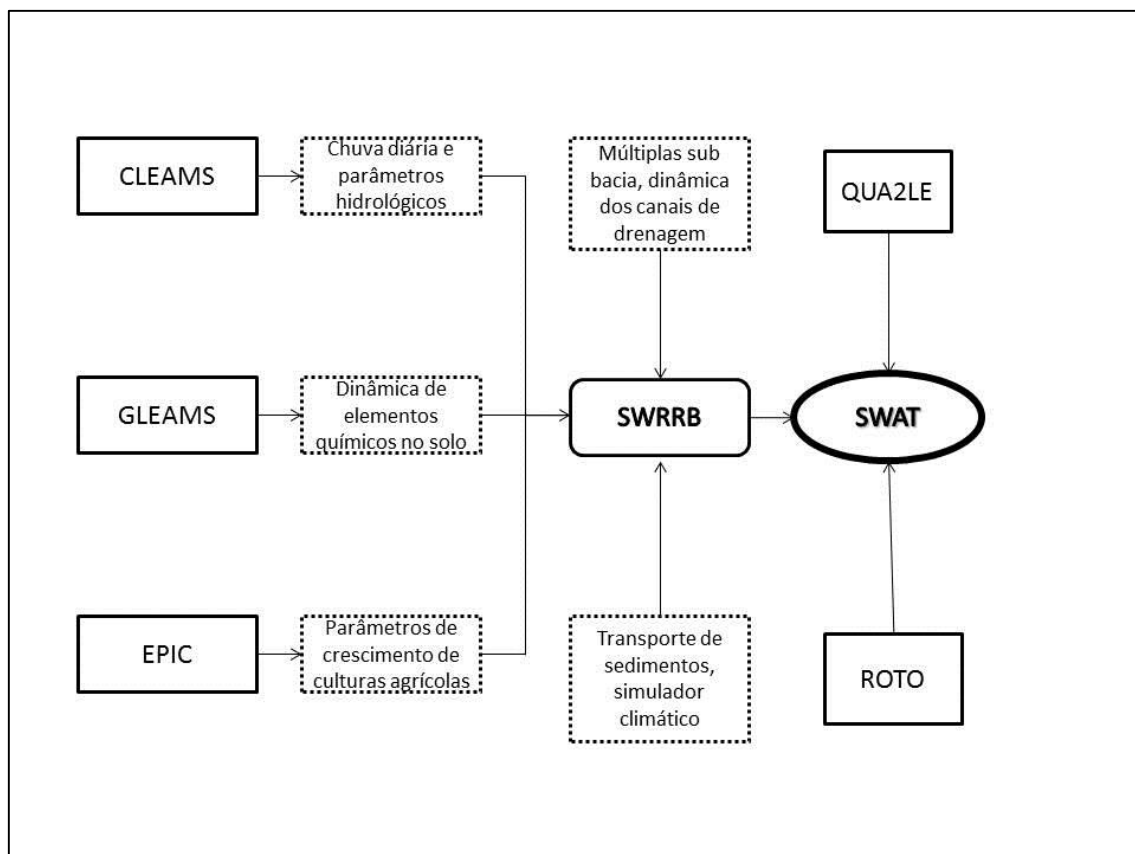


Figura 3: Integração dos modelos que compõem a base do SWAT (Fonte: Adaptado de GASSMAN et al, 2007).

2.8 SWAT: descrição e aplicações

O modelo hidrossedimentológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool – ARNOLD et al., 1998) foi desenvolvido pelo United States Department of Agriculture, Soil and Water Research Laboratory, em Temple no Texas, EUA. Seu desenvolvimento se deu a partir da integração dos simuladores EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator – WILLIAMS *et al.*, 1984); GLEAMS (Ground Water Loading Effects on

Agricultural Systems – LEONARD *et al.*, 1987) e CLEAMS (Chemicals, Runoff, Erosion from Agricultural Management Systems – KINISEL, 1987).

Machado (2002) aplicou o SWAT em análises da produção de sedimentos e o escoamento na micro bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, afluente do rio Piracicaba. Segundo o autor, o modelo é baseado:

1 - Nas características físicas e morfométricas da bacia como declividade, relevo e cobertura vegetal.

2 - Utiliza dados de entrada normalmente disponíveis provenientes de produtos de sensoriamento remoto; mapeamentos geológicos, pedológicos e de uso e ocupação do território; séries históricas de dados climáticos e fluviais geralmente disponibilizados por agências governamentais de gestão de recursos hídricos.

3 - É computacionalmente eficiente para operar em médias e grandes bacias permitindo a modelagem dos processos físicos em diversas escalas de grandeza.

4 - É contínuo no tempo capaz de simular grandes períodos de forma a computar os efeitos na alteração do uso do solo.

A estrutura do modelo é dividida em sete componentes: hidrologia, clima, sedimentos, crescimento vegetal, manejo agrícola, produção de nutrientes e defensivos agrícolas. O processo computacional de modelagem divide a bacia hidrográfica em sub-bacias que constituirão as Unidades de Respostas Hidrológicas (Hydrologic Response Units – HRU's) as quais correspondem a uma combinação de uso da terra, propriedades físicas e químicas dos solos e características das vertentes da bacia hidrográfica.

O modelo SWAT tem sido amplamente empregado sobre variadas condições de clima, solos e vegetação, bem como sobre diversos padrões de uso e cobertura da terra no contexto da modelagem de bacias hidrográficas. Seu uso se efetiva como uma ferramenta de gestão dos recursos naturais e previsão de impactos em função do uso dos mesmos. Sua aplicação tem apresentado bons resultados no que diz respeito à simulação dos mais diversos processos relacionados ao ciclo da água, produção e aporte de sedimentos e nutrientes, estudos relacionados à previsão de vazões e cheias, processos erosivos hídricos, qualidade da água, avaliação de contaminações provenientes de fontes de poluição difusa, mudanças climáticas, entre outros. Conforme relatam Gassman et al (2007), o modelo SWAT tem recebido grande aceitação como uma robusta ferramenta interdisciplinar para modelagem de bacias hidrográficas, fato este evidenciado em diversos congressos internacionais sobre seu uso e aplicação, sua utilização por agências governamentais para previsão de impactos sobre o meio ambiente e diversas

dissertações, teses e artigos científicos revisados e publicados em revistas e periódicos especializados.

No contexto da aplicabilidade do modelo sobre as mais variadas condições ambientais, Samaras e Koutidas (2014) estudaram por meio do modelo SWAT em que grau as mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo interferem nos processos erosivos e de produção de sedimentos no contexto da evolução morfológica de estuários em bacias hidrográficas costeiras. Os resultados demonstraram que alterações nos padrões de uso e ocupação em função de atividades agrícolas podem acarretar mudanças na média anual de produção de sedimentos da bacia estudada. Os resultados apontaram uma diminuição na produção de sedimentos da ordem de 9,22 t/ha para 4,02 t/ha, o que representa uma diminuição de 56,4% na produção de sedimentos, fato que foi causado pela substituição de culturas agrícolas por áreas de pastagens. Bouthias et al (2014), aplicaram o modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Save, situado no norte da França. O objetivo do estudo era avaliar os níveis de concentração de pesticidas provenientes de fontes de poluição difusa durante eventos de chuva severa. Foram modelados cenários de concentração de pesticidas nas águas superficiais da bacia cujo resultados apresentando significativa correlação entre valores simulados e medidos em campo. Os resultados que serviram como subsídios para tomada de decisões quanto o manejo das bacias hidrográficas rurais.

2.9 Sistemas de informação geográfica na análise ambiental

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto promoveu um grande avanço em vários campos de estudo. Seu desenvolvimento representou um divisor de águas para a cartográfica, geografia, ciências ambientais entre outras áreas relacionadas as geociências. Nossas possibilidades de percepção e análise das feições e mudanças sobre a superfície terrestre foram aumentadas devido a grande cobertura espacial e temporal fornecida pelos produtos de sensoriamento remoto. Como relata Vicente (2001), a importância da aplicação do sensoriamento remoto em diferentes ramos da ciência, especialmente na área ambiental, é devida a sua capacidade de coletar dados nos vários espectros da energia eletromagnética refletida pela superfície terrestre em diferentes épocas, oferecendo a oportunidade de analisar vários fenômenos de grande variação espacial e temporal. A partir do ano de 1972, os estudos envolvendo o sensoriamento remoto avançaram exponencialmente com o lançamento do primeiro satélite da série

LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite), fato que permitiu com que as mudanças de ordem antrópica sobre superfície terrestre fossem percebidas e analisadas quase que instantaneamente.

Conforme relata Garcia (1982), o sensoriamento remoto consiste na tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos e fenômenos sem que haja contato físico entre eles, ou seja, por meio da captação e análise do comportamento da energia eletromagnética refletida pelos elementos da paisagem. A figura 4 representa a assinatura espectral dos principais elementos da paisagem terrestre

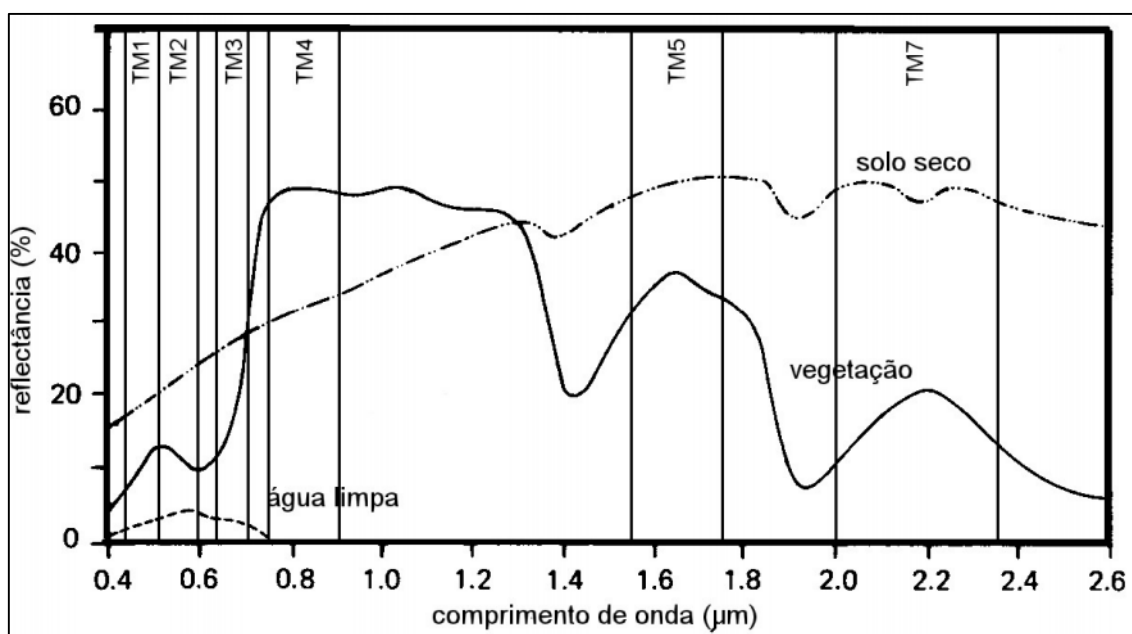


Figura 4: Assinatura espectral de alvos terrestres. (FONTE: LILLESAN, 1987)

. Os picos de refletância observados no gráfico são úteis para evidenciar determinadas características relacionadas ao solo, água, vegetação e outros elementos componentes da paisagem. Em Novo (2010), podem-se encontrar exemplos de análise do comportamento da energia eletromagnética refletida por vários elementos da paisagem, bem como aplicações do sensoriamento remoto em várias ciências.

Segundo relatam Vicente e Perez Filho (2003), o avanço tecnológico sobretudo aquele ligado as ciências computacionais, trouxeram consigo um grande aparato de ferramentas que permitiu ampliar o horizonte de análise dada sua grande capacidade de apreensão e compreensão da organização espacial dos fenômenos naturais. As técnicas de extração de informações de imagens de sensoriamento tem seu papel neste contexto através das métodos de análise das informações coletadas pelos satélites.

O processamento das informações fornecidas pelo sensoriamento remoto tem seu início a partir da coleta das informações feita pelos equipamentos sensores acoplados em plataformas orbitais, os satélites artificiais, ou acoplados em aeronaves. Após aquisição das imagens, elas são processadas para extração de informações através de programas computacionais denominados SIG's (Sistemas de Informação Geográfica). Este processo de aquisição e extração de informações de produtos de sensoriamento remoto, convencionalmente chama-se geoprocessamento. De acordo com Correa (2014), através das técnicas de geoprocessamento torna-se possível a avaliação e caracterização da dinâmica do uso da terra por meio da obtenção de indicadores de erosão, índices de cobertura vegetal e padrões de uso e ocupação do solo.

Os sensores acoplados as plataformas orbitais e aeronaves são sensíveis à captação da energia eletromagnética que interage e é refletida pela superfície terrestre das mais variadas formas, constituindo uma assinatura espectral representada pela curva de refletância do alvo terrestre. A análise das curvas de refletância possibilita a extração de informações específicas como índices de vegetação, vigor de fitomassa das plantas, modelos de elevação da superfície terrestre, análise de características químicas da água, entre outros indicadores ambientais. Este atributo, associados às diferentes amplitudes espectrais que os modernos sensores possuem, faz com que os produtos de sensoriamento remoto seja fundamental em análises espaciais relacionados aos estudos ambientais.

3. ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas do Ribeirão Monjolo Grande e do Ribeirão Jacutinga, estão situadas na região centro leste do Estado de São Paulo e ocupam a porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre a unidade geomorfológica composta pela Depressão Periférica Paulista (figura 5). A bacia hidrográfica do Ribeirão do Jacutinga é tributária da bacia do rio Corumbataí que por sua vez é afluente da margem direita do baixo curso do Rio Piracicaba (SP). A bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga compreende uma área de 28,1 km² e situa-se entre as coordenadas geográficas de 22° 16'30" e 22° 22' latitude sul; 47° 39'30" e 47° 36' longitude oeste do meridiano de Greenwich, fuso 23. A bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande é tributário do rio Passa Cinco que por sua vez pertence à bacia do rio Corumbataí. A Bacia

Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande compreende uma área aproximada de 28,2 Km² situando-se entre as coordenadas geográficas de 22° 18' e 22° 23' latitude sul; 47° 48' e 47° 42' longitude oeste do meridiano de Greenwich fuso 23.

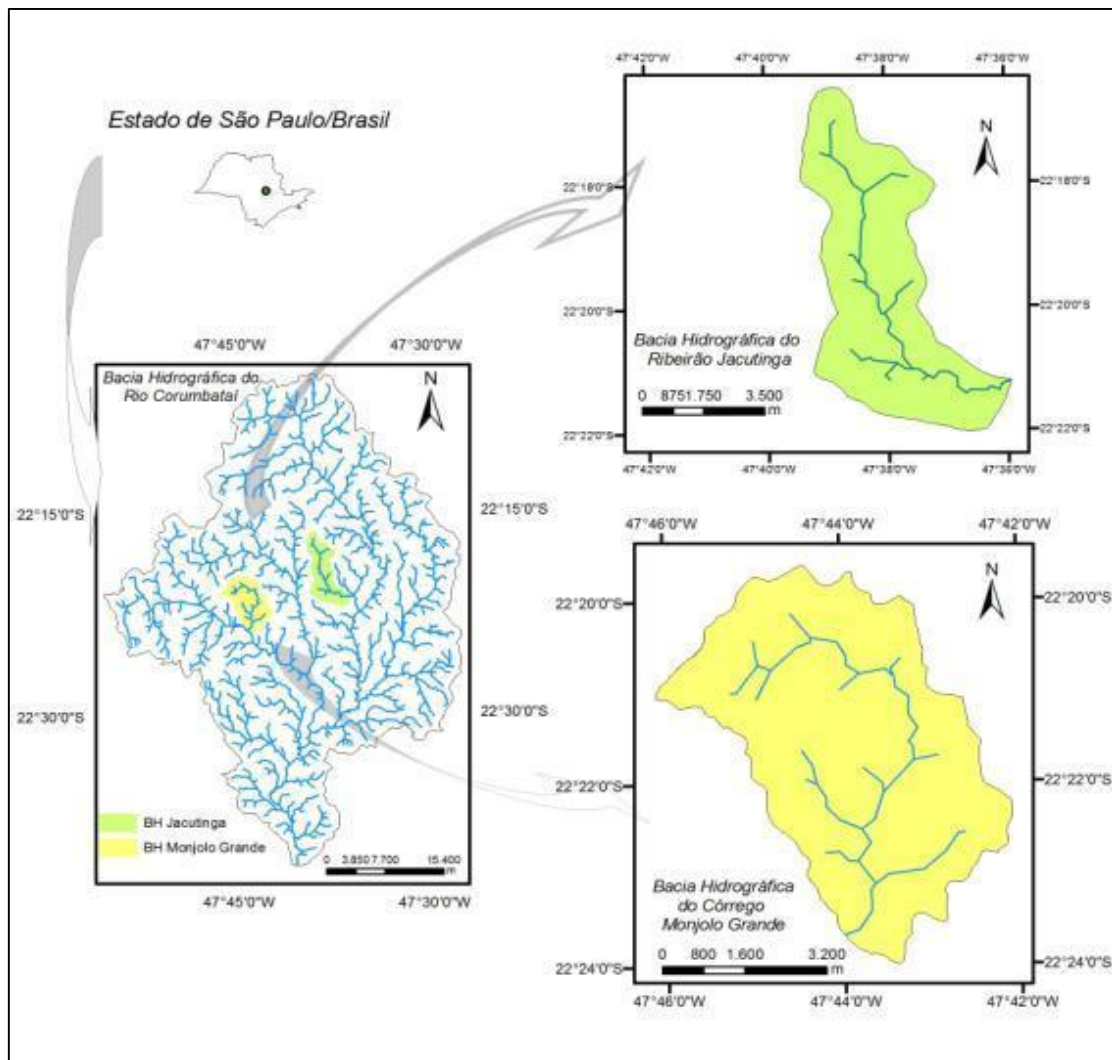


Figura 5: Localização das áreas de estudo – Bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga e Bacia hidrográfica do Córrego Monjolo Grande - Ipeúna/SP. (Fonte: Correa, 2014)

Considerando a distribuição da pluviosidade e as variações de temperatura ao longo do ano, as áreas de estudo estão enquadradas no tipo climático Cwa, conforme a classificação climática zonal de Köppen, sendo desta forma associada ao Clima subtropical quente e úmido com períodos chuvosos e de seca bem definidos. Durante a Primavera e o Verão predomina o período chuvoso entre os meses de Outubro e Março. Durante o inverno predomina a estação seca, de Abril a Setembro.

Para se obter uma longa série temporal de dados pluviométricos, de forma que fosse possível uma melhor representação das chuvas que caem sobre as bacias, foram

utilizados dados dos postos pluviométricos do banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e dados da estação meteorológica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), pertencente ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE, UNESP – Rio Claro). Os postos pluviométricos do DAEE selecionados são de prefixo D4-036, situado no município de Itirapina – SP sob as coordenadas geográficas 22°18' de latitude sul e 47°45' de longitude oeste, e o posto D4-074, situado no município de Ipeúna - SP sob as coordenadas geográficas 22°16' latitude sul e 47°46' longitude oeste. A estação meteorológica do CEAPLA está situada sob as coordenadas 22°23' latitude sul e 47°32' longitude oeste, sendo utilizados dados de pluviosidade, temperaturas máxima e mínima, e umidade relativa do ar.

De acordo com os dados coletados pelo posto D4-036, os maiores valores médios de chuva pertencem aos meses de dezembro e janeiro com 218,1 e 242,075 mm de chuva respectivamente. As médias mínimas mensais pertencem aos meses de julho e agosto com 14,8 e 17,2 mm de chuva respectivamente. A precipitação média anual corresponde a 1448,01 mm de chuva (figura 6).

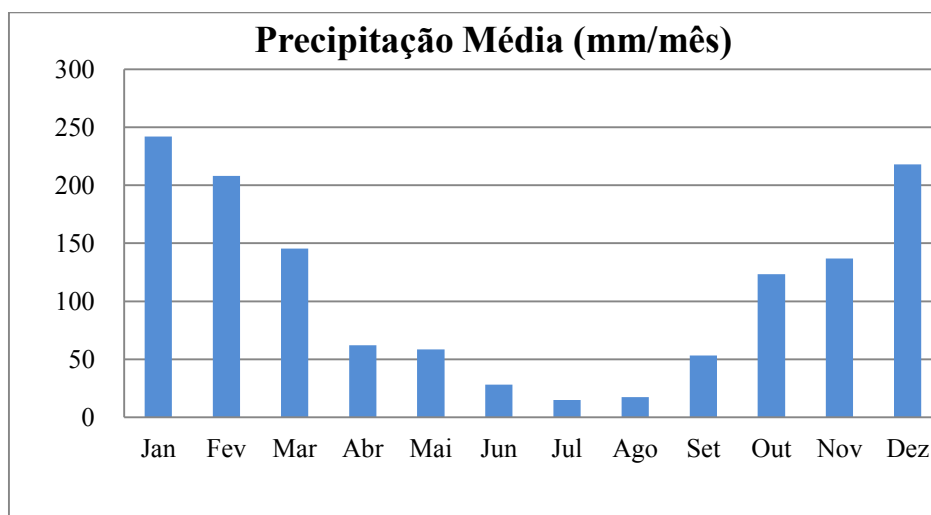


Figura 6: Precipitação Média Mensal Posto D4-036 Graúna (Fonte: DAEE).

De acordo com os dados coletados através do posto D4-074, os maiores valores médios de chuva são apresentados nos meses de Dezembro e Janeiro com índices pluviométricos de 279,2 e 240,1 mm respectivamente. Os menores índices de pluviosidade foram registrados nos meses de julho e agosto com índices pluviométricos

equivalentes a 39,3 e 32,3 mm respectivamente. A precipitação média anual equivale a 1382,11 mm de chuva (Figura 7).

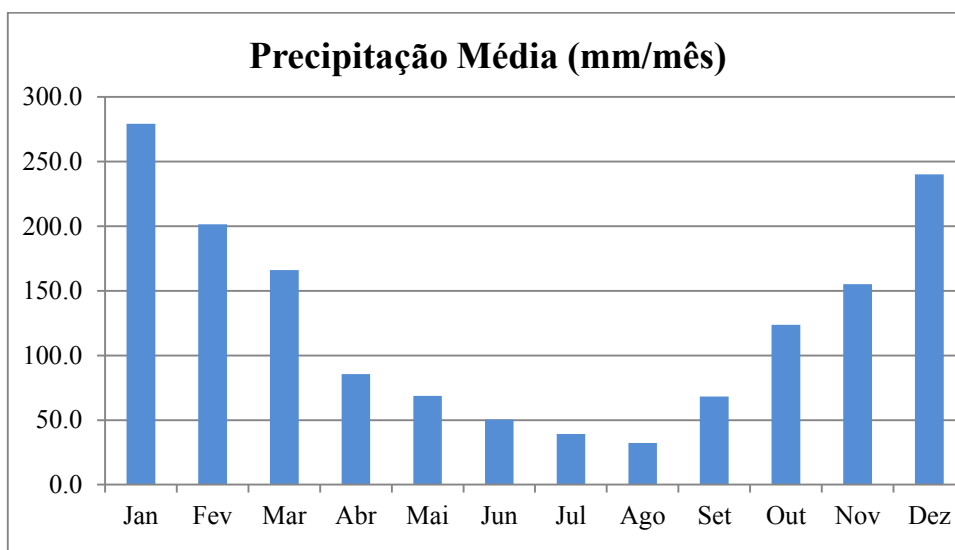


Figura 7: Precipitação Média Mensal Posto D4-074 Ipeúna (Fonte: DAEE).

Os dados coletados através da estação meteorológica do CEAPLA foram empregados para descrever o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar. Os maiores valores médios de temperatura correspondem aos meses de Fevereiro, com temperatura média de 30,5°C e os meses de Março e Dezembro, com temperaturas médias de 29,8°C. O mês de Junho é o que apresenta a menor temperatura máxima com média de 25,2°C (Figura 8).

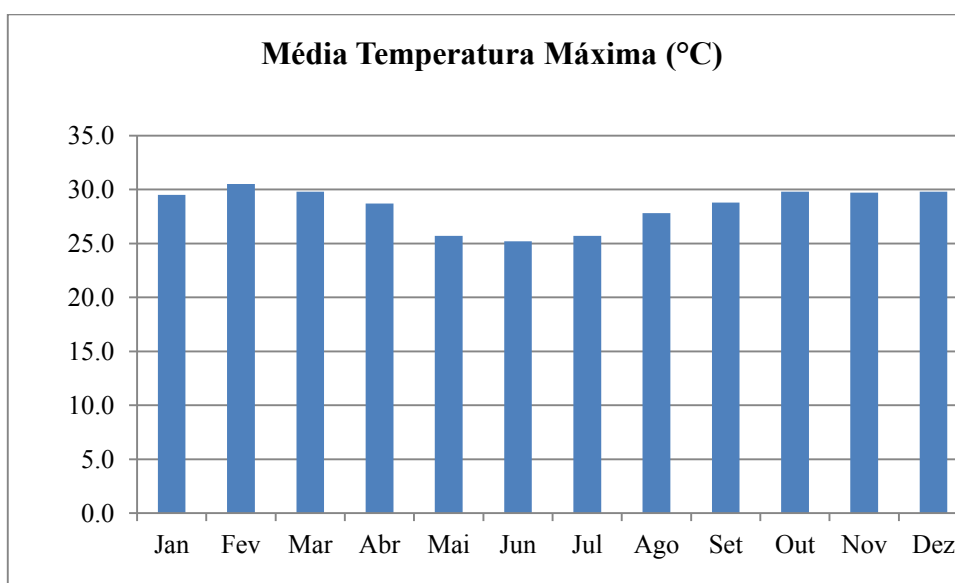


Figura 8: Média Temperatura Máxima °C (Fonte: CEAPLA).

Com relação às temperaturas mínimas, os meses que apresentam as temperaturas mais amenas correspondem aos meses de Junho e Julho, com médias 11,0°C e 10,6°C respectivamente. Os meses que apresentam as maiores médias de temperaturas mínimas correspondem a Janeiro e Fevereiro com 19,5°C e 19,4°C respectivamente (Figura 9).

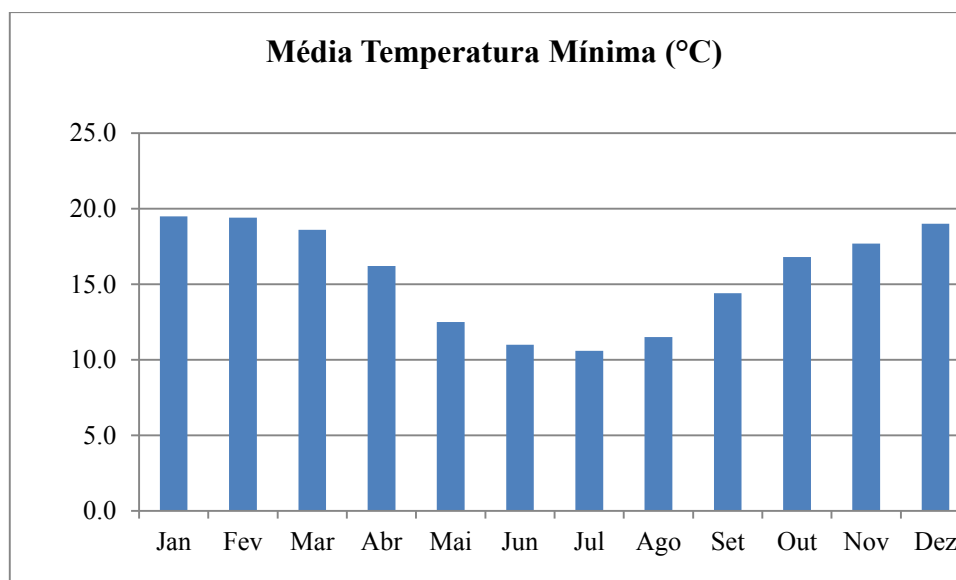


Figura 9: Média Temperatura Mínima °C (Fonte: CEAPLA).

O período de maior amplitude térmica na região corresponde aos meses de Julho e Agosto, com amplitudes médias equivalentes a 15,1°C e 16,3°C respectivamente. Os padrões médios de umidade relativa do ar permanecem quase que homogêneos durante todo o ano com as maiores flutuações ocorrendo nos meses de Agosto de Setembro que apresentam médias de 56,9% e 57,2% respectivamente (Figura 10). Os baixos índices de umidade relativa do ar correspondem ao fim do período seco, onde devido à grande amplitude térmica e aos padrões de circulação atmosférica predominantes no período, a taxa de umidade pode cair para padrões inferiores a 15% no decorrer do período de 24hs.

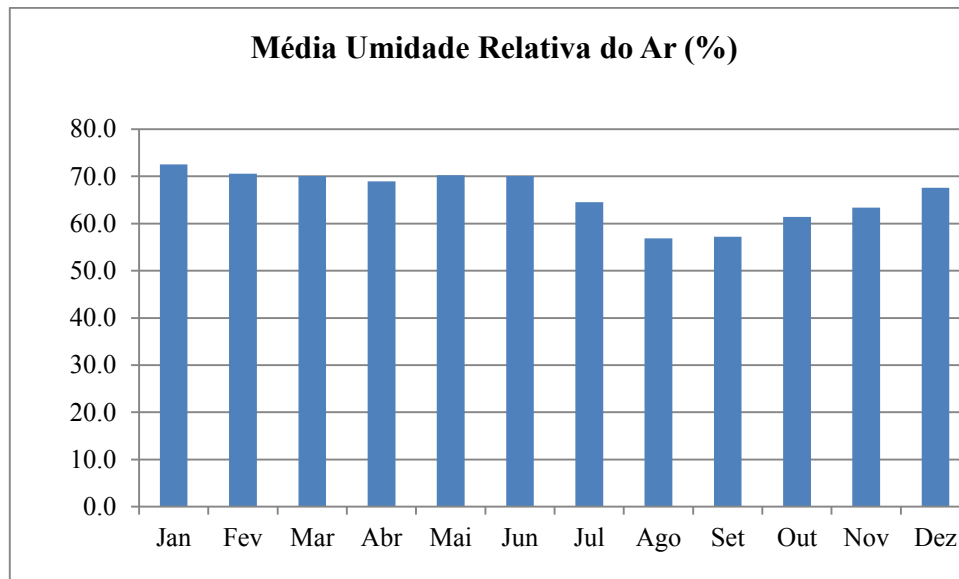


Figura 10: Média Umidade Relativa do Ar (%). (Fonte: CEAPLA).

Quanto às características geológicas da região, Schobbnhaus (1984) considera que as áreas de estudo estão situadas no contexto geomorfológico da Depressão Periférica Paulista na porção da Bacia Sedimentar do Paraná que foi preenchida por sedimentos provenientes de transgressões e regressões marinhas, por sedimentos de áreas mais elevadas, por derrames basálticos e por intrusões de origem vulcânica durante o período que varia do Siluriano (440 – 416 Ma) até do Cretáceo (146 – 65 Ma).

As áreas de estudo apresentam afloramentos de rochas de idades Paleozóica, compostas por siltitos e argilitos da formação Corumbataí; por rochas de idades Mesozóica das formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Itaqueri; e rochas de idades Cenozóica, compostas por depósitos aluvionais e pelos conglomerados da Formação Rio Claro.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (BHMKG) é composta por rochas da formação Itaqueri, Formação Serra Geral, Formação Botucatu, Formação Pirambóia e Formação Corumbataí (Figura 11).

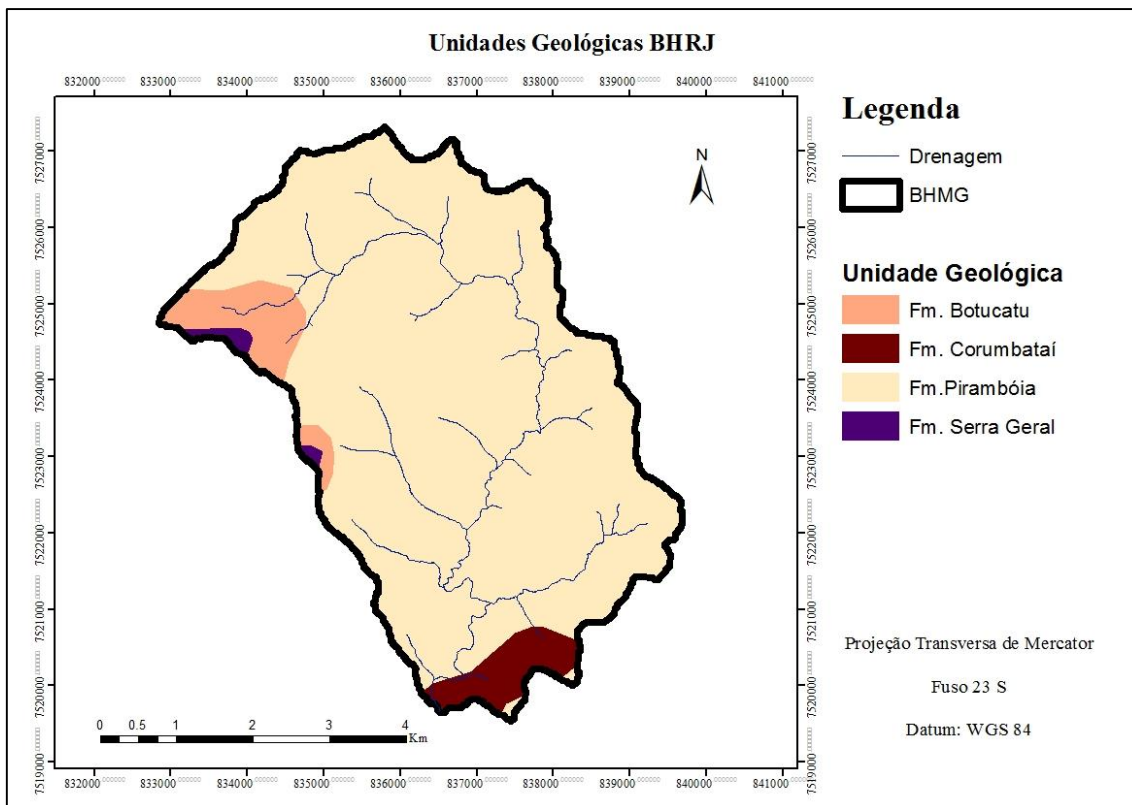


Figura 11: Unidades Geológicas Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (Fonte: SOUSA, 2002).

A bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (BHRJ) é composta por rochas da Formação Piramboia, Formação Corumbataí, Formação Rio Claro e por Depósitos Eluvionais (Figura 12).

As unidades geológicas predominantes nas áreas de estudo e que fornecem material para gênese dos solos e para produção dos sedimentos que são transportados pelos canais de drenagem são provenientes da Formação Piramboia na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, e a Formação Corumbataí na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga. De acordo com Conceição (2004), a Formação Pirambóia é composta por minerais de quartzo e caolinita, e a Formação Corumbataí é composta por minerais de hematita, quartzo, caolinita, ilita, calcita, albira, e microclinio.

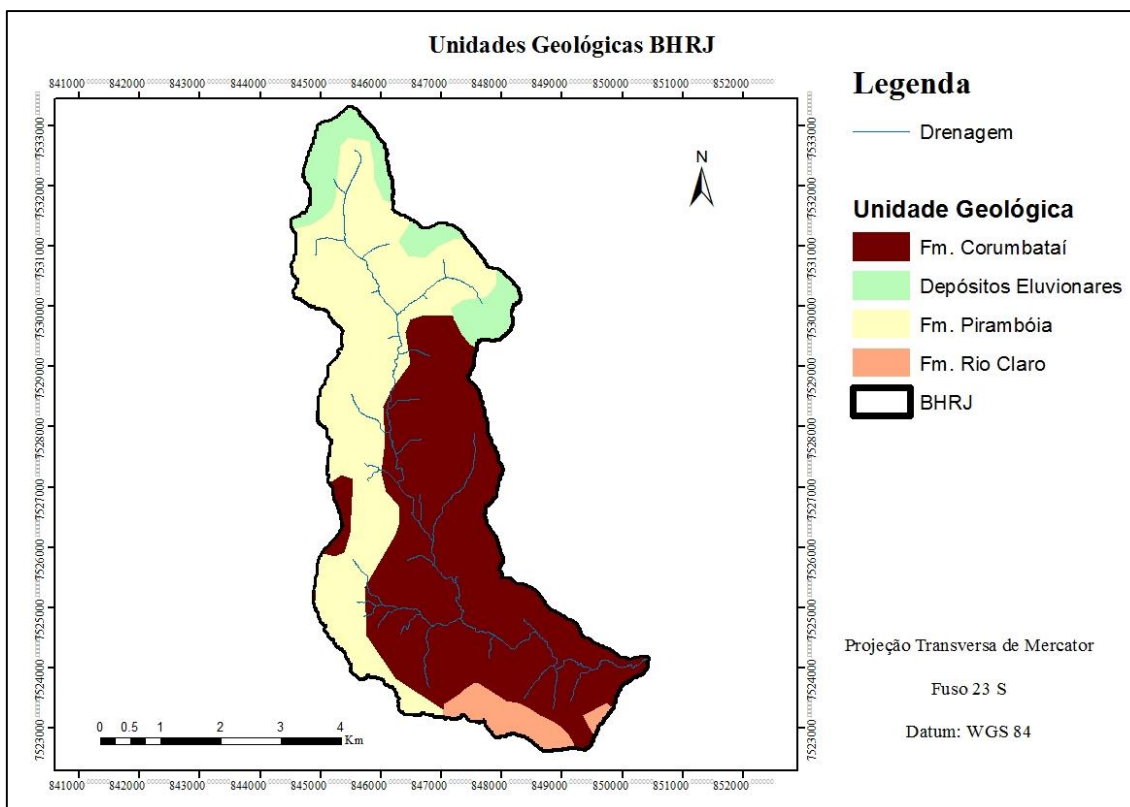


Figura 12: Unidades Geológicas Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (Fonte: SOUSA, 2002).

Com relação às rochas que compõem as bacias do Ribeirão Monjolo Grande e Jacutinga, Perinoto e Lino (2010) relatam que a Formação Itaqueri é composta em sua base por folhelhos e conglomerados, sendo sua porção superior composta por arenitos com cimentação argilosa e crostas ferruginosas. Os autores relatam que a Formação Itaqueri ocorre nos reversos das cuestras arenito-basálticas e no alto da serra de Itaqueri, apresentando marcante silificação e estratificação cruzada entre as suas camadas. De acordo com o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – 1981), as rochas da Formação Serra Geral são compostas por derrames de basaltos toleíticos com intercalações de arenitos da Formação Botucatu. Os basaltos apresentam textura afanítica de coloração cinza escura a preta, amigdaloidal no topo dos derrames com desenvolvimentos de juntas horizontais e verticais causadas por resfriamento e influencia tectônica onde pode-se verificar a presença de corpos intrusivos compostos por sills e diques de basaltos toleíticos. Os derrames basálticos estão presentes no topo e nos reversos das cuestras arenítico-basálticas e em morros testemunhos próximos das mesmas.

De acordo com o IPT (1981), a Formação Botucatu é composta por arenitos de granulação fina a média de coloração vermelha, rosa ou amarela clara. O contato em sua parte superior é caracterizado por interdigitações que recobrem arenitos da mesma

natureza da Formação Piramboia. O contato com os basaltos da Formação Serra Geral ocorre de forma difusa e estende-se numa faixa continua às escarpas e serras basálticas.

De acordo com Koffler (1994), a Formação Pirambóia é constituída por arenitos de coloração avermelhada com intercalação de arenitos finos e médios, possuindo uma fração argilosa em sua parte inferior e siltitos argilosos intercalados por níveis de arenitos, folhelhos e argilitos de coloração que variam entre amarelo claro, roxo, vermelho e verde, característicos de pretéritos ambientes fluviais e planícies de inundação.

De acordo com Landim (1967), a Formação Corumbataí é constituída por argilitos de coloração avermelhada e arroxeadas apresentando intercalações de lentes de areníticas de granulação fina e xistos de textura argilosa. As características de sedimentação indicam um ambiente deposicional sobre influências litorâneas num ambiente raso e oxidante. De acordo com Perinoto e Lino (2010) a Formação Rio Claro é composta por arenitos, seixos e conglomerados de coloração amarela e vermelho claro, mal selecionados e friáveis com alguns pontos de estratificação cruzada. A Formação Rio Claro teve sua gênese num ambiente semi-árido de deposição continental de idade Cenozóica. Por fim, os depósitos eluviais presentes na bacia do Ribeirão Jacutinga são compostos por sedimentos argilosos e arenosos de coloração avermelhada e acinzentada originados a partir de depósitos do Rio Corumbataí e do próprio Ribeirão Jacutinga.

O quadro geomorfológico onde se situa a bacia hidrografia do Ribeirão Jacutinga está sob o domínio da Depressão Periférica Paulista, que apresenta características de topografia suave, com a presença de colinas onde predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km², apresentando topos aplainados e vertentes com perfis convexos e retilíneos. O principal padrão de drenagem é a dendrítica, apresentando-se com média e baixa intensidade (IPT, 1981). Segundo relata Penteado (1976), a Depressão Periférica é recoberta por uma densa rede de drenagem, apresentando rios consequentes que rompem as estruturas paleozoicas e mesozoicas constituídas pelas cuestas Arenito-asálticas. De acordo com o IPT (1981), as feições de relevo da Depressão Periférica Paulista são constituídas pelas colinas Amplas, Colinas Médias, Morrotes Alongados e Espigões que se situam em áreas de grandes interflúvios, ou em zonas onde o substrato rochoso possui natureza heterogênea, com predominância de fácies sedimentares e argilosas. De acordo com Almeida (1964), os sedimentos que recobrem a zona do médio Tietê sofrem uma grande influência causada pela intrusão de

rochas vulcânicas, fato que é refletido na topografia da área, onde também se verificam zonas de falhamento. A Figura 13 apresenta uma visão panorâmica da bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga a vista do seu alto curso.



Figura 13: Auto curso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (Fonte: Corrêa, 2014).

O quadro Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande está inserido na área da transição entre a Depressão Periférica Paulista o Planalto Ocidental, dominada pelo relevo de Cuestas Arenito-Basálticas e situados na zona do Médio Tietê. A paisagem apresenta estruturas resistentes ao intemperismo constituídas pelos morros testemunhos que se destacam na paisagem. De acordo com o IPT (1981), a geomorfologia da zona de transição entre a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental, onde se situa a Bacia do Ribeirão Monjolo Grande, é caracterizada por um relevo sustentado por rochas da Formação Botucatu e pelos derrames de rochas basálticas, fato este que constitui uma marcante feição geomorfológica da área: os morros testemunhos que são classificados como Mesas Basálticas. Nessas áreas a rede de drenagem proveniente das Cuestas é densa e bem desenvolvida, com fluxos de drenagem obsequentes. A zona da bacia do Ribeirão Monjolo Grande apresenta alta variação de declividade com drenagens densas e entalhas. Destaca-se na paisagem da área a presença de morros residuais: o Morro do Bizigueli e o Morro da Guarita, feições

características da área de transição entre a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental (Figuras 14 e 15).



Figura 14: Bacia do Ribeirão Monjolo Grande, em destaque o Morro Residual do Bizigueli (Fonte: O Autor)



Figura 15: Visto dos relevos residuais Morro do Bizigueli e Guarita, a partir do médio curso da Bacia do Ribeirão Monjolo Grande (Fonte: Corrêa, 2014).

Com relação às unidades pedológicas nas bacias do Ribeirão Monjolo Grande e Ribeirão Jacutinga observa-se a ocorrência de Neossolos Quartzarênico associados ao material de origem da Formação Botucatu para bacia do Monjolo Grande, e principalmente da Formação Pirambóia em ambas as bacias. Os Neossolos Quartzarênicos são caracterizados por apresentarem areias quartzosas profundas e de caráter álico com horizonte A moderado. Devido às características do material de origem, a ação dos processos de pedogênese é atenuada, resultando em perfis pouco diferenciados, e espessura de solo superior a 200 cm (OLIVEIRA & PRADO, 1984, p. 155-167).

Nas duas bacias hidrográficas em questão, há o predomínio dos Argissolos Vermelho Amarelo. Este tipo de solo caracteriza-se por horizonte B textural não hidromórfico, e individualização dos horizontes devido à acentuada diferenciação de textura, cor e estrutura, sendo a sequência de horizontes A (A1, A2 e/ou A3), Bt e C. Estes solos apresentam normalmente transição clara ou abrupta entre horizonte A e Bt, e gradiente textural elevado. (OLIVEIRA & PRADO, 1984).

Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e o setor do médio curso do Ribeirão Jacutinga, há ocorrência dos Argissolos Vermelho Amarelos representado pela unidade

Serrinha. Esta unidade caracteriza-se por argilas de baixa atividade, abrupto, distrófico ou álico, com horizonte A moderado e textura arenosa/média. A sequência dos horizontes pode ser definida em A1 ou Ap, B1t, B2t, B3 e C, com ocorrência de transição abrupta de A2 para B1t. O horizonte A apresenta textura fino-arenosa e estrutura granular fraca, a coloração mais comum é a bruno escura. Quanto ao horizonte B e as subdivisões B1t, B2t e B3, atingem espessuras superior a 150 cm, e a textura predominante é a fino-areno-barrenta. No que se refere às características químicas, o pH indica tratar-se de um solo ácido, e apesar da ocorrência de saturação de bases superior a 70%, a média foi de apenas 30%, o que indica o caráter distrófico destes solos. Na bacia do ribeirão Monjolo Grande, a unidade Serrinha encontra-se associada aos Neossolos Litólicos do substrato arenítico Botucatu-Pirambóia (OLIVEIRA & PRADO, 1984) A figura 16 representa a distribuição da unidades pedológicas na bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande.

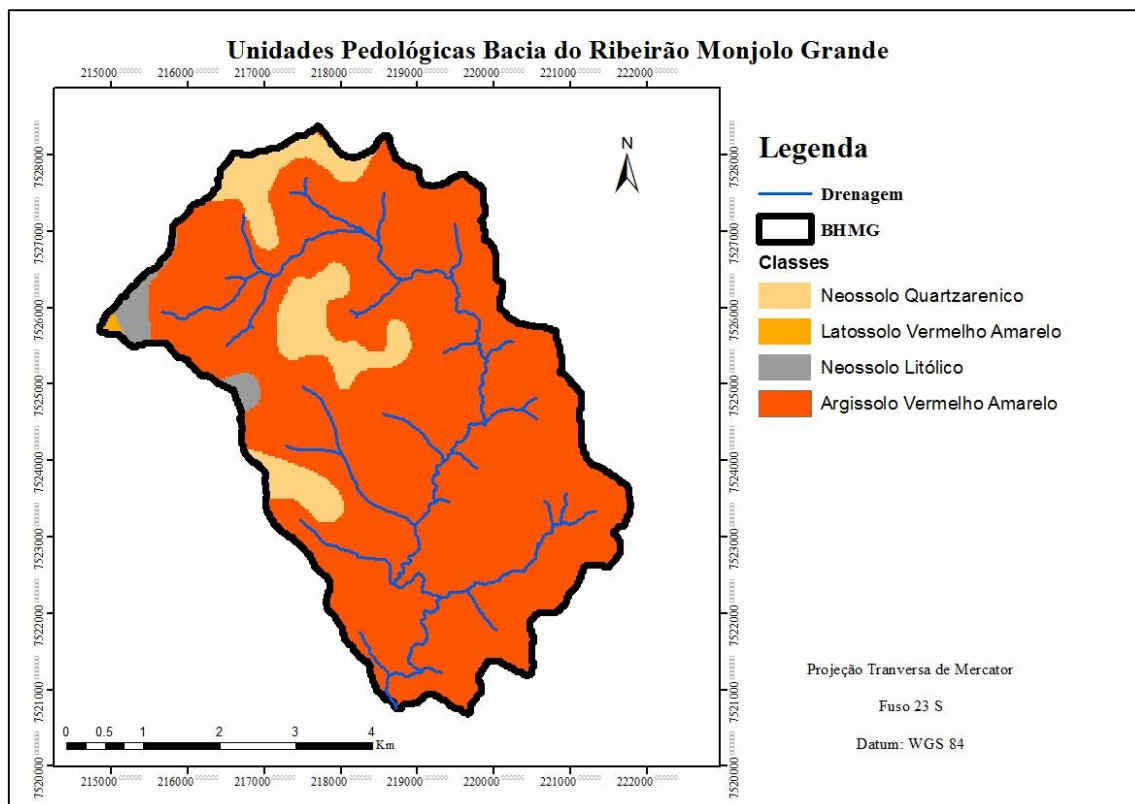


Figura 16: Unidades Pedológicas Bacia do Ribeirão Monjolo Grande (Fonte: Prado e Oliveira, 1984).

Na bacia do ribeirão Jacutinga, a ocorrência dos Argissolos Vermelho Amarelos são representados pelas unidades Santa Cruz e Olaria associada à Neossolos Litólicos

no baixo curso. Estas unidades estão comumente associadas ao relevo ondulado e dissecado esculpido pelos rios Passa Cinco, Corumbataí, Ribeirão Claro e seus afluentes. A unidade Santa Cruz caracteriza-se por argilas de atividade baixa, relação textural acentuada e/ou abrupta devido ao acréscimo de argila em profundidade apresentando caráter distrófico ou álico e elevada capacidade de troca catiônica. São comumente rasos, inferior a 1,5m e chegando a 60 cm. O horizonte A raramente ultrapassa 30 cm, sendo de textura variável entre média a muito argilosa. A transição do horizonte A para o horizonte B (B1t e B2t) é abrupta e plana, com estrutura bem desenvolvida do tipo subangular, apresentando cerosidade de alta a forte e textura muito argilosa. A unidade Olaria assemelha-se as características da unidade Santa Cruz, diferenciando-se apenas quanto os horizontes. Nas áreas de baixo curso, a ocorrência destas unidades encontra-se associadas aos Neossolos Litólicos do substrato de sedimentos finos do Permiano. A figura 17 representa a distribuição das unidades pedológicas na Bacia do Ribeirão Jacutinga.

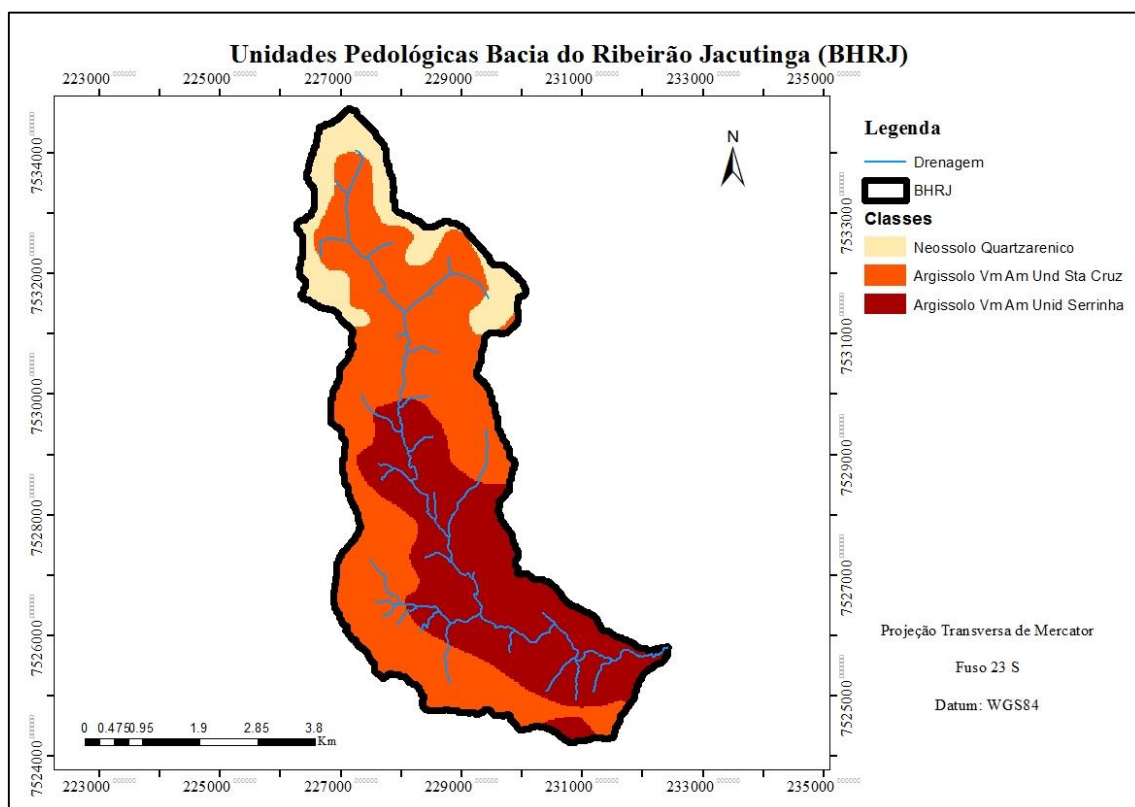


Figura 17: Unidades Pedológicas Bacia do Ribeirão Jacutinga (Fonte: Prado e Oliveira, 1984)

Apenas na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, verifica-se em menor escala a ocorrência de Latossolos vermelho amarelo e Neossolo Litólico, relativos à formação Botucatu e intrusões da formação Serra Geral.

A rede de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande apresenta padrão dendrítico, típico dos afluentes originados nos sedimentos argilosos do grupo Passa Dois, representados na área de estudo pela formação Corumbataí (PENTEADO, 1968). No que tange a classificação genética dos rios proposta por Horton (1945), o ribeirão Monjolo Grande é tido como um rio Subsequente, onde seu fluxo de direção N-S apresenta sentido perpendicular à inclinação das camadas rochosas, as quais geralmente acompanham as zonas de fraqueza. Neste sentido, tais características permitem inferir que há pouca ocorrência de áreas de planície aluvial visto que nos setores entalhados há menor deposição sedimentar (PEREIRA, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os seguintes materiais, equipamentos e infraestrutura do Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA – IGCE, UNESP Rio Claro) e do Laboratório de Geotécnicas e Cartografia (IGCE, UNESP Rio Claro) e do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA – IGCE, UNESP Rio Claro):

- Imagens orbitais da plataforma IKONOS (imagens PAN/MS), no formato digital para elaboração dos mapas de uso e ocupação das bacias;
- Imagens aerofotográficas nas escalas de 1:30000 e 1:25000 (BASE Aerolevantamento S.A, 1988, 2006).
- Documentação cartográfica:
 - i. Mapas base: cartas topográficas escala 1:50000 e 1:10000 (IGC, 1979);
 - ii. Mapas temáticos: Geológico escala 1:100000 (Souza, 2002); Pedológico escala 1:100000 (Prado e Oliveira, 1981).
- Séries históricas de dados meteorológicos, cedidos pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA – IGCE, UNESP Rio Claro).
- Séries históricas de dados hidrológicos, cedidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE);
- SIG Esri ArcGIS 10.1;

- Pacote Microsoft Office 2010;
- GPS de navegação Trimble Geoexplorer 2008;
- Sonda Multiparâmetros YSH;
- Molinete Hidrotec

4.1 Modelo SWAT

Arnold et al (1998) consideram que o sistema hidrológico que perfaz o SWAT é composto por quatro níveis: (1) reservatório superficial; (2) reservatório sub superficial; (3) reservatório subterrâneo – aquífero raso; (4) reservatório subterrâneo – aquífero profundo. Para parametrização do sistema hidrológico é necessário o cálculo do balanço hídrico. O SWAT utiliza a seguinte equação:

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (2)$$

Onde:

SW_t = Quantidade final de água no solo;

SW = Quantidade de água disponível para as plantas, definido como quantidade de água inicial menos o conteúdo de água do ponto de murcha (mm);

t = Tempo (dias);

R_i = Precipitação (mm);

Q_i = Escoamento superficial;

ET_i = Evapotranspiração (mm);

P_i = Percolação (mm);

QR_i = Fluxo de retorno (ascensão capilar mm).

O escoamento superficial consiste no fluxo de água que escorre ao longo da vertente. Através de séries históricas de dados pluviométricos fornecidas pelo CEAPLA, foi possível ao SWAT simular o escoamento superficial para cada uma das sub bacias por meio do método da curva número (USDA – SCS, 1972) de acordo com as equações 3 e 4:

$$Q = \frac{(R - 0,2s)^2}{(R + 0,8s)}, \quad R > 0,2s \quad (3)$$

$$Q = 0,0, \quad R \leq 0,2s \quad (4)$$

Onde:

Q = Volume de escoamento superficial (runoff, mm);

R = Precipitação pluvial diária (mm)

s = Parâmetro de retenção.

De acordo com Ronalton (2002) parâmetro de retenção “ s ” varia em função dos diferentes tipos de solo, uso, manejo e declividade. O parâmetro “ s ” também pode variar com o tempo em função das alterações de umidade do solo. O parâmetro “ s ” está relacionado com a Curva Número (CN) através equação 5:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (5)$$

Onde:

CN = Valor da curva número (adimensional).

A escala “CN” varia entre 1 e 100 para caracterizar o grau de saturação de umidade do solo, de forma que valores próximos de 1 correspondem a coberturas permeáveis, enquanto que valores próximos a 100 correspondem a uma cobertura impermeáveis. Neste sentido, conforme relata Ronalton (2002), para efeitos de simulação do escoamento superficial, consideram-se três condições para os valores de CN:

- CN1: corresponde à Curva Número para a condição I de umidade na qual os solos estão secos e com elevado grau de permeabilidade;
- CN2: corresponde a situação II de umidade, que corresponde a um grau intermediário de saturação, no qual o solo está próximo de sua capacidade de campo.
- CN3: corresponde à Curva Número para condições III de umidade, na qual os solos estão saturados de água, ponto no qual se tem início ao escoamento superficial.

Para o cálculo dos valores de CN1 e CN3, estes parâmetros são relacionados à CN2 por meio das equações 6 e 7:

$$CN1 = CN2 - 20 \frac{(100 - CN2)}{100 - CN2 + \exp[2,253 - 0,0363(100 - CN2)]} \quad (6)$$

$$CN3 = CN2 \exp[0,00673(100 - CN2)] \quad (7)$$

De acordo com Moro (2005), componente “percolação” do modelo SWAT usa a técnica de propagação do armazenamento. A combinação desta técnica com um modelo que simula o fluxo de água por entre as camadas do solo, simula escoamento de sub superfície. A quantidade de água que percola sobre as camadas é calculada por meio da equação 8:

$$SW_i - SW_{oi} \exp\left(\frac{-\Delta t}{TT_i}\right) \quad (8)$$

Onde:

SW_i = umidade do solo no início do dia;

SW_{oi} = umidade do solo no fim do dia;

Δt = intervalo de tempo (h);

TT_i = tempo de propagação através das camadas;

i = índice de identificação da camada do solo.

Neste sentido, os valores relativos à percolação são obtidos através da relação expressa pela equação 9:

$$P_i = SW_{oi} \left[1 - \exp\left(\frac{-\Delta t}{TT_i}\right) \right] \quad (9)$$

Onde:

P_i = percolação (mm/dia).

O volume de água disponível para percolação nos horizontes do solo é obtido através das equações 10 e 11:

$$Sw_{ly} = Sw_{ly} - Fc_{ly}, \quad \text{se } Sw_{ly} > Fc_{ly} \quad (10)$$

$$Sw_{ly} = 0, \quad \text{se } Sw_{ly} \leq Fc_{ly} \quad (11)$$

Onde:

Sw_{ly} = quantidade de água nos perfis de solo (mm).

Fc_{ly} = quantidade de água no solo quando seus horizontes estão saturados, no limite da capacidade de campo (mm).

O tempo de propagação (TT_p) por entre as camadas do solo é calculado por meio da relação expressa pela equação 12:

$$TT_p = \frac{Sat_{ly} - Fc_{ly}}{K_{sat}} \quad (12)$$

Onde:

Sat_{ly} = quantidade de água no perfil completamente saturado (mm).

K_{sat} = condutividade hidráulica saturada (mm/h).

A componente “erosão” é obtida através da Equação Universal de Perda de Solos Modificada (Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE) (WILLIAMS, 1975). A MUSLE utiliza a quantidade de escoamento superficial para simular a erosão e produção de sedimentos de acordo com a Equação 13:

$$Sed = 11,8 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times \text{área}_{hru})^{0,56} \times K_{usle} \times C_{usle} \times P_{usle} \times LS_{usle} \quad (13)$$

Onde:

Sed = produção de sedimentos (ton/dia);

Q_{surf} = volume do escoamento superficial (mm);

q_{peak} = vazão de pico de escoamento (m³/s);

área_{hru} = área da HRU (ha);

K_{usle} = fator de erodibilidade do solo;

C_{usle} = fator de manejo e cobertura do solo;

P_{usle} = fator de práticas conservacionistas;

LS_{usle} = fator topográfico.

4.2 Interface ArcSwat

O aplicativo de interface ArcSWAT foi desenvolvida a partir do programa AVSWAT2000 que consistia em uma antiga extensão SIG ArcView, desenvolvida para versão anteriores do SWAT (GASSMAN et al, 2007). De acordo com Winchell et al (2013), o aplicativo ArcSWAT é composto por menus, botões e ferramentas de análise espacial, servindo como extensão do Sistema de Informações Geográficas ESRI ArcGIS e é utilizado como interface gráfica para entrada dos planos de informações que são compostos por mapas e tabelas em formato digital que constituem o meio pelo qual os dados de entrada são inseridos no modelo SWAT. Uma vez que o SWAT necessita de uma grande variedade de dados de entrada, a interface ArcSWAT permite com que esses dados sejam carregados no modelo de forma amigável com o usuário.

4.3 Variáveis climáticas e hidrológicas

Para efetuar o processo de simulação, o modelo precisa considerar os padrões climáticos da área de estudo, uma vez que as variáveis climáticas são de grande relevância na regulação do ciclo hidrológico. A precisão dos resultados simulados pelo SWAT está diretamente relacionada com a densidade da rede de estações meteorológicas e com a abrangência temporal das séries históricas destas estações. O SWAT possui um extenso banco de dados com uma densa rede de estações meteorológicas, no entanto, este banco de dados abrange somente o território dos Estados Unidos da América. Desta forma, torna-se necessária a criação de estações meteorológicas com seus respectivos parâmetros estatísticos dentro do banco de dados que armazena as variáveis climáticas. Neste sentido, dois tipos de dados climáticos são necessários para operacionalização do modelo. O primeiro diz respeito aos parâmetros estatísticos utilizados para calibração das estações meteorológicas criadas dentro do banco de dados do modelo. De acordo com Arnold et al (2012) devem ser obtidos os seguintes parâmetros estatísticos correspondentes a todos os meses do ano para calibração das estações meteorológicas que venham a ser criadas no banco de dados do modelo:

1. TMPMX – Média da temperatura máxima;
2. TMPMN – Média da temperatura mínima;

3. TMPSTDMX – Desvio padrão da temperatura máxima diária;
4. TMPSTDMN – Desvio Parão da temperuta mínima diária;
5. PCPMM – Média da precipitação mensal;
6. PCPSTD – Desvio padrão da precipitação mensal;
7. PCPSKW – Coeficiente de assimetria da precipitação mensal;
8. PR_W1 – Probabilidade de um dia de chuva seguido por um dia seco;
9. PR_W2 – Probabilidade de um dia chuvoso seguido por outro dia chuvoso;
10. PCPD – Média de dias chuvosos no mês;
11. RAINHHMX – Intensidade máxima de chuva em 30 minutos;
12. SOLARAV – Média mensal de radiação solar;
13. DWPT – Temperatura média do ponto de orvalho;
14. WNDV – Média mensal de ventos.

O segundo tipo de dados necessários para operação do modelo diz respeito a dados diários de:

- Médias diárias de temperaturas máximas e mínimas (°C);
- Altura diária de chuvas (mm);
- Umidade Relativa do Ar (%);
- Temperatura do ponto de orvalho (°C);
- Radiação Solar (J/m^2).

Para quantificação destas variáveis, foram utilizados dados das estações meteorológicas situadas na bacia do Ribeirão Monjolo Grande e no CEAPLA (Centro de Análise e Planejamento Ambiental – IGCE, Unesp Rio Claro). Os dados necessários para obtenção dos parâmetros estatísticos necessários para a criação e calibração das estações meteorológicas no banco de dados do modelo foram obtidos a partir de séries históricas de estações meteorológicas operadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), com excessão da variável RAINHHMX (intensidade máxima de chuva de 30 minutos), que foi quantificada através da análise de dados pluviograficos da estação meteorológica do CEAPLA.

A atual versão do SWAT possui um simulador climático (Weather Generator) que tem por objetivo suprimir falhas nas séries históricas de dados de clima, e simular o comportamento climático sobre a área de estudo com base nos dados das estações meteorológicas criadas em seu banco de dados.

A quantificação das variáveis climáticas foi complementada com dados de uma estação meteorológica automática Davis Advantage Pro 2, alocada na bacia do Ribeirão Monjolo Grande (Figura 18) equipada com sensores para quantificação da radiação solar, radiação ultravioleta, evapotranspiração, temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, altura das chuvas e velocidade dos ventos. A medição das variáveis climatológicas é realizada de forma ininterrupta com uma frequência de cinco minutos, sendo as variáveis armazenadas na memória do equipamento e posteriormente descarregadas através de notebook via conexão USB em trabalhos de campo que foram realizados semanalmente abrangendo o período de doze meses.



Figura 18: Estação meteorológica instalada na Bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

4.4 Cálculo dos parâmetros físicos das classes de solos

Com objetivo de simular o comportamento do solo e seus agregados, o modelo requer como dados de entrada, uma série de parâmetros físicos que caracterizam as unidades de solo das áreas de estudo. O modelo possui um banco de dados com todas as classes de solo encontradas no território norte americano, inviabilizando a aplicação para o caso das bacias hidrográficas brasileiras.

O banco de dados do modelo foi modificado através da inserção de novas classes de solos, relativas às unidades pedológicas presentes nas áreas de estudo. Para criação

do banco de dados, é necessária a quantificação dos seguintes parâmetros relacionados às classes de solos que compõem as bacias:

1. NLAYERS – Número de horizontes da classe de solo;
2. HYDGRP – Grupo hidrográfico ao qual pertence a classe de solo;
3. SOL_ZMX – Espessura total do regolito;
4. ANION_EXCL – Porosidade do solo;
5. TEXTURE – Textura do horizonte do solo;
6. SOL_Z – Espessura do horizonte do solo;
7. SOL_BD – Densidade aparente (mg/m^3 ou g/m^3);
8. SOL_AWC – capacidade do horizonte em reter água ($\text{mmH}_2\text{/mmSolo}$);
9. SOL_K – Condutividade hidráulica saturada (mm/hr);
10. SOL_CBN – Carbono orgânico no horizonte (%);
11. CLAY - % argila no horizonte;
12. SILT - % Silte no horizonte;
13. SAND - % Areia no Horizonte;
14. ROCK - % Rochas no horizonte (partículas com diâmetro superior a 2 mm);
15. SOL_ALB – Albedo
16. USLE_K – Fator K da USLE;
17. SOL_EC – Condutividade elétrica do horizonte (ds/m).

As variáveis acima descritas foram quantificadas a partir da metodologia desenvolvida por Saxton e Rawls (2006), que estima todas as características do solo a partir dos teores de argila, silte, areia e carbono orgânico presente em cada um dos horizontes do solo.

4.5 Caracterização fisiográficas e elaboração do banco de dados georreferenciado

Para a elaboração do banco de dados georreferenciado das bacias hidrográficas em estudo, foram utilizadas as folhas das cartas topográficas SF-23-Y-AI-3-NE-D, SF-23-Y-A-I-3-NE-F, SF-23-Y-AI- 3-SE-B, SF-23-Y-A-I-3-NO-C, SF-23-Y-A-I-3-NO-E e SF-23-Y-A-I-3-SO-A para o Ribeirão Monjolo Grande, e as cartas topográficas SF-23-Y-A-I-4-NO-B, SF 23-Y-A-I-4-NO-D, SF-23-YA-I-4-NO-F, SF-23-Y-A-I-4-NE-C e SF-23-Y-A-I-4-NE-E para o ribeirão Jacutinga (Figura 19) todas na escala de 1:10000 em formato analógico (IGC/SP, 1979). A estruturação do banco de dados se deu por

meio de georreferenciamento e transposição das cartas plani-altimétrica em ambiente de SIG e procedimentos de retificação cartográfica a partir de pontos de controle em campo obtidos por GPS, além das derivações de dados geomorfométricos a partir desta estrutura vetorizada.

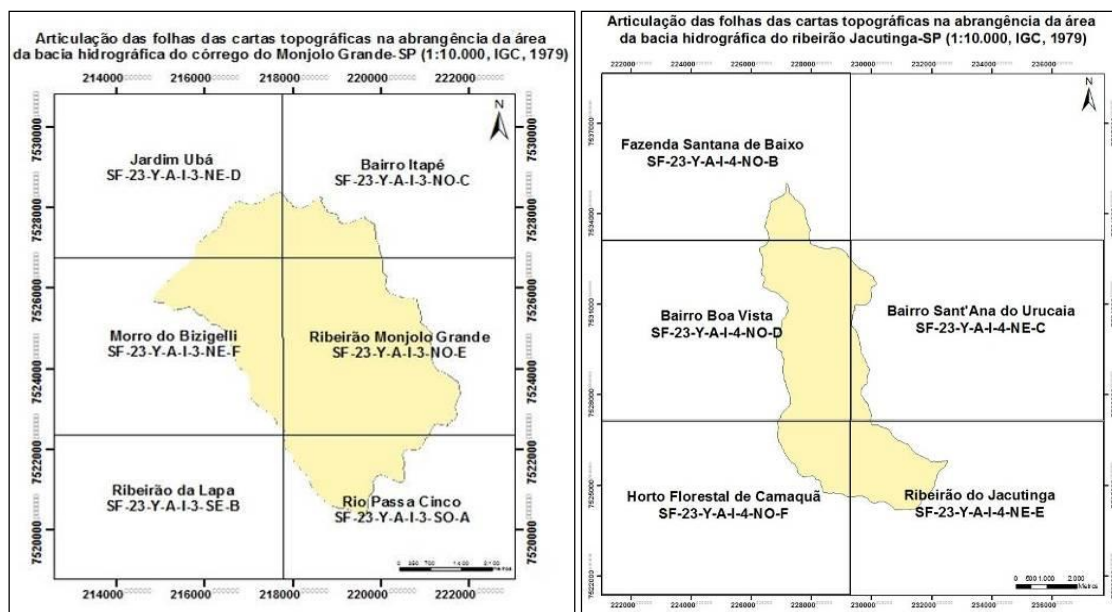


Figura 19: Articulação da folhas que compõe as bacias do ribeirão Monjolo Grande e Jacutinga (PEREIRA, 2010).

Após articulação das folhas, foi realizado processo de vetorização das curvas de nível, rede de drenagem, caracterização dos pontos cotados e delimitação das áreas de estudo. Todo processo se deu de forma semi automática a partir do SIG ArcGis® 10, sendo estes parâmetros necessários para elaboração do modelo digital de elevação (MDE), mapa hipsométrico, mapa de unidades pedológicas e mapa de classes de declividade e mapa de uso e ocupação da bacia. Os mapas descritos acima foram elaborados em formato shape file e convertidos para formato raster na escala 1:1000 com curvas de nível com equidistância de cinco metros, permitindo um refinamento na análise morfométrica das bacias. Os produtos gerados constituem variáveis topográficas de entrada do modelo SWAT.

A entrada de dados através da interface ArcSWAT é feita através de planos de informações em formato de mapas digitais e tabelas no formato geodatabase. Os planos de informação necessários para rodar a modelagem são:

- Modelo Digital de elevação (MDT);
- Mapa de uso e ocupação da bacia;

- Mapa de solos;
- Mapa das classes de declividade;
- Tabelas de dados climáticos e pedológicos.

5. Resultados e Discussão

5.1 Elaboração dos planos de informação

O processo de modelagem através do SWAT inicia-se a partir da elaboração do Modelo Digital de Elevação do Terreno. O modelo digital de elevação foi elaborado a através do SIG ArcMap 10.1. A partir dos valores de altimetria das curvas de nível e dos pontos cotados, foi processada a grade triangular (TIN – Triangular Irregular Network) através da ferramenta “create TIN from features” presente no ArcMap 10.1. Após a geração da grade TIN, os arquivos foram convertidos em planos de informação no formato raster utilizando a ferramenta “TIN to Raster”, também presente na extensão Spatial Analyst do ArcMap 10.1. Em seguida, a partir dos planos de informação no formato raster, foram gerados os Modelos Digitais de Elevação fazendo uso da ferramenta “Top to Raster”, que de acordo com Pereira (2010), emprega um algoritmo especificamente elaborado para criação de modelos digitais de elevação refinam as feições hidrológicas da bacia hidrográfica a ser modelada (Figuras 20 e 21).

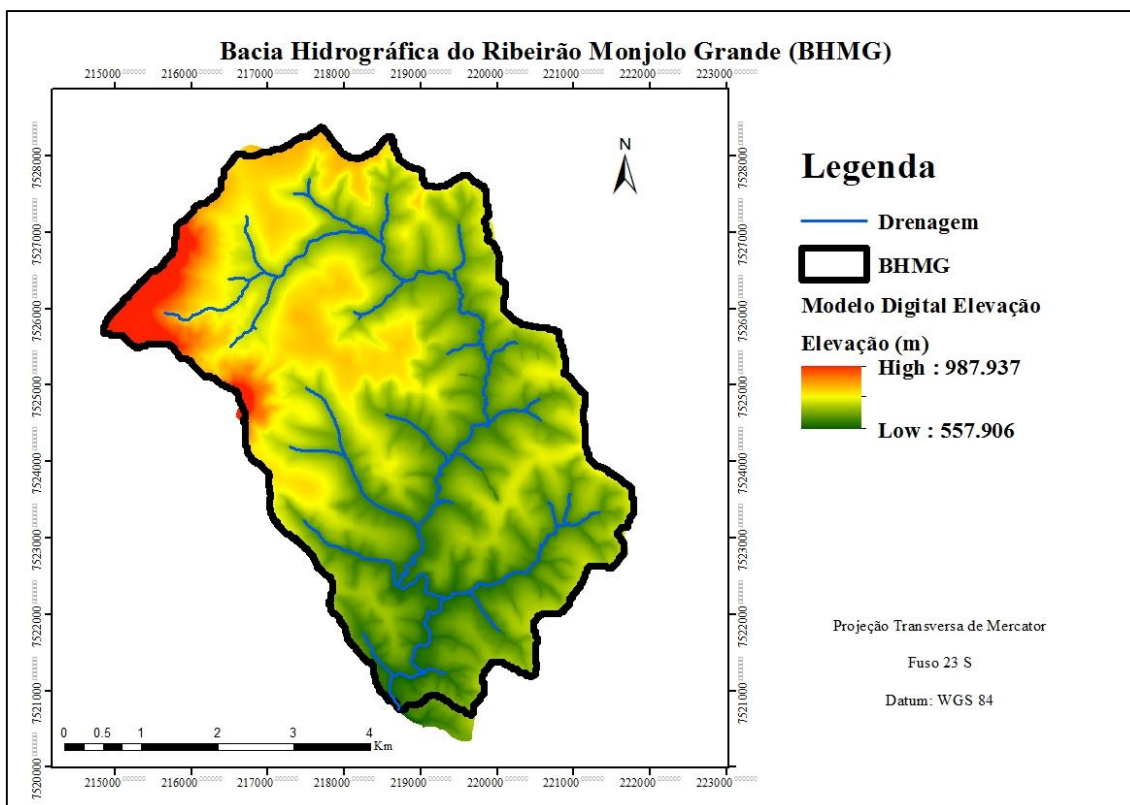


Figura 20: Modelo Digital de Elevação (Fonte: O Autor)

Observa-se que a bacia do Ribeirão Monjolo Grande apresenta elevação que varia entre aproximadamente 558 metros de altitude na parte jusante até quase 998 metros de altitude em sua porção noroeste, à montante do canal de drenagem. Na bacia do Ribeirão Jacutinga observam-se altitudes variando entre 550 metros na jusante e 752 em sua porção norte à montante dos canais de drenagem.

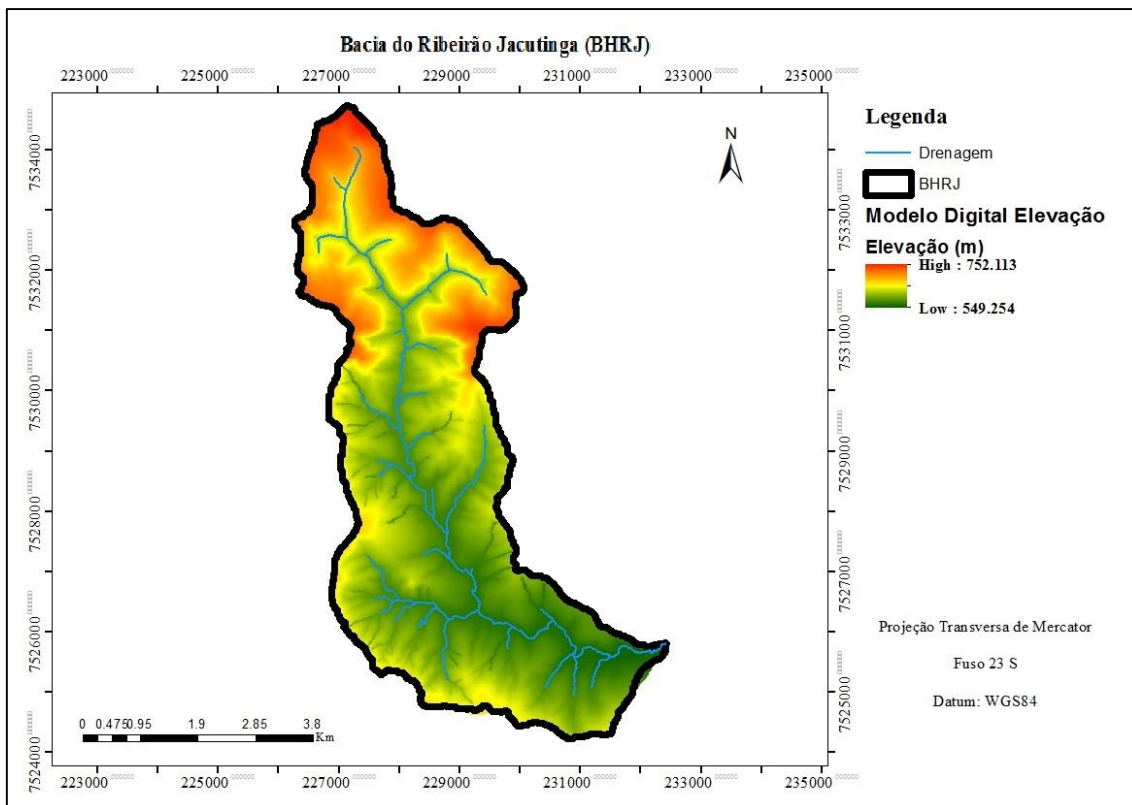


Figura 21: Modelo Digital de Elevação Bacia do Ribeirão Jacutinga (Fonte: O Autor)

5.2 Delineamento das sub bacias e definição dos canais de drenagem e exutórios

O processo de modelagem das bacias hidrográficas através do SWAT tem seu início a partir da criação do projeto dentro dos diretórios do Windows 8.1 sendo os projetos nomeados de acordo com os nomes das bacias hidrográficas modeladas: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (BHMJG) e Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (BHRJ). Em seguida, os respectivos MDE's (Modelo Digital de Elevação) são processados através das funções do menu "Watershad Deliniation" presente na extensão ArcSWAT instalada na plataforma ArcMap 10.1. Através dos valores de elevação associados aos pixels que compõe os planos de informação, o SWAT processa o delineamento das bacias, estabelecendo os seus divisores de águas, os canais de drenagem e as redes de drenagem, o delineamento das sub-bacias com suas respectivas redes de drenagem e pontos de exutórios (Figuras 22 e 23).

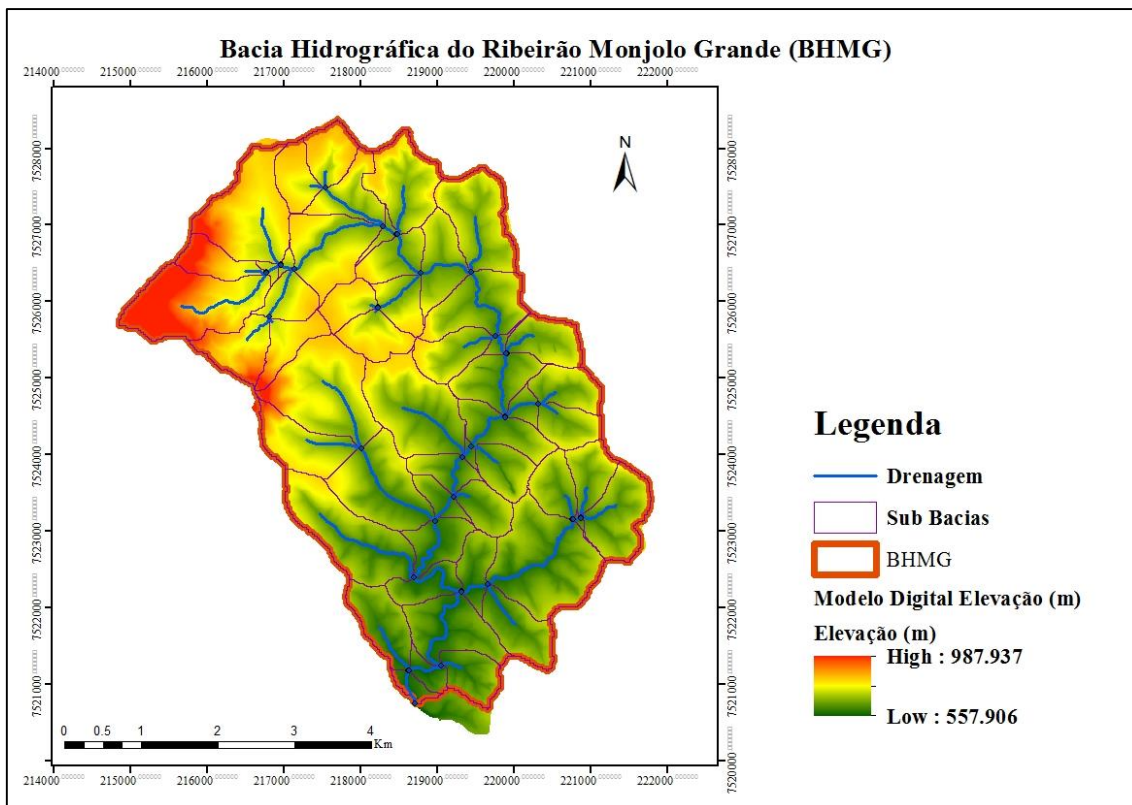


Figura 22: Sub divisão da BHMKG, geração da drenagem e pontos de exutório (Fonte: O Autor)

O processo de delineamento das sub bacias e dos canais de drenagem é realizado a partir dos valores de cota altimétricas correspondentes aos pixels que compõem as células do modelo digital de elevação de forma que os valores menores perfazem os fundos de vale e os canais de drenagem enquanto que os maiores valores correspondem aos divisores de águas das sub bacias.

Os canais de drenagem, bem como a direção do fluxo também são definidos em função dos valores dos pixels que compõem o modelo digital de elevação de modo que os maiores valores são atribuídos à montante e os de menores valores correspondem à jusante da bacia, modelando desta forma, a direção do fluxo dos canais de drenagem. Após o delineamento das sub bacias e geração dos canais de drenagem e pontos de exutórios, o modelo elabora um relatório com estatísticas topográficas geradas a partir do processamento do modelo digital de elevação. Nos relatórios constam as elevações máximas e mínimas, altitude média e desvio padrão da elevação de cada bacia e suas respectivas sub bacias. A tabela 3 apresenta um quadro resumo das estatísticas elaboradas com base no processo de delineamento das bacias hidrográficas.

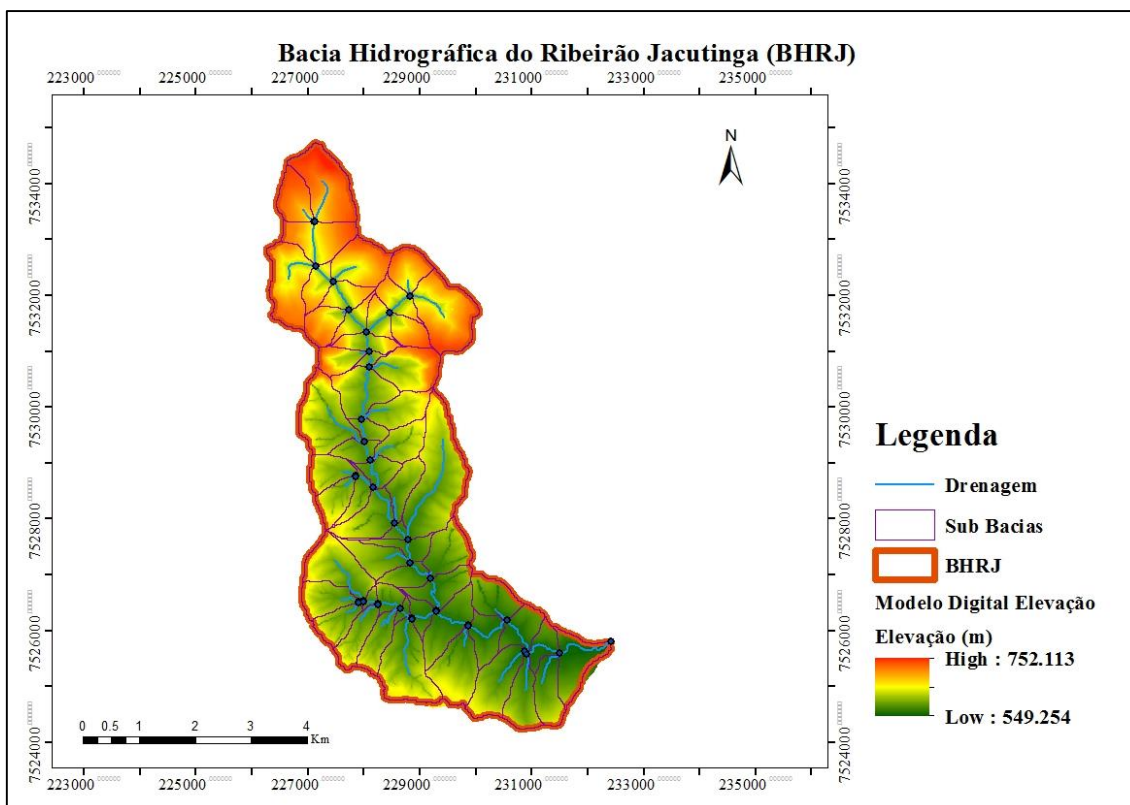


Figura 23: Sub divisão da BHRJ, geração da drenagem e pontos de exutórios (Fonte: O Autor)

Tabela 3: Estatísticas topográficas

	Bacia Ribeirão Mojolo Grande	Bacia do Ribeirão Jacutinga
Nº Sub bacias	53	59
Elev. Min (m)	559 m	549 m
Elev. Max (m)	987 m	752 m
Alt.Média (m)	648,45 m	622,58 m
Desv. Padrão (m)	57,45 m	45,93 m

5.3 Definição do uso do solo, classes de solos e classes de declividade

Após o delineamento das bacias hidrográficas, deve-se prosseguir com a definição das classes de uso e ocupação do solo, classes de solo e as classes de declividade que compõe as bacias. Estas características serão posteriormente utilizadas para definição das HRU's (Hydrologic Response Unit – Unidades de Resposta Hidrológicas). O mapeamento das classes de uso e ocupação foi realizado baseando-se, principalmente, em trabalhos de campo e na interpretação visual de imagens dos

sensores IKONOS e GeoEye, datadas de Novembro de 2013 e Abril de 2014. As figuras 24 e 25 apresentam os resultados do mapeamento de uso e cobertura do solo.

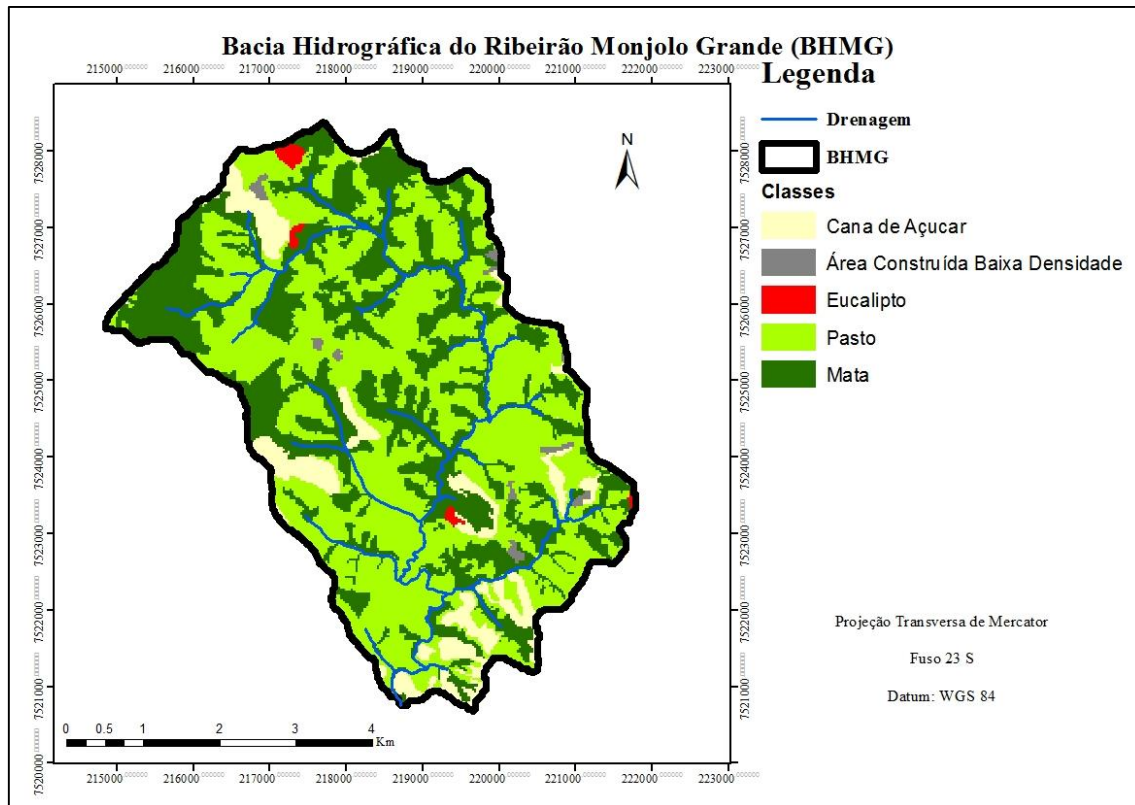


Figura 24: Mapeamento de uso e ocupação na BHMKG (Fonte: O Autor).

Na bacia do Ribeirão Monjolo Grande foram definidas cinco classes de uso e ocupação, sendo constituídas por cana de açúcar, ocupando uma área de 167,17 hectares, o que corresponde a 5,93% da área da bacia. As áreas compostas por matas estão presentes principalmente na porção noroeste, norte e ao longo dos canais de drenagem ocupando uma área de 986,85 hectares, o que corresponde a 35% da área da bacia. Por fim, foram quantificadas as áreas de pastagem que recobrem a maior parte da bacia do Ribeirão Monjolo Grande, ocupando uma área de 1665,76 hectares, o que corresponde a 59,07% da área da bacia. As partes da bacia cobertas por eucalipto e por áreas construídas de baixa densidade não foram levadas em consideração para fins de modelagem devido à pouca expressão na área. A tabela 4 representa de forma resumida as características de uso e ocupação da bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

Tabela 4: Padrões de uso e ocupação Bacia Monjolo Grande

Uso e Ocupação BHMJ		
Uso	Área (ha)	%
Cana de açúcar	243,6487	8,64
Construção baixa densidade	25,8646	0,91
Eucalipto	18,5087	0,66
Pasto	1516,632	53,79
Mata	1015,1368	36
Total	2819,908	100

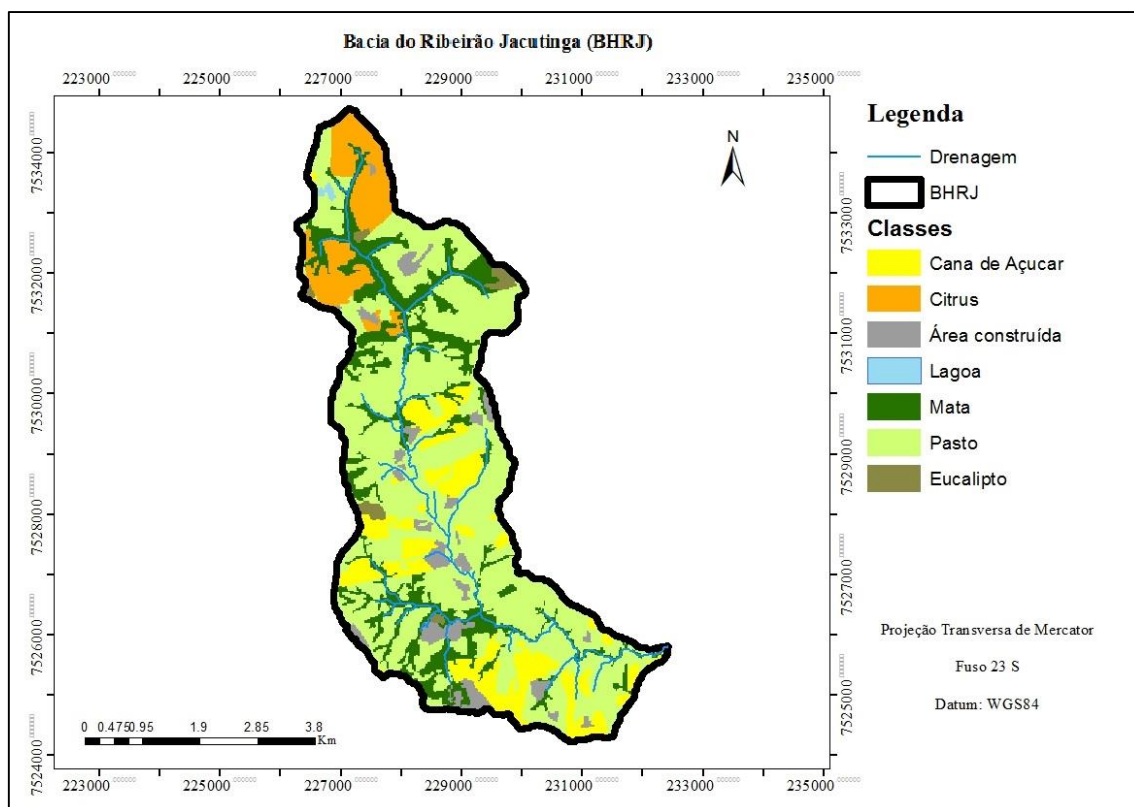


Figura 25: Mapeamento de uso e ocupação na BHRJ (Fonte: O Autor)

Na bacia hidrográfica do Ribeirão jacutinga foram identificadas sete classes de uso e ocupação. As áreas de pastagem dominam a paisagem na bacia do Ribeirão Jacutinga, ocupando uma área de 1846,1 hectares, o que corresponde a 65,7% da área e apresentando distribuição homogênea ao longo da bacia. As matas ocupam uma área de 914,13 hectares, o que corresponde a 13,17% da área da bacia, estando situadas principalmente no alto curso e ao longo do principal afluente da margem direita. As

áreas ocupadas pela cultura da cana de açúcar correspondem a 772,14 hectares, ou 11,12% da área total da bacia do Ribeirão Jacutinga. As áreas ocupadas pela citricultura equivalem a 606,59 hectares, o que corresponde a 8,74% da área. As construções de baixa densidade e as áreas ocupadas por eucalipto são irrelevantes para modelagem de acordo com o limiar de análise adotado. A tabela 5 representa os usos e ocupação na bacia do Ribeirão Jacutinga.

Tabela 5: Uso e Ocupação da Bacia Ribeirão Jacutinga

Uso e Ocupação BHRJ		
Uso	Área (ha)	%
Pasto	1846,1064	65.7
Mata	369,9388	13.17
Cana de açúcar	312,4764	11.12
Citrus	245,4805	8.74
Construção baixa densidade	33,5648	1.19
Eucalipto	2,1206	0.08
Total	2809,6875	100

A tabela 6 representa a distribuição das classes de solo nas bacias hidrográficas do Ribeirão Monjolo Grande e Ribeirão Jacutinga.

Tabela6: Distribuição das Classes de Solos na BHRJ e BHRJ

Distribuição Classes de Solos				
Unidade	BHRJ		BHRJ	
	Hectares	%	Hectares	%
Argissolo Vm Am Unid. Sta Cruz	--	--	1446.88	51,5
Argissolo Vm. Am. Unid. Serrinha	2517,3	89,27	1026,33	36,53
Latossolo Vermelho Amarelo	5,1397	0,18	--	--
Neossolo Quartzarênico	252,542	8,96	336,484	11,97
Neossolo Litólico	44,8135	1.59	--	--
Total	2819,79	100	2809,69	100

A seguir, as figuras 23 e 24 representam os planos de informação relacionados às categorias de declividade das vertentes das bacias hidrográficas em estudo. O modelo permite ao usuário escolher entre uma e cinco classes de declividade assim como atribuir o limite superior e inferior de cada classe. Para efeitos de modelagem das bacias hidrográficas do ribeirão Monjolo Grande e Ribeirão Jacutinga, foram selecionadas 5 classes de declividade com os seguintes limites inferiores e superiores em porcentagem:

1. Classe: 0 – 8 %
2. Classe: 8 – 20%
3. Classe: 20 – 45 %
4. Classe: 45 – 75%
5. Classe: > 75%

Os resultados são apresentados pelas figuras 26 e 27.

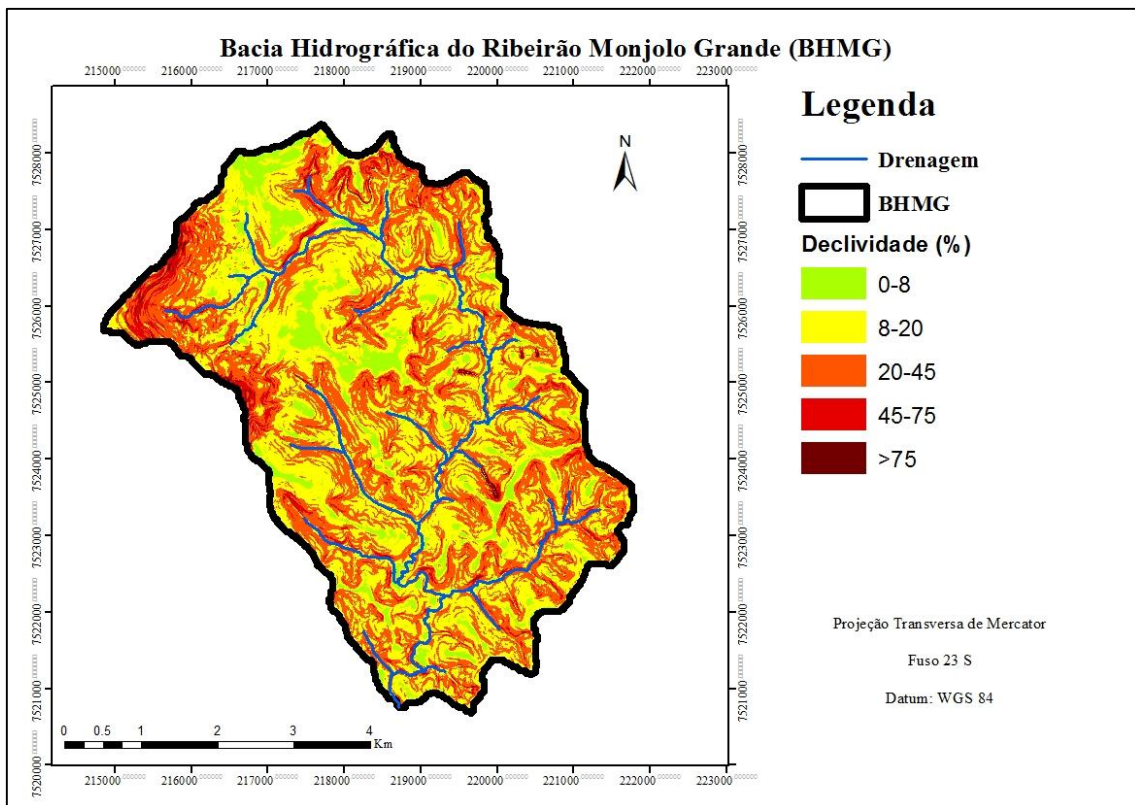


Figura 26: Classes de declividade da bacia do Ribeirão Monjolo Grande

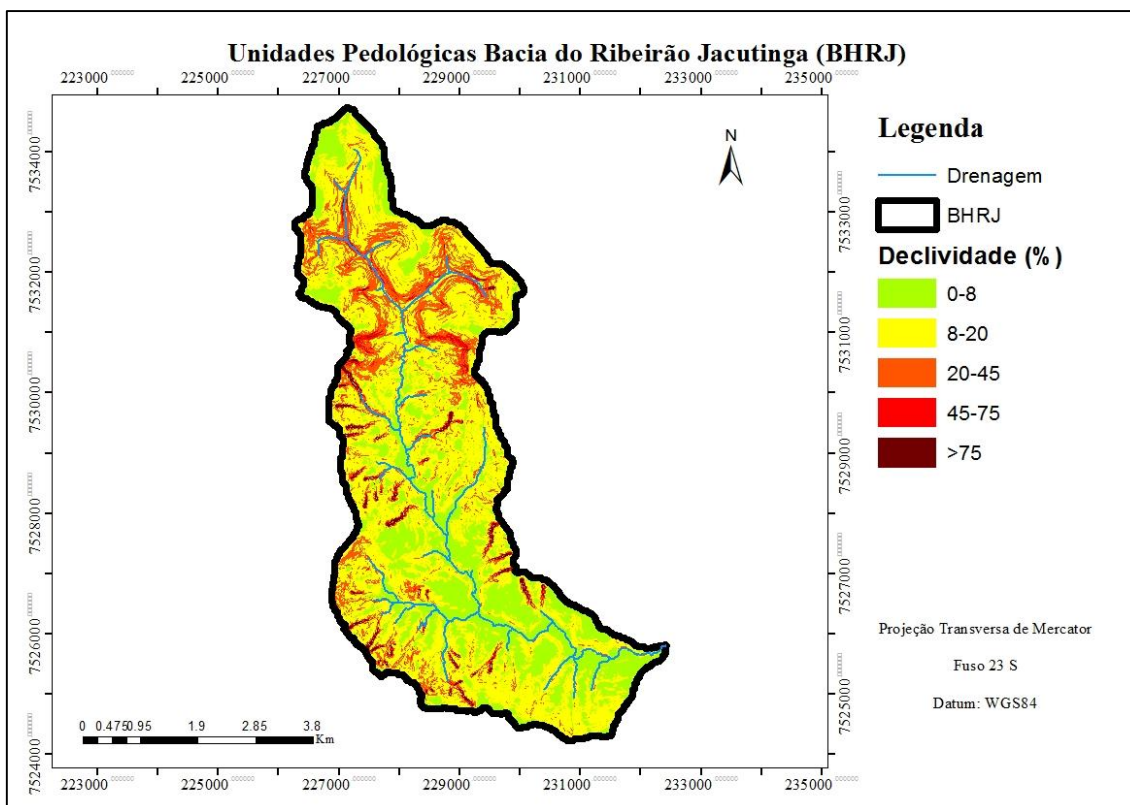


Imagem 27: Classes de declividade da Bacia do Ribeirão Jacutinga.

A tabela 7 representa a distribuição das classes de declividade sobre as bacias do ribeirão Monjolo Grande e jacutinga.

Tabela 7: Classes de declividade BHMJ e BHRJ

Distribuição Classes de Declividade				
Classe	BHMJ		BHRJ	
	Hectares	%	Hectares	%
0 - 8%	112,575	3,99	812,786	28,92
08- 20%	1377,13	48,84	1695,1	60,33
20 - 45%	1286,14	45,62	288,145	10,26
45 - 75%	39,5753	1,4	13,6612	0,49
> 75%	4,3673	0,15	--	--
Total	2819,79	100	2809,69	100

O SWAT processa os planos de informação relativos ao uso e ocupação da bacia, tipos de solo e classes de declividade. A partir do processamento destes planos de informação são definidas as Unidades de Respostas Hidrológicas (HRUs) que são constituídas por uma combinação do tipo de uso e ocupação, da classificação da unidade pedológica e do grau de declividade das vertentes da bacia. De acordo com Arnold et al (2012), as HRUs devem ser definidas ponderando o percentual da combinação

uso/solo/declividade pela área da sub bacia no qual a combinação está inserida. Após a definição das HRU's são definidos os parâmetros climáticos da área de estudo, seguindo da edição dos padrões dos dados de entrada no modelo. Feita estas premissas, o usuário deve designar o tempo de simulação hidrológica desejada e por fim, rodar o processo de simulação através do SWAT.

5.4 Processo de modelagem e comparação entre os resultados

Após realização das etapas anteriores, o menu de simulação do SWAT é ativado. três cenários hipotéticos foram testados durante as rodadas do processo de modelagem. No primeiro cenário o modelo foi programado para rodar o período compreendido entre 01 de Janeiro de 1993 e 31 de Dezembro de 2013, totalizando o período de 21 anos. O segundo cenário compreende um período de 10 anos, entre 01 de Janeiro de 2000 e 31 de Dezembro de 2010. O terceiro cenário modelado foi para o período de 1 ano entre 01 de Janeiro de 2013 e 31 de Dezembro de 2013.

De acordo com Arnold et al (2012), Os resultados de saída simulados pelo SWAT dizem respeito aos seguintes parâmetros:

1. **UNIT TIME**: corresponde à amplitude temporal da simulação, podendo ser ajustada entre diária, mensal e anual.
2. **PREC (mm)**: Média do volume de chuva precipitado sobre a bacia hidrográfica
3. **SURQGEN (mm)**: contribuição do runoff para a vazão para cada uma das HRU's durante a simulação podendo ser ajustado a uma frequência diária, mensal e anual.
4. **LATQ (mm)**: contribuição do escoamento lateral para a vazão na bacia hidrográfica podendo ser ajustado com uma frequência diária, mensal e anual.
5. **GWQ (mm)**: contribuição da água subterrânea para o escoamento da bacia, podendo ser ajustado a uma frequência diária, mensal e anual durante o período de simulação.
6. **PERCO LATE (mm)**: águas que percolam através do perfil de solo, pode ser ajustado a uma frequência diária, mensal ou anual.
7. **TILE Q (mm)**: contribuição do escoamento canalizado através das curvas de nível podendo ser modelado em uma frequência diária, mensal e anual.
8. **SW (mm)**: total de água armazenada nos perfis de solo das bacias hidrográficas. Assume uma frequência diária, mensal e anual.

9. **ET** (mm): evapotranspiração atual na bacia. Pode ser representada através de valores diários, mensais e anuais.
10. **PET** (mm): evapotranspiração potencial na bacia hidrográfica. Pode ser representada através de valores diários, mensais e anuais.
11. **WATER YELD** (mm): produção de água no fluxo de drenagem para cada uma das HRU's. Pode assumir valores diários, mensais e anuais.
12. **SED YELD** (ton(t)/ha): produção de sedimentos dentro de cada HRU na bacia hidrográfica em estudo. Pode assumir valores diários, mensais ou anuais.
13. **NO3 SURQ** (Kg/ha): nitrato carregado para o fluxo de drenagem através do escoamento superficial. Pode ser quantificado diariamente, mensalmente ou anualmente.
14. **NO3 LAT Q** (Kg/ha): nitrato carregado para o fluxo de drenagem através do escoamento lateral. Pode assumir valores diários, mensais ou anuais.
15. **NO3 PERC** (Kg/ha): nitrato que percola através dos perfis do solo. Poder ser representado com um frequência diária, mensal e anual.
16. **NO3 CROP** (Kg/ha): nitrato absorvido pela vegetação numa frequência diária, mensal e anual.
17. **N ORGANIC** (Kg/ha): nitrogênio orgânico carregado para o fluxo de drenagem. Pode ser representado através de valores diários, mensais e anuais.
18. **P SOLUBLE** (Kg/ha): fósforo solúvel carregado pelo fluxo de drenagem nas frequências diárias, mensais e anuais.
19. **P ORGANIC** (Kg/ha): fósforo orgânico carregado pelo fluxo de drenagem. Pode assumir uma frequência diária, mensal e anual.

No primeiro cenário hipotético, o modelo SWAT foi programado para rodar por um período de 20 anos para ambas as bacias hidrográficas em estudo. As tabela 8 e 9 apresentam os resultados da modelagem para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande:

Tabela 8: Resultados Cenário 1 da Bacia do Ribeirão Monjolo Grande

Bacia Monjolo Grande Cenário 1									
UNIT	PERCO				TILE				
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	336,23	107,35	102,53	25,42	59,59	0,00	137,14	61,73	127,89
Fev	236,54	74,13	70,66	33,04	38,39	0,00	135,94	55,33	122,75
Mar	168,15	45,05	48,57	36,08	23,86	0,00	131,99	56,25	124,94
Abr	77,53	18,22	19,67	25,98	7,49	0,00	124,97	39,69	109,09
Mai	61,71	13,38	16,18	13,78	5,92	0,00	124,18	27,32	86,69
Jun	28,85	6,37	6,82	3,56	2,16	0,00	119,95	15,06	102,83
Jul	28,85	6,37	6,82	3,56	2,16	0,00	119,95	15,06	102,83
Ago	25,28	4,38	5,83	2,12	1,58	0,00	116,00	17,38	132,78
Set	64,51	12,25	15,03	1,44	4,03	0,00	119,42	29,59	137,36
Out	117,54	23,08	30,64	3,10	11,00	0,00	125,66	46,19	145,14
Nov	166,52	44,69	43,34	5,87	18,66	0,00	129,30	55,32	145,67
Dez	247,54	69,50	70,27	13,10	35,49	0,00	134,46	66,09	144,68

Tabela 9: Resultados Cenário 1 Bacia do Ribeirão Monjolo Grande

Bacia Monjolo Grande Cenário 1									
UNIT	WATER	SED	NO3	NO3	NO3	NO3	N	P	P
TIME	YIELD	YIELD	SURQ	LATQ	PERC	CROP	ORG	SOLUBLE	ORG
	(mm)	(t/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Jan	236,13	28,34	0,01	0,04	0,10	0,00	0,06	0,04	0,03
Fev	178,91	17,15	0,13	0,23	0,30	1,02	0,06	0,03	0,06
Mar	131,11	9,67	0,29	0,48	0,23	11,81	0,02	0,02	0,01
Abr	65,25	3,02	0,01	0,01	0,01	0,90	0,01	0,00	0,00
Mai	44,59	2,68	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
Jun	17,62	2,74	0,00	0,02	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00
Jul	17,62	2,74	0,00	0,02	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00
Ago	13,01	1,18	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00
Set	29,24	2,96	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
Out	57,28	6,26	0,00	0,00	0,00	0,14	0,01	0,00	0,00
Nov	94,33	12,31	0,00	0,01	0,02	0,09	0,01	0,01	0,01
Dez	153,41	22,16	0,00	0,00	0,04	0,08	0,02	0,01	0,01

O mesmo período de tempo simulado no cenário 1 para a bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande foi simulado para a bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga apresentado os resultados demonstrados a seguir nas tabelas 10 e 11:

Tabela 10: Resultados Cenário 1 Bacia do Ribeirão Jacutinga

Bacia Ribeirão Jacutinga Cemário 1									
UNIT	PERCO				TILE				
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	337,87	140,72	49,51	36,45	79,42	0,00	136,94	62,18	128,30
Fev	236,54	92,96	35,17	48,15	56,34	0,00	134,22	56,17	122,73
Mar	164,60	53,32	24,25	54,79	37,85	0,00	126,95	57,63	126,08
Abr	77,53	20,48	10,39	41,56	13,80	0,00	115,00	45,32	109,10
Mai	53,88	10,03	7,75	23,92	8,72	0,00	109,70	33,35	86,81
Jun	38,31	9,92	5,46	11,09	7,41	0,00	104,84	20,63	79,08
Jul	28,85	6,46	3,58	5,94	3,46	0,00	104,94	16,58	102,90
Ago	28,41	5,25	3,37	2,61	2,73	0,00	99,15	21,46	133,35
Set	68,08	12,82	8,12	2,04	5,86	0,00	103,23	37,09	136,47
Out	114,37	22,55	14,88	4,02	1,38	0,00	111,35	53,16	146,19
Nov	166,38	49,20	21,75	8,86	24,41	0,00	120,54	61,57	143,72
Dez	239,51	80,43	33,76	18,59	47,45	0,00	132,31	65,65	143,83

Tabela 11: Resultados Cenário 1 Bacia do Ribeirão Jacutinga

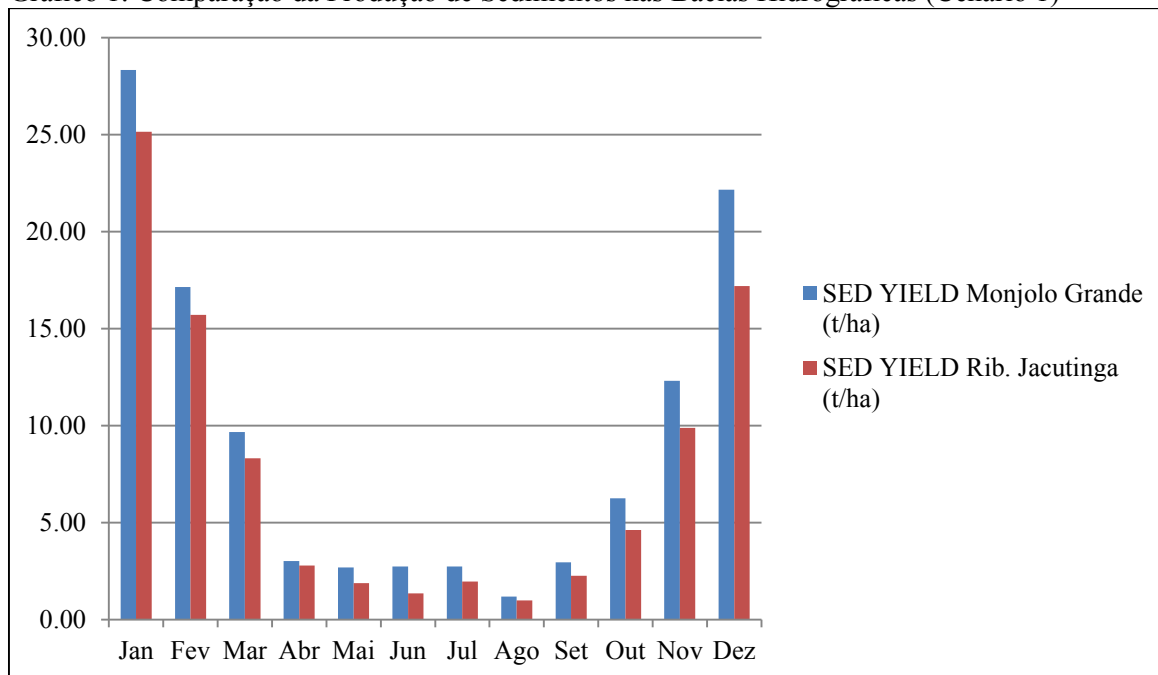
Bacia Ribeirão Jacutinga Cenário 1								
UNIT	WATER	SED	NO3	NO3	NO3	NO3	N	P
TIME	YIELD	YIELD	SURQ	LATQ	PERC	CROP	ORG	SOLUBLE
	(mm)	(t/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Jan	227,85	25,15	0,05	0,02	0,11	0,00	0,06	0,15
Fev	177,79	15,70	0,17	0,03	0,16	0,56	0,04	0,11
Mar	134,39	8,31	0,10	0,06	0,18	5,17	0,01	0,08
Abr	74,42	2,78	0,01	0,01	0,02	1,36	0,00	0,03
Mai	43,56	1,88	0,00	0,00	0,01	0,42	0,00	0,01
Jun	27,98	1,35	0,00	0,00	0,01	0,24	0,00	0,01
Jul	17,26	1,96	0,01	0,01	0,01	0,63	0,00	0,01
Ago	12,21	0,99	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,01
Set	23,75	2,25	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,01
Out	42,11	4,61	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,01
Nov	80,44	9,88	0,00	0,00	0,01	0,10	0,01	0,03
Dez	133,49	17,19	0,00	0,00	0,04	0,05	0,01	0,07

De acordo com os dados apresentados, a produção de sedimentos modelada no cenário 1 na bacia do Ribeirão Monjolo Grande atinge seu máximo durante o período chuvoso atingindo 28,34 t/há no mês de Janeiro. A produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Monjolo Grande é mínima no mês de Agosto com 1,18 t/ha. O mesmo

comportamento é observado na bacia do Ribeirão Jacutinga com índices de 25,15 t/ha no mês de Janeiro e 0,99 t/ha no mês de Agosto.

Comparando a produção de sedimentos modelada nas bacias hidrográficas, observa-se que a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande é ligeiramente superior à produção de sedimentos modelada na bacia do Ribeirão Jacutinga (Gráfico 1):

Gráfico 1: Comparação da Produção de Sedimentos nas Bacias Hidrográficas (Cenário 1)



Através dos dados modelados, conclui-se que os processos erosivos atuam com maior intensidade na bacia do Ribeirão Monjolo Grande principalmente em função das características litológicas e pedológicas predominantes na bacia. Os Argissolos Vermelho Amarelo da Unidade Serrinha, produto do intemperismo das rochas da Formação Botucatu, constituem solos de textura arenosa, susceptíveis ao ataque dos processos erosivos.

O segundo cenário modelado compreende o período de 10 anos sendo o intervalo de tempo modelado compreendido entre 01 de Janeiro de 2000 e 31 de Dezembro de 2010. As tabelas 12 e 13 apresentam os resultados da modelagem:

Tabela 12: Resultados Cenário 2 Bacia do Ribeirão Monjolo Grande.

Bacia Ribeirão Monjolo Grande Cemário 2									
UNIT	PERCO				TILE				
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	342.24	109.75	104.28	22.71	57.71	0.00	136.59	59.64	127.57
Fev	201.44	58.23	62.68	30.36	32.32	0.00	134.40	53.41	125.41
Mar	172.45	53.93	44.55	32.85	21.11	0.00	129.66	58.33	128.63
Abr	59.24	13.64	14.77	23.71	4.86	0.00	112.36	44.29	111.34
Mai	46.30	6.64	11.88	11.17	3.35	0.00	106.80	30.22	89.89
Jun	16.02	0.57	3.11	3.83	0.24	0.00	102.72	16.28	84.60
Jul	33.89	8.68	7.78	1.03	2.44	0.00	104.75	12.90	90.33
Ago	38.83	7.36	9.65	1.42	2.83	0.00	103.51	18.74	126.81
Set	62.55	10.57	16.38	1.65	2.79	0.00	108.06	28.88	131.00
Out	101.10	17.06	25.59	2.45	7.34	0.00	112.77	46.07	147.96
Nov	168.14	42.09	43.64	4.35	16.07	0.00	121.64	56.23	141.47
Dez	246.32	69.29	71.12	11.23	33.68	0.00	129.21	63.97	139.83

Tabela 13: Resultados Cenário 2 Bacia do Ribeirão Monjolo Grande

Bacia Ribeirão Monjolo Grande Cenário 2									
	WATER	SED	NO3	NO3	NO3	NO3	N	P	P
	YIELD	YIELD	SURQ	LATQ	PERC	CROP	ORG	SOLUBLE	ORG
	(mm)	(mm)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Jan	237,43	24,58	0,03	0,41	0,76	0,00	0,11	0,07	0,10
Fev	152,22	14,35	0,01	0,22	1,15	1,26	0,06	0,04	0,05
Mar	132,60	10,94	0,01	0,03	0,39	1,97	0,02	0,05	0,03
Abr	53,36	2,20	0,02	0,01	0,06	1,02	0,00	0,01	0,00
Mai	30,81	1,05	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
Jun	8,39	0,12	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
Jul	18,21	3,86	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
Ago	18,98	1,07	0,00	0,01	0,00	0,15	0,00	0,01	0,00
Set	29,03	1,10	0,00	0,01	0,01	0,10	0,00	0,01	0,01
Out	45,48	3,66	0,00	0,01	0,02	0,06	0,01	0,01	0,01
Nov	90,43	10,61	0,00	0,01	0,14	0,05	0,02	0,02	0,01
Dez	152,10	14,75	0,00	0,02	0,17	0,03	0,03	0,03	0,03

O mesmo cenário de 10 anos de rodadas do modelo foi simulado para a bacia do Ribeirão Jacutinga, os resultados são apresentados nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14: Resultados Cenário 2 Bacia do Ribeirão Jacutinga.

Bacia Ribeirão Jacutinga Cenário 2									
UNIT	PERCO				TILE				
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	359,07	149,13	53,38	35,25	82,83	0,00	140,10	59,65	121,79
Fev	201,13	73,32	31,58	47,21	50,83	0,00	134,66	52,84	121,83
Mar	165,55	63,97	22,44	54,49	33,66	0,00	125,20	55,72	129,65
Abr	71,65	20,15	9,38	40,14	13,11	0,00	111,40	43,26	104,47
Mai	48,23	7,37	6,49	21,99	5,78	0,00	104,50	35,35	95,56
Jun	17,16	0,61	1,90	8,08	1,43	0,00	98,65	19,28	79,38
Jul	35,84	10,22	4,23	2,24	3,46	0,00	100,24	16,26	95,92
Ago	32,48	8,15	4,18	2,26	4,31	0,00	95,32	20,80	125,57
Set	47,48	6,18	5,51	2,66	3,60	0,00	95,08	32,24	134,80
Out	94,19	13,82	11,82	3,15	8,63	0,00	103,31	51,31	148,69
Nov	154,97	43,07	20,12	5,67	19,42	0,00	117,01	58,15	142,33
Dez	236,99	80,40	33,53	14,41	45,37	0,00	127,18	66,78	145,36

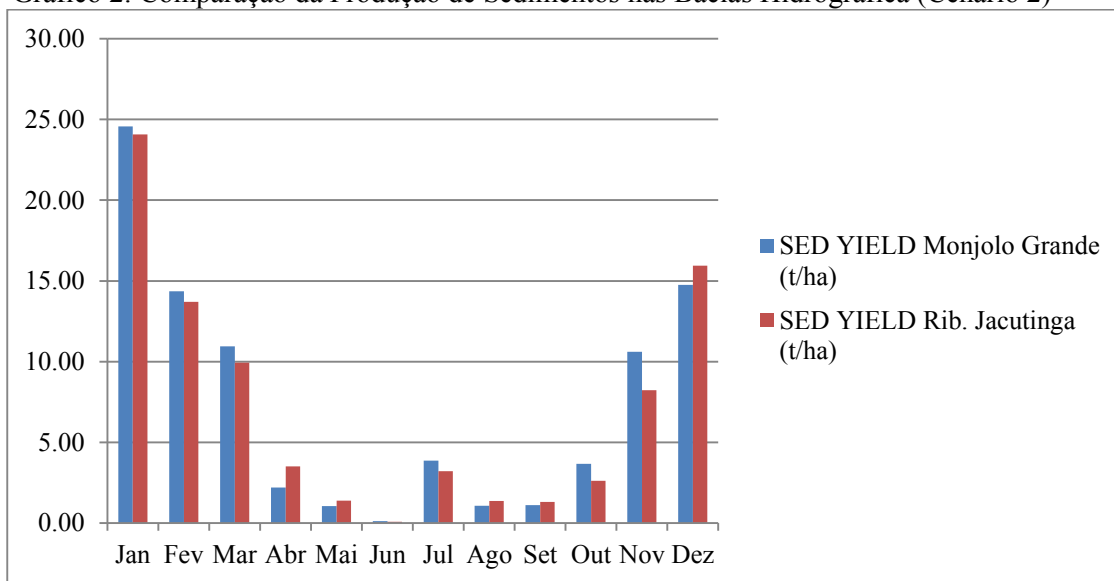
Tabela 15: Resultados Cenário 2 Ribeirão Jacutinga.

Bacia Ribeirão Jacutinga Cenário 2									
	WATER	SED	NO3	NO3	NO3	NO3	N	P	P
	YIELD	YIELD	SURQ	LATQ	PERC	CROP	ORG	SOLUBLE	ORG
	(mm)	(mm)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Jan	238,85	24,07	0,03	0,02	0,09	0,00	0,08	0,07	0,09
Fev	153,56	13,71	0,07	0,02	0,11	0,14	0,04	0,04	0,05
Mar	142,92	9,94	0,14	0,03	0,11	3,89	0,02	0,05	0,02
Abr	71,62	3,50	0,01	0,01	0,01	0,80	0,00	0,02	0,00
Mai	37,62	1,39	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
Jun	12,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00
Jul	17,84	3,21	0,00	0,01	0,01	0,52	0,00	0,00	0,00
Ago	15,50	1,37	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00
Set	15,04	1,31	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
Out	29,38	2,61	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Nov	69,37	8,23	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01
Dez	128,90	15,95	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02

De acordo com os dados apresentados, a produção de sedimentos modelada no cenário 2 na bacia do Ribeirão Monjolo Grande atinge seu máximo durante o período

chuvoso com uma produção média de sedimentos para o mês de Janeiro de 24,58 t/ha. A produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Monjolo Grande modelada para o período de 10 anos é mínima no mês de Junho com uma produção de 0,12t/ha. A bacia do Ribeirão Jacutinga também apresenta a maior produção de sedimentos no mês de Janeiro com valor de 24,07 t/ha. A produção de sedimentos é mínima no mês de Junho com uma produção de 0,08 t/ha. O Gráfico 2 apresenta a comparação da variação temporal da produção de sedimentos nas duas bacias hidrográficas.

Gráfico 2: Comparação da Produção de Sedimentos nas Bacias Hidrográfica (Cenário 2)



No cenário 2, compreendendo o período de 10 anos, observação que a média da produção de sedimentos é maior na bacia do Ribeirão Monjolo Grande durante a maior parte do ano com exceção dos meses de Abril, Maio, Agosto e Setembro, quando observa-se uma produção de sedimentos ligeiramente superior na bacia do Ribeirão Jacutinga. Os resultados permitem concluir que os processos erosivos atuam com maior intensidade na bacia do Ribeirão Monjolo Grande dadas as suas características litológicas e pedológicas.

O terceiro e último cenário modelado compreende o período de 1 ano sendo o intervalo de tempo modelado compreendido entre 01 de Janeiro de 2013 e 31 de Dezembro de 2013. A seguir, as tabelas 16 e 17 apresentam os resultados da modelagem:

Tabela 16: Resultados Cenário 3 Bacia do Ribeirão Monjolo Grande

Bacia Monjolo Grande Cenário 3									
UNIT	PERCO				TILE				
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	281,4	113,36	72,88	4,44	28,69	0	130,66	52,27	133,24
Fev	208,5	80,63	47,9	12,46	23,41	0	133,11	53,73	128,95
Mar	202,9	47,5	56,51	19,07	27,56	0	129,31	75,44	121,9
Abr	70,4	6,92	20,83	20,04	9,25	0	90,64	72,49	111,69
Mai	153,7	56,12	32,24	12,65	2,29	0	105,06	42,57	81,36
Jun	43,8	0,5	16,16	3,81	0,67	0	105,25	32,04	65,27
Jul	43,3	4,59	12,76	2,41	2,18	0	104,92	24,35	80,28
Ago	23,5	2,38	4,76	1,04	0,37	0	99,16	21,8	85,17
Set	61,7	11,53	13,5	0,34	1,79	0	98,01	35,49	133,27
Out	174,6	32,38	53,62	3,52	14,63	0	105,43	66,83	157,97
Nov	156,4	33,03	41,13	7,83	12,8	0	108,82	65,81	150,79
Dez	119,6	26,54	20,85	7,02	4,68	0	121,95	48,14	152,77

Tabela 17: Resultados Cenário 3 Bacia do Ribeirão Monjolo Grande

Bacia Monjolo Grande Cenário 3									
UNIT	WATER	SED	NO3	NO3	NO3	NO3	N	P	P
TIME	YIELD	YIELD	SURQ	LATQ	PERC	CROP	ORG	SOLUBLE	ORG
	(mm)	(t/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Jan	190,74	22,81	0,18	3,76	5,12	0	0,21	0,06	0,03
Fev	141,25	27,7	0,03	0,92	4,27	3,18	0,16	0,03	0,02
Mar	123,58	2,44	0	0,35	4,98	25,67	0,01	0,01	0
Abr	48,45	0,03	0	0,08	1,34	0,7	0	0	0
Mai	101,68	0,15	0	0,02	0,01	0,76	0	0,01	0
Jun	21,04	0	0	0,02	0,04	0,53	0	0	0
Jul	20,24	0,01	0	0,04	0,28	0,57	0	0	0
Ago	8,56	0	0	0,01	0,03	0,65	0	0	0
Set	25,66	0,04	0	0,03	0,19	0,71	0	0	0
Out	89,81	0,14	0	0,14	1,38	0,22	0	0,01	0
Nov	82,33	0,36	0	0,07	0,85	0,17	0,01	0,01	0
Dez	54,73	0,56	0	0,02	0,2	0,05	0,01	0,01	0

As tabelas 13 e 14 apresentam os resultados do cenário 3 aplicado a bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga.

Tabela 18: Resultados Cenário 3 Bacia do Ribeirão Jacutinga

Bacia Ribeirão Jacutinga Cenário 3									
UNIT	PERCO				TILE				
TIME	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	LATE	Q	SW	ET	PET
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	281,4	129,44	35,98	6,18	46,24	0	125,97	51,76	116,77
Fev	208,5	89,18	25,55	20,48	38,84	0	130,28	50,07	103,92
Mar	202,9	60,55	30,38	33,26	49,72	0	126,37	66,35	100,85
Abr	70,4	10,49	11,5	37,65	22,7	0	91,4	60,82	96,07
Mai	153,7	62,05	14,32	27,48	4,82	0	123,62	36,4	68,94
Jun	43,8	1,53	9,56	14,33	8,43	0	119,47	32,55	57,93
Jul	43,3	7,03	6,45	10,07	7,22	0	114,97	27,41	77,17
Ago	23,5	3,11	2,49	4,17	0,5	0	107,64	24,82	77,03
Set	61,7	13,12	6,79	0,73	1,98	0	107,34	39,71	112,72
Out	174,6	45,24	26,07	6,29	26,68	0	112,66	71,22	137,45
Nov	156,4	41,7	20,26	13,96	20,94	0	113,8	72,3	130,54
Dez	119,6	30,3	10,18	13,74	6,11	0	130,94	52,31	146,94

Tabela 19: Resultados Cenário 3 Ribeirão Jacutinga

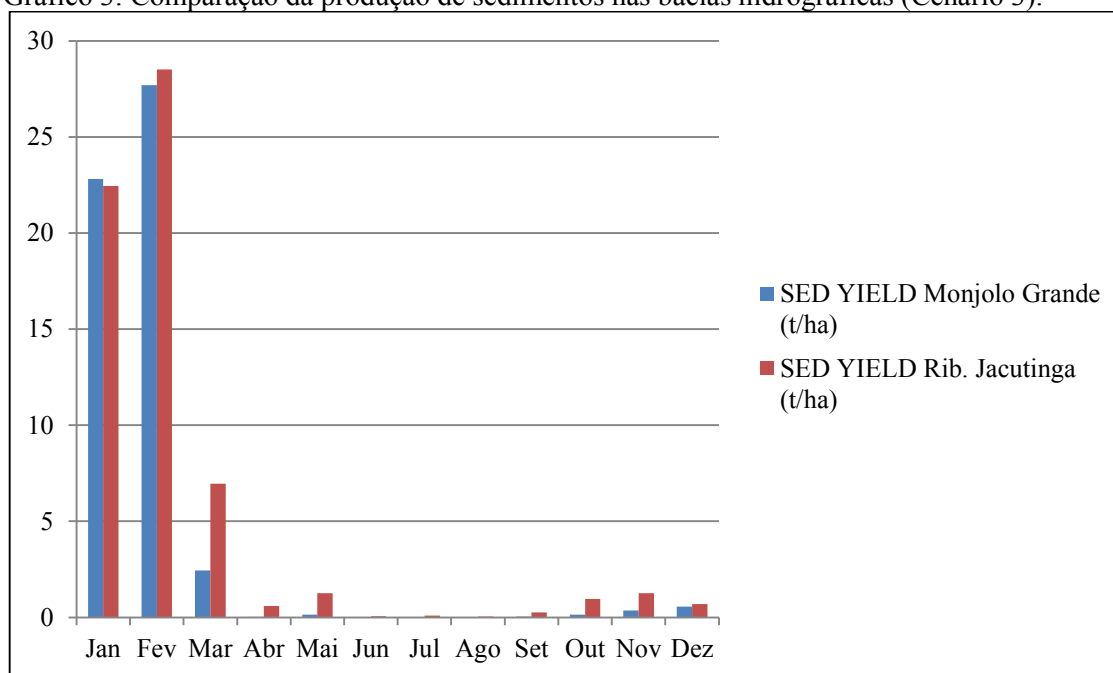
Bacia Ribeirão Jacutinga Cenário 3									
UNIT	WATER	SED	NO3	NO3	NO3	NO3	N	P	P
TIME	YIELD	YIELD	SURQ	LATQ	PERC	CROP	ORG	SOLUBLE	ORG
	(mm)	(mm)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
Jan	171,68	22,45	0,1	1,76	8,58	0	0,21	0,07	0,03
Fev	135,6	28,51	0,01	0,45	4,84	2,36	0,16	0,04	0,02
Mar	125,01	6,95	0,1	0,22	5,32	15,62	0,03	0,02	0
Abr	60,77	0,59	0	0,04	1,34	0,59	0	0	0
Mai	105,06	1,25	0	0,01	0,02	0,53	0,01	0,01	0
Jun	26,5	0,06	0	0,01	0,11	0,49	0	0	0
Jul	24,52	0,1	0,01	0,02	0,22	0,83	0	0	0
Ago	10,58	0,05	0	0	0,02	0,66	0	0	0
Set	21,25	0,26	0	0,01	0,1	0,32	0	0	0
Out	78,18	0,95	0	0,04	0,83	0,15	0,01	0,01	0
Nov	76,56	1,25	0	0,02	0,49	0,12	0,01	0,01	0
Dez	54,51	0,69	0	0,01	0,14	0,03	0,01	0,01	0

De acordo com os dados apresentados, a produção média de sedimentos modelada no cenário 3 na bacia do Ribeirão Monjolo comporta-se de maneira semelhante às aquelas observadas nos cenários anteriores com produção máxima de mês

de Janeiro, correspondente a 22,81 t/ha e mínima nos meses de seca entre Junho e Agosto. A produção média de sedimentos modelada para o mês de Janeiro foi de 22,81 t/ha. Nos meses secos, a produção de sedimentos foi praticamente nula. Na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga, o modelo estimou uma produção de sedimentos de 22,45 t/ha no mês de Janeiro e 0,1 t/ha no mês de Julho.

Comparando a produção de sedimentos modelada no cenário 3 para as bacias hidrográficas, observa-se que a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande é ligeiramente superior à produção de sedimentos modelada na bacia do Ribeirão Jacutinga somente no mês de Janeiro (Gráfico 3). Anualmente a produção média de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga é superior a da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande, os valores correspondem a 5,6 e 4,5 t/ha respectivamente.

Gráfico 3: Comparação da produção de sedimentos nas bacias hidrográficas (Cenário 3).



Os dados modelados no cenário 3 são inconsistentes para conclusões relacionadas à atuação dos processos erosivos dado o curto período de tempo simulado pelo SWAT. Pode-se somente concluir que no período modelado a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga foi superior à modelada na bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo, contrariando o padrão observado nos cenários 1 e 2.

A partir da comparação entre os cenários gerados, conclui-se que o modelo foi coerente quanto à variação sazonal do transporte, de forma que nos meses chuvosos o

transporte de sedimentos apresenta-se substancialmente maior do que nos períodos secos onde a média mensal do transporte de sedimentos chega a zero nos meses de Junho e Agosto para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande e muito próximo de zero no meses de Julho e Agosto. O cenário 1 apresentou coerência quanto a atuação dos processos erosivos nas bacias modeladas, demonstrando que os solos da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande são mais susceptíveis a erosão do que os solos da bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga.

5.5 Considerações finais

É inegável as boas potencialidades do modelo SWAT na simulação dos vários processos que ocorrem nas bacias hidrográficas. No entanto, é necessária uma grande série temporal de dados climáticos e hidrológicos para aumentar a confiabilidade dos resultados gerados.

Com relação aos resultados gerados, a modelagem proposta no cenário 1, modelada para o período de 21 anos, foi a simulação que apresentou os melhores resultados. A simulação do cenário 2, correspondente ao período de 10 anos também foi coerente, apresentando somente algumas inconsistências quando estimava uma maior produção de sedimentos para a bacia do Ribeirão Jacutinga. Por fim, a simulação proposta no cenário 3 foi inconsistente para análises precisas. Neste sentido, conclui-se que o modelo SWAT aplicado as bacias do Ribeirão Monjolo Grande e Jacutinga apresentou melhores resultados para rodadas de modelagens de longos períodos de tempo.

Para melhorar os resultados do modelo em futuras simulações, o primeiro aspecto que se deve considerar é o adensamento da rede de estações meteorológicas de forma que se obtenha uma rede de dados que possa refinar os dados climáticos, principalmente aqueles relacionados ao parâmetro RAINHHMAX, que diz respeito a intensidade máxima de chuva em 30 minutos.

Para fins de validação dos dados modelados, admite-se a necessidade de submetê-los a testes estatísticos de comparação com dados reais medidos em campo. Esta prática tem a finalidade de avaliar o grau de confiabilidade dos dados gerados.

Por fim, admite-se a necessidade de um melhor monitoramento dos eventos extremos de chuva, visto que de acordo com Christofolletti (1981), cerca de 50% do transporte anual de sedimentos ocorrem durante os eventos de chuva extrema.

Finalizando essas considerações, reconhece-se uma maior necessidade de exploração das ferramentas de análise modelo, uma vez que neste trabalho foi dada ênfase para análise da produção de sedimentos. Uma análise ambiental mais precisa seria obtida através da exploração do modelo em totalidade, preenchendo lacunas através da análise da produção de Nitrogênio, Fósforo e Potássio e a complementação com dados de modelagem da qualidade e disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas nas bacias hidrográficas.

6. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim IGC**, São Paulo, n. 41, p. 169-263, 1964.

ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e gestão de bacias hidrográficas**: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica. 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

ARNOLD, J.G. WILLIAMS, J.R.; MAIDMENT, D.R. Continuous-time water and sediment routing models for large basins. **Hydrological Engineering**, Knoxville, v.121(2), p.171-183, 1995.

BALDISSERA, C. G. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para bacia hidrográfica do rio Cuiabá (MT)**. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 2005.

BALTOKISKI, V.; TAVARES, M. H. F.; MACHADO, R. E.; OLIVEIRA, M. P. Calibração de modelo para simulação de vazão e de fósforo total nas sub bacias dos rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34: 253-261, 2010.

BARTH, F.T.; POMPEU, C. T.; FILL, H. D. ; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGRA Jr., B.P.F.; **Modelo de gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: NOBEL, ABRH, 1987. 526p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993. 352 p.

BERTALANFFY, L. F. **Teoria Geral dos Sistemas**. Tradução de Francisco M. Guimarães. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1975. 351 p.

BITTENCOURT, S.; GOBBI, E.F. Carga máxima de fósforo admissível ao reservatório Piracá II, uma aproximação do processo TMDL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 595-606, 2006.

BLAINSKI, E.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L. H. P. Utilização do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para estudos na micro bacia hidrográfica do rio Araranguá (SC). In **Tecnologias para o uso sustentável da água em regadio**. 617 – 626. 1ª ed. Lisboa, Portugal. 2010.

BOUTHIAS, L.; SAUVAGE, S.; SRINIVASAN, R.; LECCIA, O.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M. Application data as a controlling factor of pesticide transfers to surface water during runoff events. Catena, Amsterdam, n. 119, p. 97-103, 2014.

- BROWN, L. C. BARNWELL JR, T.O. **The enhanced water quality models QUALE2E, and QUALE2E-UNCAS**: Documentarion and user manual. Athens: EPA. 184 p.
- CARNEIRO, C.D.R. As esferas terrestres se reciclam. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (Org.). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012, p. 16-23.
- CHAVEZ, H.M.L. Análise Global da sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:345-350, 1991.
- CHORLEY, R.J; KENNEDY, B. **Physical Geography**: A systems approach. Prentice Hall int. Inc., Londres. 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo, Edgard Blucher Ltda. 1981, 188p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. (2 ed), São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1980, 188p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. E. Blücher, São Paulo. 1999, 236p.
- COELHO, A. C. P.; HARDT, L. P. A.; FERNANDES, C. V. S. Agregação a novas variáveis ao processo de planejamento urbano e regional sob a perspectiva da gestão de recursos hídricos. In **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, João Pessoa – PB, 2005.
- CONCEIÇÃO, F. T. **Comportamento Geoquímico de Radionuclídeos e Metais Pesados em Solos na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 2004.
- CUNHA, C. M. L. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1997.
- CORREA, E. A. **Avaliação da cultura de cana-de-açúcar como fator protetor em termos da erosão hídrica do solo e a sua associação com a resposta espectral por meio e diferentes sensores**. Relatório interno. Rio Claro, 2013, 126p.
- DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para o planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. **Documentos IAC**, 29:91- 119.Campinas, 1992.
- FONTES, A. S.; OLIVEIRA, M. Q. C.; MEDEIROS, Y. D. P. Calibração do modelo SWAT em bacias do semi-árido com auxílio da hidrologia isotópica. In **X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Fortaleza – CE, 2010.

- FERNANDES, A. F. **Características Hidrogeoquímicas da Bacia de Drenagem do Rio Sorocaba, SP: Processos Erosivos Mecânicos e Químicos**. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo, 2012.
- GARRIDO, J. M. **Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do rio Jiquiriçá (BA)**. Distrito Federal: Universidade de Brasília, Departamento de Eng. Civil e Ambiental. Dissertação Mestrado, 2003.
- GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN, C.H.; ARNOLD, J. G. The soil and water assessment toll: historical development, applications, and future reserch directions. **Transictions of the ASABE (American Society of Agricultural and Bilogical Engineers)**, St Joseph, v. 50, n. 4, p. 1211-1250, 2007.
- GIBERTONI, R. F.; SANTOS, I.; MULLER, I. I.; PEREIRA, P. S. Modelagem da produção e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas do litoral paranaense. In **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande – MS, 2009.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Org. Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Batista da Cunha. – 9ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 2009, 474p.
- HOLEMAN, J. N. The Sediment Yeld of the Major Rivers of the World. **Water Resources Research**. Londres, v. 4, n. 4, Ago – 1968.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrographical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. America Bullerin**, Washington D. C. v. 56, n. 3, p. 275-370, 1965.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Levantamento sistemático de produção agrícola**, Rio de Janeiro v. 26, n. 1, p. 1-81, junho 2013.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981
- KINISEL, W. G. CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems. **U.S Departament of Agriculture. Conservations Research Report**, n. 26, 1987, 640p.
- KOFFLER, N. F. Carta de declividade da bacia do Rio Corumbataí para análise digital (SIG). **Geografia**, Rio Claro, v. 19, n. 2. p. 167-182, 1994.
- LAFLÉN, J. M.; L. J. LANE; G. R. FOSTER. WEPP: A new generation of erosion prediction technology. **Journal of Soil and Water Conservation**. 46 (1): 34-38. 1991.
- LANDIM, P. M. B. **O grupo Passa Dois (P) na Bacia do rio Corumbataí (SP)**. 1967. 98 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1967.
- LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; LIMA, D. C.; ROCHA, E. O. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 36: 623-634, 2012.

LEONARD, R. A.; KNISEL, W.G.; STILL, D. A. GLEANS: Groundwater loadings effects of agricultural management systems. **Transactions of the ASABE** (American Society of Agricultural and Biological Engineers), St Joseph, v. 30, n. 5, p. 1403-1418, 1987.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1991, 175 p.

LILLESAN, T. M. **Remote sensing and image interpretation**. 2ª ed. New York: 1987, 721p.

LINO, J. F. L.; CORSEUIL, C. W.; KOBIAYAMA, M.; MALUTA, S.; UDA, K.; BORTOLOTO, N. L.; SANTOS, I. Análise da vazão da bacia hidrográfica do rio Preto. In **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande – MS, 2009.

LOWE, W. H. Landscape-Scale Spatial Population Dynamics in Human-Impacted Stream Systems. **Environmental Management**, v. 30, n. 2, p. 225–233, 2002.

LOPES, N. H. Y.; KOBAYAMA, M. Análise do equilíbrio hidrossedimentológico em uma bacia experimental com o modelo SWAT e as características geomorfológicas. In **VII Simposio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino Americano de Geomorfologia**. Belo Horizonte – MG, 2008.

LUBTIZ, E.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Simulação do transporte de sedimentos, nitrogênio e fósforo na bacia do rio Concórdia, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 18, n. 2, pg. 39-54, Abr/Jun – 2013.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação do escoamento em uma micro bacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 8, n. 1, pg. 147-155, Jan/Mar, 2003.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma micro bacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. 27: 727-733, 2003.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para micro bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. 27: 735-741, 2003.

MARCHIOLO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste Fluminense**. Tese Doutorado. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia. Rio de Janeiro, 2008.

MILLOT, R.; GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C. J.; The global control of silicate weathering rates and its coupling with physical erosion: new insights from rivers of Canadian Shield. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 196, n. 1, p. 83-98, 2002.

MINOT, R. T.; SILVA, F. G. B.; ANGELOTTI NETTO, A.; MACHADO, R. E.; TSHUHAKO, E. M.; CESTANA, S. Determinação preliminar do aporte de sedimentos na microbacia do ribeirão Guabiobas (SP). In **VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. ABRH. Vitória – ES, 2004.

MOLDAN, B.; CERNÝ, J. **Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

MORETTI, L. R. **Avaliação da erosão superficial em pequenas bacias hidrográficas rurais**. 128p. (Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2001.

MORGAN, R.C.P. **Soil erosion and conservation**. Inglaterra: Blackwell Publishing, 2005, 298 p.

MORIASI, D. N.; ARNALD, J. G.; VAM LIEW, M. W.; BINGNER, L. R.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. V. 50, n. 3, pg. 855-900, 2007.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. 2005, 100 f. Dissertação Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010, 387p.

OLIVEIRA, M. Q. C.; OLIVEIRA, R. C.; MEDEIROS, Y. D. P. Hydrologic modeling of semi-arid region in Brazil. In **3rd SWAT Conference**. Duebendorf, Switzerland, 2005.

OURSO, R. T.; FRENZEL, S. A. Identification of linear and threshold responses in streams along a gradient of urbanization in Anchorage, Alaska. **Hydrobiologia**, 501: 117–131. 2003.

PENTEADO, M. M. Implicações tectônicas na Gênese das Cuestas da Bacia de Rio Claro. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v.8, n15, p.19-41, 1968.

PENTEADO, M.M. 1976. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista**. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Série Teses e Monografias 22, 86 p.

PEREIRA, L.H. **Caracterização da erosão hídrica laminar do solo em bacia hidrográfica com base na malha fundiária, por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem**. 2010. 217f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP), 2010.

PERINOTTO, J.A. & LINO, I.C. **Geologia, recursos minerais e passivos ambientais**. In: Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí, Centro de Análise e Planejamento

Ambiental (CEAPLA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. Disponível em: <http://ceapla2.rc.unesp.br/atlas/geologia.php>. Acesso em: 22 Jul. 2014.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão de solos**: contribuição metodológica. 1991. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

PINTO, S.A.F. KOHLER, H.C.; AQUINO, L.H.M. de; PELLEGRIN, L.A.; BORTOLOZZI, A. Caracterização de indicadores da erosão do solo na bacia do rio Pará (MG). In: **10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**, Ouro Preto, 25 a 28 de agosto de 2002. Belo Horizonte, Anais do 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002.

PRADO, H.; OLIVEIRA, J.B e ALMEIDA, C.L.A. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. Escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônomo, 1981.

PRESS, P.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RITTER, D. F.; KOCHER, C. R.; MILLER, J. R. **Process Geomorphology**. 5 ed. Long Grove: Waveland Press, inc, 2011.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R; WEESIES, G.A; PORTER, J.P. Revised Universal soil loss equation. **Journaul of soil and water Conservation**, 46, n3, p.30-33, 1991.

RODRIGUES, D. F.; REIS, R. S. Aplicação do modelo SWAT na estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Curupi (AL). In **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, São Paulo – SP, 2007.

ROLOF, G.; BLEY JR, C.; SOUZA, M. L. P. Modelo SWAT: Potencial de uso como auxiliar na gestão de pequenas bacias hidrográficas sem dados históricos. In **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo – SP, 2007.

RONALTON, E. M. **Simulação de escoamento e produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 152 f. Tese Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SAMARAS, A. G.; KOUTUTAS, C. G. The impact of watershed managementon coastal morphology: A case study using na integrated approach na numerical modeling. Geomorphology, Amsterdam, n. 211, p. 52-63, 2014.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGUAI, M. R. V. B.; BUBA, O.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F.; **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza, 2001. 372p.

SANTOS, M; O.; SCUDELARI, A. C.; CUNHA, C. L. N.; RIGUETTO, A. M. Avaliação do aporte de sedimentos para o rio Potengui, RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 149-163, 2013.

SANTOS, I. ANDRIOLO, V. M.; GIBERTONI, R. C.; KOBIYAMA, M.; Use of SWAT model to evaluate the impacto of diferent use land scenarios on discharge and sediments transport in Apucarinha River watershed soutuern Brazil. In: SIMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMISSION ON CONTINENTAL EROSION – SEDIMENT DINAMIC FOR A CHANGING FUTURE, 1. Warsaw, Poland, 2010.

SAXTON, K. E.; RAWALS, W.J. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. **Soil Science Society of Agronomy Journal** v. 70, n.5, p.1569-1578, 2006

SCHOBENHAUS, C. **Geologia do Brasil**. Brasília, DNPM, 1984, p 501.

SCHULTZ, G. B.; SOUZA, R. M.; SANTOS, I. Simulação da produção e transporte de sedimentos na bacia do Altíssimo rio Negro com o modelo SWAT. In **IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. Brasília – DF, 2010.

SILVA, V.C. **Estimativa da erosão atual, erosão potencial e do aporte de sedimentos na bacia do Rio Paracatu – MG/GO/DF**. Tese de Doutorado, Brasília, Instituto de Geociências, UnB. Brasília, 2001.

STALLARD R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon: 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 88, n. 14, p. 9671-9688, 1983.

SOUZA, M. O. L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia** - Centro do Estado de São Paulo. 2002, 206 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

SOUZA, A. M. L.; CASTRO, N. M. R.; CASTRO, N. M. R.; KALFMANN, V.; VITORINO, M. I. Estimativa dos fluxos de calor a partir da imagens orbitais para aplicação na modelagem hidrologia. In. **XVI Congresso Brasileiro de meteorologia**. Belém – PA, 2010.

SPATTI JR, E. **Avaliação ambiental, caracterização da qualidade da água e transporte de sedimentos da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande (SP)**. 2011. 84 p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

TAIKAN, O.; KANAE, S. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. **Science**, New York, v. 313, p. 1068-1072, 2008.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2ª Edição. São Paulo: Cia. Ed. Nacional, 2009 623p.

TRINDADE, P. B. C. B.; COUTINHO, L. N. F.; CAIADO, M. A. C.; HEATWOLE, C. D. Evaluation of nutrient modeling by SWAT under tropical conditions. In **21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings**. EARTH University, Costa Rica, 2010.

TUCCI, C. M. I. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 4: Editora da Universidade/Edusp/ABRH, Porto Alegre, 2001, 943p.

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

VEIGA FILHO, A. A.; SOUZA, M. V. M.; MARTINB, N. B.; YANAGUISH, C. T.; MATSUNAGA, M. Análise de investimentos em adoção de tecnologias e conservação do solo no estado de São Paulo. **Agricultura em São Paulo**, SP, 39 (1):133-154, 1992.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica em Geografia. **Geografia**. Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, Set – Dez 2003.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, Nova Yorque, v. 313, p. 1068-1072, Ago 2006.

WALSH, C. J. Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. **Hydrobiologia**, 431: 107–114. 2000.

WEIJDEN, H. V.; PACHECO, F. A. L. Hydrogeochemistry in the Vouga River basin (central Portugal): Pollution and chemical weathering. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 580-613, 2006.

WILLIAMS, J. R.; JONES, C. A.; DYKE, P. T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. **Transactions of the ASABE** (American of Society of Agricultural and Biological Engineers), St Joseph, v. 27, n. 1, p. 129-177, 1984.

WILLIAMS, J.R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: **Present and perspective technology for predicting sediment yields and sources**. US Dept of Agriculture Publ. ARS-540, p. 244-252, 1975.

WINCHEL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. **ArcSWAT Interface for SWAT2012**. Temple: Blackland Research and Extension Center Texas Agrilife, 2013, 459 f.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook n.537. Washington: US Department of Agriculture, 1978.

XAVIER, F. V. **Contribuições metodológicas ao estudo da produção e distribuição espacial de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Manso utilizando o modelo AVSWAT**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Cuiabá – MS, 2009.