

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS AO ESTUDO  
DA PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE  
SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MANSO UTILIZANDO O MODELO AVSWAT**

**FERNANDA VIEIRA XAVIER**

**PROF.DR. ALEXANDRE SILVEIRA**

Orientador

**PROF.DR. FERNANDO DAS GRAÇAS BRAGA DA SILVA**

Co-orientador

Cuiabá, MT, Julho de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS AO ESTUDO  
DA PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE  
SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MANSO UTILIZANDO O MODELO AVSWAT**

**FERNANDA VIEIRA XAVIER**

*Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Física Ambiental da  
Universidade Federal de Mato Grosso, como  
parte dos requisitos para a obtenção do título  
de Mestre em Física Ambiental.*

**PROF.DR. ALEXANDRE SILVEIRA**

Orientador

**PROF.DR. FERNANDO DAS GRAÇAS BRAGA DA SILVA**

Co-orientador

Cuiabá, MT, Julho de 2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

Xavier, Fernanda Vieira

XXXC **Contribuições Metodológicas ao Estudo da Produção e Distribuição Espacial de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do rio Manso, Utilizando o Modelo AVSWAT. /** Fernanda Vieira Xavier. -- Cuiabá, MT, 2009 / Instituto de Ciências Exatas e da Terra.

Viii, 140 f. :il ; 29cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2009

Orientador: Alexandre Silveira

Bibliografia: p 145-153

1. Sedimentos, 2. Erosão 3. Hidrossedimentologia, I. Título, II, Cuiabá - Instituto de Ciências Exatas e da Terra.

CDUxxxxx

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS AO ESTUDO DA  
PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE SEDIMENTOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO MANSO UTILIZANDO O MODELO AVSWAT**

**AUTORA: FERNANDA VIEIRA XAVIER**

Dissertação defendida e aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009, pela  
comissão julgadora;

---

Prof.Dr Alexandre Silveira  
Departamento de Engenharia Sanitária – DESA/UFMT

---

Prof.Dr. Peter Zeilhofer  
Departamento de Geografia – ICHS/UFMT  
Examinador interno

---

Prof. Dr.Fernando Ximenes de Tavares Salomão  
Departamento de Geologia – ICET/UFMT  
Examinador externo

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico este trabalho aos meus pais Jorge e Sãozinha, meus maiores incentivadores, pelo amor e sacrifícios concedidos, aos meus irmãos Felipe e Flávia pela confiança e torcida e em memória, à minha avó, dona Nega e vovô Vicente, que sempre acreditaram em mim.**

*“Hay hombres que luchan un día y son buenos.  
Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay  
quienes que luchan muchos años y son mui  
buenos. Pero hay los que luchan toda la vida,  
Esse son los imprescindibles”*

(Bertolt Brecht)

## AGRADECIMENTOS

- Ao Prof.Dr. Alexandre Silveira, pela sábia orientação, pelo apoio, incentivo e amizade, e por acreditar que eu seria capaz de realizar este trabalho;
- Ao Prof.Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, pela grande ajuda, tempo e disposição concedidos, na resolução de dúvidas pertinente ao trabalho;
- Ao Prof.Dr. José de Souza Nogueira, o “Paraná”, pelo belo trabalho realizado frente ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental;
- À Prof.Dr. Marta pelos ensinamentos em metodologia de pesquisa e pelo trabalho desenvolvido junto ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental;
- Ao Prof.Dr. Peter Zeilhofer, pelo esclarecimento de dúvidas e pela concessão dos dados, sem os quais este trabalho não seria possível;
- À Gisele Cristina Baldissera, pelos esclarecimentos de duvidas, e por ter permitido a utilização dos seus dados;
- Aos Professores Doutores José Holanda Campelo Júnior, Francisco de Almeida Lobo, Carlo Ralph De Musis e Shozo Shiraiwa, pelos conceitos e teorias ensinados com tanta dedicação, na qual eu me inspiro;
- Aos colegas do mestrado, pelas trocas de experiências, pelas pesquisas desenvolvidas e companheirismo;
- Aos funcionários Soilce e Cesário pelos favores concedidos e momentos de descontração no “cafezinho”;
- Aos amigos que fiz em Cuiabá e que sempre levarei comigo, Bernardo, Fernando, Nara, Durval, Breno, Tayná, Miquéias, Saulo (Queijinho), Pedro e Leandro (Oleleô) pelos momentos de alegrias e confidências;
- Aos amigos de república, pelo aprendizado e ao Billy Marley pela companhia;
- Aos amigos de Viçosa que estão comigo há muito tempo e sempre me apoiaram nesta conquista, pelo apoio, companheirismo, amor e carinho, em especial Karoley, e Tiago;
- Ao meu tio Edmar, que me amparou na chegada em Cuiabá;

- Às cidades de Cuiabá e Chapada dos Guimarães pela acolhida;
- À minha família pelo apoio e amor incondicional;
- À CAPES, pelo apoio financeiro;
- A todas as pessoas que mencionei e àquelas que não mencionei, que contribuíram direta e indiretamente no desenvolvimento desse trabalho, meus sinceros agradecimentos!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABELA</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
2.2 CICLO HIDROLÓGICO	6
2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS	7
2.4 RESERVATÓRIOS	9
2.5 EROSÃO	11
2.6 PROCESSOS EROSIVOS	16
2.6.1 EROSÃO EM LENÇOL	18
2.6.2 EROSÃO LINEAR	18
2.6.2.1 Erosão em ravinas	18
2.6.2.2 Erosão em Voçorocas	19
2.7 PRODUÇÃO, TRANSPORTE E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS	19
2.8 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG's	23
2.9 MODELOS HIDROLÓGICOS	26
2.10 AVSWAT	29
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>34</b>
3.1.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL AMBIENTAL	36

3.1.2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO	37
-------	---------------------------------------	----

---

<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>44</b>
----------	----------------------------	-----------

<b>4.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	<b>44</b>
------------	-------------------------------	-----------

<b>4.2</b>	<b>PROCESSAMENTO DE DADOS ESPACIAIS E TABULARES</b>	<b>44</b>
------------	---	-----------

4.2.1	MODELO NUMÉRICO DE TERRENO – MNT	46
-------	----------------------------------	----

4.2.2	HIDROGRAFIA DA BHRM	47
-------	---------------------	----

4.2.3	MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	48
-------	--------------------------------	----

4.2.4	MAPA PEDOLÓGICO	48
-------	-----------------	----

4.2.5	UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA – HRU'S	49
-------	--	----

4.2.6	DADOS TABULARES	50
-------	-----------------	----

4.2.6.1	Parâmetros Climáticos	50
---------	-----------------------	----

4.2.6.2	Parâmetros Diários para a Simulação no Modelo SWAT	54
---------	--	----

4.2.6.3	Parâmetros de Solo	55
---------	--------------------	----

4.2.6.4	Parâmetros do Reservatório	67
---------	----------------------------	----

4.2.6.5	Parâmetros de Uso	68
---------	-------------------	----

4.2.7	SIMULAÇÕES	70
-------	------------	----

4.2.8	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	71
-------	-----------------------	----

<b>4.3</b>	<b>ESTIMATIVA DA SUSCETIBILIDADE A EROÇÃO</b>	<b>72</b>
------------	---	-----------

---

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>78</b>
----------	-------------------------------	-----------

<b>5.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	<b>78</b>
------------	-------------------------------	-----------

<b>5.2</b>	<b>DADOS DE ENTRADA - PI'S – PLANOS DE INFORMAÇÃO</b>	<b>78</b>
------------	---	-----------

5.2.1	HIDROGRAFIA	79
-------	-------------	----

5.2.2	SUBDIVISÕES DA BACIA	79
-------	----------------------	----

5.2.3	MODELO NUMÉRICO DE TERRENO - MNT	82
-------	----------------------------------	----

5.2.4	DECLIVIDADE	85
-------	-------------	----

5.2.5	SOLOS	88
-------	-------	----

5.2.5.1	Banco de Dados de Solos	90
---------	-------------------------	----

5.2.6	USO E OCUPAÇÃO	92
-------	----------------	----

5.2.7	DADOS TABULARES – PARÂMETROS CLIMÁTICOS	96
-------	---	----

<b>5.3</b>	<b>SIMULAÇÕES DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS</b>	<b>98</b>
------------	---	-----------

5.3.1	RESULTADOS GERADOS PELO MODELO AVSWAT	98
5.3.2	SUBDIVISÕES DA BACIA	98
5.3.3	SIMULAÇÃO PARA 24 SUB-BACIAS	100
5.3.3.1	Simulação do escoamento superficial	100
5.3.3.2	Distribuição espacial da produção de sedimentos	102
5.3.4	SIMULAÇÃO PARA 42 SUB-BACIAS	106
5.3.4.1	Simulação do Escoamento Superficial	106
5.3.4.2	Distribuição espacial da produção de sedimentos	107
<b>5.4</b>	<b>SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS</b>	<b>110</b>
<b>5.5</b>	<b>ANÁLISE DO POTENCIAL À EROSÃO LAMINAR NA BHRM</b>	<b>119</b>
<b>5.6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>124</b>
5.6.1	AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO AVSWAT NA ÁREA DE ESTUDO	125
<b>6</b>	<b><u>CONCLUSÕES</u></b>	<b>128</b>
<b>7</b>	<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b>130</b>
	<b><u>ANEXO A</u></b>	<b>139</b>
	<b><u>APÊNDICE I</u></b>	<b>142</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ciclo Hidrológico.....	7
FIGURA 2: Localização da Área de Estudo.....	35
FIGURA 3: Processo de funcionamento do AVSWAT.....	46
FIGURA 4: Janela de entrada de dados climáticos do AVSWAT.....	54
FIGURA 5: Janela de entrada de dados meteorológicos diários no AVSWAT .....	55
FIGURA 6: Triângulo de classificação textural .....	65
FIGURA 7: Janela de entrada de dados de classes de solos .....	67
FIGURA 8: Janela de entrada de dados referentes ao reservatório. ....	68
FIGURA 9: Janela de escolha dos usos dos solos. ....	69
FIGURA 10: Etapas do procedimento metodológico para a definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar.....	73
FIGURA 11: Cruzamento matricial para elaboração do mapa final de potencial à erosão laminar .....	76
FIGURA 12: Hidrografia da área de estudo e o reservatório APM Manso.....	79
FIGURA 13: Principais sub-bacias e subunidades da BHRM.....	81
FIGURA 14: Altimetria mínima e máxima para as subunidades de estudo .....	82
FIGURA 15: Modelo Numérico de Terreno - MNT.....	83
FIGURA 16: Perfil topográfico longitudinal do rio Manso.....	85
FIGURA 17: Gráfico dos valores máximos e médios das classes de declividade da BHRM.....	86
FIGURA 18: Classes de declividade da BHRM. ....	87
FIGURA 19: Tipos de solos e respectivas porcentagens em relação às áreas das subunidades.....	89
FIGURA 20: Classes de solo na BHRM.....	91
FIGURA 21: Classes de uso e ocupação solo para a BHRM, cenário reservatório (2000). ....	95
FIGURA 22: Postos pluviométricos e estações meteorológicas utilizadas para a simulação .....	96
FIGURA 23: Distribuição espacial do escoamento superficial na BHRM.....	101

FIGURA 24: Resultados dos valores simulados de percolação e escoamento superficial para o uso atual da BHRM. ....	102
FIGURA 25: Distribuição espacial anual da produção de sedimentos para a BHRM. ....	103
FIGURA 26: Distribuição espacial do escoamento superficial na BHRM.....	106
FIGURA 27: Resultados dos valores simulados de percolação e escoamento superficial para o uso atual da BHRM. ....	107
FIGURA 28: Distribuição espacial anual da produção de sedimentos para a BHRM. ....	108
FIGURA 29: Totais da produção de sedimentos entre as duas simulações.....	109
Figura 30: Totais da produção de sedimentos das subunidades de estudo para as duas subdivisões. ....	110
FIGURA 31: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o.....	112
Cenário 1. ....	112
FIGURA 32: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o.....	113
Cenário 2. ....	113
FIGURA 33: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o.....	114
Cenário 3. ....	114
FIGURA 34: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o.....	115
Cenário 4. ....	115
FIGURA 35: Valores totais da produção de sedimentos (ton/ha/ano), referente ao ano de 1994, relacionados aos cenários simulados pelo AVSWAT para a BHRM. ....	115
FIGURA 36: Distribuição espacial da produção de sedimentos para os quatro cenários simulados. ....	118
FIGURA 37: Variação da produção de sedimentos das sub-bacias para todos os cenários ....	118
FIGURA 38: Mapa final de potencial à erosão laminar para a BHRM. ....	123

## LISTA DE TABELA

TABELA 1: Velocidade terminal de gotas de chuva de vários diâmetros .....	15
TABELA 2: Relevo em função das classes de declividade .....	47
TABELA 3: Localização das estações meteorológicas .....	51
TABELA 4: Localização das estações pluviométricas .....	52
TABELA 5: Índices de erodibilidade para alguns solos do estado de São Paulo.....	61
TABELA 6: Índices de erodibilidade para alguns solos da cidade de São Carlos, SP. .....	62
TABELA 7: Classificação granulométrica do solo.....	63
TABELA 8: Densidade aparente do solo.....	64
TABELA 9: Classes de erodibilidade – importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos. ....	73
TABELA 10: Classes de declividade - importância das classes de declividade nos processos erosivos.....	74
TABELA 11: Classes hipsométricas em função das áreas da BHRM.....	84
TABELA 12: Áreas correspondentes às classes de declividade na BHRM .....	86
TABELA 13: Classes de solos na BHRM .....	88
TABELA 14: Tipos de solos e respectivas porcentagens em relação às áreas das subunidades.....	89
TABELA 15: Área das classes de uso do solo para a bhrm.....	92
TABELA 16: área das classes de uso do solo das subunidades e respectivas porcentagens.....	94
TABELA 17: Parâmetros climáticos de entrada exigidos pelo modelo .....	97
TABELA 18: Classificação do grau de erosão hídrica .....	104
TABELA 19: Uso do solo para simulação de cenários alternativos.....	111
TABELA 20: Classes de solos encontradas na BHRM com os respectivos graus de erodibilidade.....	119
TABELA 21: Critério adotado na definição das classes preliminares de susceptibilidade à erosão laminar.....	120

TABELA 22: Classes de uso e ocupação do solo encontradas na BHRM com os respectivos graus de ação erosiva .....	121
TABELA 23: Matriz de definição das classes de potencial à erosão laminar .....	122

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1:Referências de trabalhos anteriormente realizados utilizando o AVSWAT.....	33
QUADRO 2: Grupos hidrológicos.....	56
QUADRO 3: Enquadramento dos tipos de solos aos grupos hidrológicos.....	58
QUADRO 4: Descrição dos parâmetros de solos exigidos pelo modelo avswat.....	59
QUADRO 5: Adaptação dos usos do solo da BHRM .....	69
QUADRO 6: Classes de uso do solo e os respectivos graus de suscetibilidade .....	76

## RESUMO

XAVIER, F. V. *Contribuição metodológica ao estudo da produção e distribuição espacial de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Manso, utilizando o modelo AVSWAT*. Cuiabá, 2009. 167p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

Para auxiliar no gerenciamento de bacias hidrográficas, modelos hidrológicos e de qualidade da água vem sendo desenvolvidos para prever o impacto da agricultura e do uso e ocupação do solo na qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas. É nesse contexto que os sistemas de informações geográficas (SIG's) são empregados na criação do banco de dados como ferramentas para esses modelos. A fim de realizar um estudo da produção e distribuição de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Manso, é que se utilizou o modelo AVSWAT – *Soil and Water Assessment Tool*, que integrado com os SIG's, permitiu maior flexibilidade desses sistemas aplicados ao modelo. O modelo SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base em um Modelo Numérico de Terreno. Posteriormente, o processo de modelagem, exige dados extraídos de planos de informação de solos e uso da terra, e dados climatológicos e de precipitação. Foram feitas simulações para divisões de 24 e 42 sub-bacias e simulações de quatro cenários hipotéticos: solo exposto, agricultura, pastagem e vegetação nativa e a seguinte comparação destes cenários com o cenário atual da bacia. O cenário atual foi baseado na área de estudo anteriormente à construção da barragem de manso e foi utilizada a sobreposição dos dados do reservatório, a fim de simular o aporte de sedimentos no reservatório. O modelo SWAT demonstrou aplicabilidade satisfatória para os resultados obtidos, porém, dificuldades foram encontradas, devido à falta de dados pedológicos constituindo um limite nas simulações.

**Palavras-chave:** simulação, sedimentos, Sistemas de Informação Geográfica.

## ABSTRACT

XAVIER, F. V. *Methodological contribution to the study of production and distribution of sediments in the Manso River Watershed, using the model AVSWAT* - . Cuiabá, 2009. 167p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

To assist in the management of watersheds, hydrological models and water quality has been developed to predict the impact of agriculture and the use and occupancy of the ground in quality and quantity of surface and groundwater. It is in this context that the Geographic Information Systems (GIS) are used in the creation of database and tools for these models. In order to conduct a study of production and distribution of sediments in the basin of the Manso River, which is used a model - AVSWAT - Soil and Water Assessment Tool, which integrated with GIS, allows greater flexibility of these systems applied to the model. The SWAT model considers the basin divided into sub-basins based on a numerical model of Land. Subsequently, the process of modeling requires data from plans for land information and land use and climatic data and precipitation. Simulations were made for 24 rooms and 42 sub-basins and simulations of four hypothetical scenarios: exposed soil, agriculture, pasture and native vegetation and the following comparison of these scenarios with the current scenario of the basin. The current scenario was based on the study area before the construction of the dam was used to calm and the overlap of data from the reservoir to simulate the input of sediment in the reservoir. The SWAT model has good applicability for the results, however, difficulties were encountered due to lack of soil data is a limit in simulations.

**Key-words:** Simulation, Sediments, GIS

## 1 INTRODUÇÃO

Na natureza, a manutenção dos recursos hídricos, no que diz respeito ao regime de vazão dos cursos d'água e da qualidade de água, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem. Um destes mecanismos é a relação que existe entre a cobertura vegetal e a água, especialmente nas cabeceiras dos rios onde estão suas nascentes. Esta condição natural de equilíbrio dinâmico vem sendo constantemente alterada pelo homem através do desmatamento, expansão da agricultura, abertura de estradas, urbanização e vários outros processos de transformação antrópica da paisagem, que alteram os ciclos biogeoquímicos e o ciclo da água. Levando em conta as projeções de crescimento da população mundial, não há dúvida de que os impactos ambientais destas transformações começam a ameaçar a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Em meio aos cenários de desenvolvimento da agricultura, de avanços da fronteira agrícola e da necessidade do aumento da produção, tem-se um considerável aumento dos processos erosivos. Esse considerável aumento dos processos erosivos é indício do declínio da fertilidade do solo e de graves conseqüências, ou destruição, de áreas que eram anteriormente férteis.

O aumento da produção agrícola foi significativo nas décadas de 1980 e 1990 em áreas de Cerrado, devido à disponibilidade de tecnologias até então inexistentes. O potencial produtivo, indicando a continuidade do crescimento agrícola e pecuário, também é muito grande e promissor até o presente momento.

Porém, há uma conscientização sobre problemas ambientais oriundos da exploração indiscriminada dos cerrados, e devido a isso, é cada vez maior a demanda de informações sobre os solos dos cerrados e o impacto da incorporação de grandes áreas dessa região em sistemas agrícolas intensivos.

Mas ao mesmo tempo em que se vislumbra esse crescimento, não se pode esquecer a questão ambiental. O fato é que a proteção ambiental apresenta também

seu aspecto econômico e que os principais agentes econômicos do agroturismo são os produtores rurais, que têm diversificado suas atividades, como importante fonte de renda.

De um lado existem as preocupações pela busca de soluções sustentáveis para os atuais padrões produtivos, todavia, existem inúmeras pressões, demandas e interesses frente aos novos contingentes populacionais mundiais, à salubridade alimentar e ao crescimento baseado na agricultura.

Esses avanços não se devem unicamente ao crescimento populacional, mas principalmente aos interesses econômicos e à resposta da população às oportunidades econômicas medidas por fatores institucionais. Dessa forma, a força global é a principal determinante das alterações no uso do solo.

Dentre as principais alterações no uso do solo, a erosão é, provavelmente, a forma mais grave de degradação da paisagem ao redor do globo. As atividades antrópicas têm acelerado esses processos de maneira intensa.

Um dos impactos diretos da aceleração dos processos erosivos é o aumento da produção de sedimentos, que, ao atingirem corpos aquáticos, os sedimentos provenientes principalmente de áreas agrícolas, podem ocasionar o assoreamento desses sistemas. Tendo em vista que o Brasil possui um grande número de reservatórios artificiais para os diversos usos, inclusive geração de energia elétrica, as cargas de sedimentos podem diminuir o tempo de vida útil das barragens.

Os sedimentos são, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes.

A realização de estudos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas é oriunda da necessidade de compreender os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso do solo sobre a quantidade e qualidade da água.

A importância de se adotar a bacia hidrográfica como unidade territorial está ligada ao fato de que suas características estão intimamente relacionadas com a produção de água. A área de uma bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida. A forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime desta produção de água, assim como sobre a taxa de sedimentação. O padrão

de drenagem, por sua vez, afeta a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. Durante muito tempo, os estudos hidrológicos eram basicamente avaliações de apenas dois componentes do ciclo hidrológico: a precipitação e o deflúvio. A precipitação representava a entrada e o deflúvio representava a saída do sistema, sendo a evaporação e armazenamento quase sempre desconsiderados na análise. Entretanto, a compreensão do conjunto de processos físicos que ocorrem na bacia é imprescindível para interpretação dos resultados obtidos, suas limitações e sua aplicabilidade a outras regiões (MCCULLOCH & ROBINSON, 1993).

Para auxiliar no gerenciamento de bacias hidrográficas, modelos hidrológicos e de qualidade da água vem sendo desenvolvidos para prever o impacto da agricultura e do uso e ocupação do solo na qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas. Infelizmente é muito dispendioso e impraticável monitorar a erosão em toda a bacia hidrográfica, portanto é necessário prever a erosão com o uso de modelagem. É nesse contexto que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são empregados na criação do banco de dados como ferramentas para esses modelos, pois são destinados à aquisição e ao tratamento de dados georreferenciados (referenciados espacialmente).

Dessa forma há uma crescente necessidade de utilização de ferramentas globalmente aplicáveis, que indiquem e identifiquem uma bacia hidrográfica, juntamente com suas subunidades, e as co-relacionem com seus parâmetros hidrológicos de uma forma conjunta.

A busca dessas ferramentas, que contribuam com a melhoria da interpretação de informações referentes aos diversos usos da terra e suas conseqüências para os corpos aquáticos inseridos na bacia hidrográfica é uma tarefa extremamente importante tendo em vista que a qualidade do solo e da água sempre afetou a civilização humana.

Dentre os muitos modelos que tentam exprimir a ação dos principais fatores que exercem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica, estão os modelos conceituais distribuídos que simulam os diversos processos no ciclo hidrossedimentológico. Um desses modelos é o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), que permite uma grande flexibilidade na configuração de bacias hidrográficas. A grande limitação desses modelos é a quantidade de dados de entrada

necessários para caracterizar a bacia em estudo e que representam os sistemas naturais.

O planejamento conservacionista desses sistemas é de fundamental importância para a conservação do solo, controle da perda de sedimentos e água, gerando informações importantes para o processo de tomada de decisão no gerenciamento de bacias hidrográficas. O solo e a água estão relacionados, portanto a conservação de ambos deve ser avaliada e conduzida de maneira conjunta.

A degradação ambiental tem se tornado mais evidente e torna-se necessário, cada vez mais, não apenas reverter esse processo, mas também prever danos futuros com base no planejamento e na gestão desses recursos.

Por esta razão, torna-se necessário gerar dados sobre a situação inicial de uma determinada área de estudo, de ambientes pouco estudados ou de onde não existam informações, e quantificar os processos, para que sejam diagnosticadas áreas com maior risco ambiental.

Portanto, esse trabalho apresenta uma primeira aproximação na forma de um estudo da produção e da distribuição espacial de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Manso, pois não existe referência anterior realizada nesta área.

O objetivo geral deste trabalho é: simular e analisar a produção e distribuição espacial de sedimentos na bacia Hidrográfica do Rio Manso (BHRM), Mato Grosso, utilizando o modelo SWAT - *Soil and Water Assessment Tools*, com interface de ArcView (AVSWAT), representando assim, uma contribuição metodológica acerca deste estudo. Os objetivos específicos são:

- Testar a aplicabilidade do modelo para as diferentes subdivisões da bacia;
- Elaborar diferentes cenários ambientais em função dos diferentes usos do solo com a finalidade de estimar a produção de sedimentos;
- Ajustar os dados de entrada adaptando-os à realidade da área de estudo;
- Analisar a suscetibilidade a erosão da bacia;
- Gerar o mapa de potencial à erosão laminar;
- Gerar mapas temáticos de solos, declividade, Modelo Numérico de Terreno, uso e ocupação do solo.

A revisão bibliográfica é apresentada no capítulo 2, demonstrando uma descrição do ciclo hidrológico, conceitos básicos sobre bacias hidrográficas e

alterações provenientes de atividades antrópicas, conceitos básicos sobre os tipos de erosão e o comportamento dos solos. Relata ainda a importância do uso de ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas e o Geoprocessamento no uso de modelos hidrológicos, e uma descrição geral do modelo SWAT interface com o ArcView, selecionados como ferramentas para os estudos a serem realizados.

O capítulo 3 apresenta a caracterização da área de estudo, descreve os aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Manso, a caracterização climatológica e sumária dos solos encontrados na bacia.

Apresenta-se a metodologia, no capítulo 4, utilizada para a obtenção dos parâmetros climatológicos e físicos do solo, e dos planos de informação (PI's), e a metodologia de simulações e de criação de cenários alternativos. Essas informações permitem a aplicação do modelo AVSWAT para avaliar a produção de sedimentos na Bacia do rio Manso.

No capítulo 5, são apresentados os resultados e discussões da aplicação do modelo AVSWAT, utilizado para simular a produção de sedimentos para a bacia e para os variados cenários de uso e ocupação do solo. São apresentados também, os resultados da análise da suscetibilidade, com o mapa final de potencial à erosão laminar. Seguem ainda as considerações finais, sobre a utilização do modelo, suas características e limitações.

O capítulo 6 é dedicado às conclusões da pesquisa realizada.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo visa discorrer sobre as bases científicas do presente trabalho, os temas que embasam a pesquisa realizada dissertando sobre conceitos básicos relacionados às bacias hidrográficas, erosão, produção e transporte de sedimentos e ferramentas como o geoprocessamento, utilizadas para contribuir com a modelagem hidrológica tais como o AVSWAT, modelo utilizado neste estudo.

### **2.2 CICLO HIDROLÓGICO**

A água da Terra, que constitui a hidrosfera, distribui-se por três reservatórios principais: os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação contínua – ciclo da água ou ciclo hidrológico (Figura 1). Este ciclo é responsável pela renovação da água no planeta.

A água é uma substância que existe, em circunstâncias normais, em todos os três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) na natureza. A coexistência destes três estados implica que existam transferências contínuas de água de um estado para outro. Esta sequência fechada de fenômenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera é designado por ciclo hidrológico.

- O ciclo se inicia com a evaporação das águas do mar, rios e lagos. O vapor de água assim formado é transportado para os continentes pelo movimento das massas de ar. Esse vapor existente na atmosfera se deve a evapotranspiração que é o resultado da água que se evapora diretamente dos solos mais o balanço do metabolismo das plantas (respiração e transpiração), no qual liberam vapor de água para a atmosfera. O vapor é resfriado até seu ponto de orvalho, condensa-se em pequenas gotas que formam nuvens ou neblina. Em condições meteorológicas favoráveis as gotículas se avolumam até caírem sobre o solo em forma de precipitação. (LINSLEY & FRANZINI, 1978.)

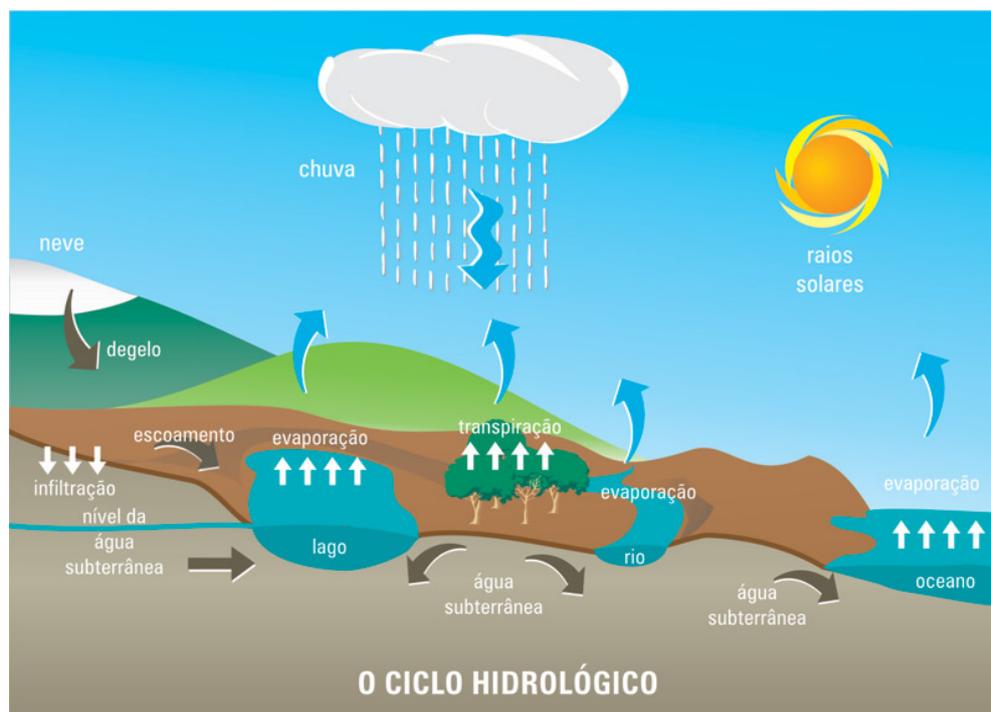


FIGURA 1: Ciclo Hidrológico

Fonte: [http://www.sg-guarani.org/microsite/pages/pt/info\\_aguas.php](http://www.sg-guarani.org/microsite/pages/pt/info_aguas.php)

- Parte desta água penetra nos solos, umedecendo e infiltrando-se na terra. Outra parte escoia sobre a superfície, indo para os rios, lagos ou diretamente para o mar, onde irá reiniciar o processo.
- Parte dessa água que se infiltrou e que não foi sujeita à evapotranspiração, percola até o reservatório das águas subterrâneas. Parte dessa água pode ficar armazenada ou pode deslocar-se, possibilitando o escoamento subterrâneo.
- Tanto o deslocamento subterrâneo como os escoamentos superficiais vão alimentar os rios, lagos e oceanos, dando continuidade ao ciclo.

### 2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS

De acordo com COELHO NETTO, (2001), a bacia hidrográfica, ou a bacia de drenagem representa um sistema hidrogeomorfológico, onde encostas, topos, fundos

de vale, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem urbanos e áreas irrigadas, entre outras unidades espaciais, estão interligados como componentes de bacias de drenagem. É uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial.

TUCCI (2001) afirma que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente.

LINSLEY & FRANZINI, (1978) enfocam a bacia hidrográfica como uma área de drenagem a montante de uma determinada seção no curso de água da qual aquela área é tributária, sendo essa área limitada por um divisor de águas que separa duas bacias adjacentes que pode ser determinado nas cartas topográficas. As águas superficiais originárias de qualquer ponto da área delimitada pelo divisor saem da bacia passando pela seção definida pelo ponto mais baixo do divisor, por onde passa também, forçosamente, o rio principal da bacia. Em geral considera-se que o divisor das águas subterrâneas coincide com o das águas superficiais; entretanto essa coincidência não se verifica em todos os casos, e substancial parcela de água pode se escoar de uma bacia para outra, subterraneamente.

No entanto, o conceito de bacia de drenagem como um sistema hidrogeomorfológico é mais amplo e define a bacia de drenagem como uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial.

A bacia pode-se desenvolver em diferentes tamanhos e podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias de drenagem, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu canal coletor.

Definida desta forma, a bacia de drenagem comporta diferentes escalas, desde uma bacia de porte daquela drenada pelo rio Amazonas, até bacias com poucos metros quadrados que drenam para uma cabeceira de um pequeno canal erosivo. (COELHO NETTO, 2001)

Em função de suas características naturais, bacias hidrográficas têm se tornado importante unidade espacial utilizada para gerenciar atividades de uso e

conservação dos recursos naturais, principalmente nas situações atuais de grande pressão sobre o ambiente em função do crescimento populacional e do desenvolvimento visando lucros imediatistas.

O processo de ocupação humana nas bacias hidrográficas trás em si atividades que implicam na modificação das formas de uso do solo. Para que se consiga uma gestão eficiente dos recursos hídricos, que proporcione uma oferta em custos e qualidade adequados à sociedade, diversos métodos e ferramentas têm sido utilizados e desenvolvidos.

COELHO NETTO (2001), ainda ressalta que alterações significativas na composição ambiental de certa porção da bacia de drenagem poderão afetar outras áreas a jusante, ou seja, os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou antrópicos irão refletir num determinado ponto de saída de uma bacia, podendo propagar-se a jusante por meio de bacias adjacentes.

Tais aspectos devem ser levados em consideração no planejamento das formas de intervenção humana, mesmo que o interesse do planejador recaia sobre uma área restrita da bacia.

Desta forma, a bacia de drenagem revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional.

## **2.4 RESERVATÓRIOS**

O aproveitamento das águas fluviais, com o barramento de um rio para a formação do reservatório, está associado à geração de uma série de alterações fluviais em especial na dinâmica fluvial. Esses impactos no canal fluvial são na maioria, fenômenos localizados que ocasionam efeitos em cadeia, com reações muitas vezes irreversíveis. A construção de barragens em vales fluviais rompe a seqüência natural dos rios em três áreas distintas. Na parte a montante da barragem, o nível de base local é levantado, alterando a forma do canal e a capacidade de transporte sólido, quando ocorre o assoreamento na desembocadura e no fundo do

vale principal e afluentes. Os impactos registrados no local não se limitam à área próxima do reservatório e à faixa de inundação, estendendo-se gradualmente para a montante, ao longo dos perfis dos rios. Geram o aumento no fornecimento de sedimentos para o reservatório, modificando, muitas vezes, o seu tempo útil e alterando a biota fluvial. (CUNHA, 2001).

No reservatório, em virtude da mudança da situação lótica para lântica, a atuação dos ventos e ondas nas margens torna-se mais importante do que o impacto da energia cinética das correntes sobre o fundo. Desenvolvem-se as margens de abrasão, cujos declives favorecem a atuação dos processos gravitacionais, o recuo das margens ou das falésias lacustres e a formação de praias.

Os impactos mencionados aumentam a carga de fundo e de suspensão, provocando o assoreamento do reservatório com conseqüente redução da vida útil do mesmo.

Os sistemas de abastecimento de água, de irrigação, ou hidrelétricos que contassem somente com as águas captadas diretamente nos cursos de água não seriam capazes de satisfazer a demanda de seus usuários durante as estiagens, sobretudo se intensas, portanto a construção de reservatórios, em alguns casos torna-se inevitável.

Como função primordial dos reservatórios é proporcionar acumulação, sua característica mais importante é a capacidade de armazenamento topográfico. (LINSLEY E FRANZINI, 1978)

O assoreamento em reservatórios é um problema que vem sendo enfrentado há muitos anos no Brasil e no mundo. De acordo com CARVALHO (1994)<sup>1</sup> apud MACEDO et.al (2006) pelo menos 40 reservatórios de usinas hidrelétricas localizadas em diferentes regiões brasileiras estão parcialmente ou totalmente assoreados. Dentre os danos provocados pelo assoreamento pode-se citar a redução da vida útil dos reservatórios e o entupimento de estruturas hidráulicas, que, dependendo da intensidade, podem comprometer significativamente a capacidade de geração de energia das usinas. O uso inadequado dos solos localizados em áreas a montante dos reservatórios é um dos fatores que mais tem contribuído para a

---

<sup>1</sup> CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

aceleração dos processos erosivos e, conseqüentemente, da deposição de materiais no fundo dos reservatórios.

A erosão constitui o início de todos os problemas causadores do assoreamento dos corpos d'água no meio ambiente, por isso, o conhecimento dos processos erosivos que ocorrem na bacia de contribuição de um reservatório é fundamental para o entendimento dos fenômenos de geração e movimento dos sedimentos na bacia. Para a caracterização dos fenômenos de erosão é necessário o conhecimento dos principais atributos da bacia que intervêm na dinâmica dos processos erosivos, tais como tipo e cobertura do solo, geologia, geomorfologia, topografia, regimes de precipitação, condições do vento, e as práticas conservacionistas adotadas pelo homem.

## 2.5 EROSÃO

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), a erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento e pode ter origem geológica (natural), ou pela ação antrópica. A erosão induzida ou acelerada é primariamente resultado da influencia das atividades do homem e, ou, em alguns casos, de animais. A erosão natural é própria da evolução da paisagem e cuja velocidade de desgaste do solo normalmente é equivalente à velocidade de sua formação.

As causas da erosão podem envolver os mais diversos fatores como práticas agrícolas impróprias, incêndios florestais em regiões declivosas e o processo acelerado e desordenado de urbanização (ODUM, 1988)<sup>2</sup> apud SILVA et.al (2007)

Apesar da importância que os solos têm para a sobrevivência da espécie humana, dos vegetais e dos animais na superfície da terra, parece que o homem tem dado pouca atenção a esse recurso natural, pelo menos no que diz respeito a sua utilização e conservação. O solo é um dos recursos que o homem utiliza, sem se preocupar com o período necessário para sua recuperação, acreditando ser eterno. Quando investe no solo, é para obter maiores colheitas, raramente para conservá-lo.

---

<sup>2</sup> ODUM, E.P. **Ecologia**. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 1988.

Para GUERRA & CUNHA (2001), os fatores controladores da erosão são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão (erosividade da chuva, erodibilidade do solo, cobertura vegetal e topografia do terreno). É por causa da interação desses fatores que certas áreas erodem mais que outras, e a intervenção do homem pode alterar esses fatores e, conseqüentemente, apressar ou retardar os processos erosivos.

A erosividade da chuva e a erodibilidade do solo são dois importantes fatores físicos que afetam a magnitude da erosão do solo. A erosão do solo depende de vários fatores, como o potencial da chuva em causar erosão, as condições de infiltração e escoamento superficial e a declividade e comprimento da rampa, ou da encosta, e ainda fatores como desagregabilidade, gradiente crítico e erodibilidade do solo. Mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais suscetíveis ao destacamento e ao transporte de partículas pelos agentes de erosão que outros. Essa diferença devido às propriedades do solo é conhecida como erodibilidade do solo. (CARVALHO et. al. 2006)

O bioma Cerrado é o segundo maior bioma do país, extremamente rico em termos de biodiversidade, porém, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, estão preservados de modo intactos somente 5% da vegetação originária dos cerrados, sendo que cerca de metade o desaparecimento é irreversível.

A maior parte do Cerrado está voltada para a produção de grãos e carnes, sem contabilizar os custos sociais e ambientais gerados até o presente momento, sendo um deles a erosão, que, mesmo que não seja de todo evitável, seja pelo menos mitigada para níveis aceitáveis visando à manutenção do equilíbrio.

Segundo NEVES (2005), o uso contínuo da camada arável do solo submetida à mecanização pesada e intensa, aliada às práticas de cultivo que desconsideram a importância de sua cobertura, da matéria orgânica e da conservação da biodiversidade, entre outros fatores, têm reforçado o aparecimento de problemas associados à compactação, desertificação e aumento da erosão do solo.

As áreas do Cerrado são degradadas devido à má ocupação do solo associada às técnicas inadequadas de seu uso. Em algumas regiões, o manto espesso dos solos do cerrado, sua carência de nutrientes e suas características estruturais geram

preocupação com danos a contaminação dos estratos inferiores e do próprio lençol freático devido à migração dos insumos e agrotóxicos químicos utilizados. (CARVALHO et. al. 2006)

De acordo com GUERRA & CUNHA (2001), muitas das causas de degradação do solo estão relacionadas à intervenção do homem na natureza. Os solos, através de atividades desenvolvidas diretamente sobre eles, como a agricultura, ou atividades desenvolvidas em áreas urbanas, como a industrialização, estão sempre ameaçados de degradação. Os custos de sua recuperação são geralmente elevados e, por isso mesmo quase nunca são efetivados. Entretanto, os custos de práticas de conservação são quase sempre mais baixos, e os resultados obtidos, em várias partes do mundo, têm demonstrado sua eficiência.

Os solos deveriam ser mais bem utilizados, porque, além de proporcionar a produção agrícola e animal, representam um importante componente da biosfera, sendo que grande parte da vida vegetal e animal da superfície terrestre depende e se desenvolve nos solos. Os problemas ambientais decorrentes da sua degradação têm repercussões, muitas vezes, irreversíveis.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) ressaltam que muitas e diversificadas são as definições para o fenômeno da erosão, mas há uma questão comum segundo todos os autores que lidam com o tema: A erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras.

De acordo com GUERRA & CUNHA (2001), várias são as propriedades que afetam a erosão dos solos. Entre elas, pode-se destacar: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e o ph do solo. Apesar da importância que essas propriedades têm na erodibilidade, é preciso reconhecer que elas não são estáticas ao longo do tempo, e que quando analisadas, é preciso relacioná-las a um determinado período de tempo, pois podem evoluir transformando certos solos mais suscetíveis ou menos suscetíveis aos processos erosivos.

A maior ou menor facilidade que as partículas são destacadas e transportadas refletem a aptidão de uma determinada cobertura pedológica para resistir aos esforços ocasionados pelos agentes erosivos. Desta maneira, o fator erodibilidade do solo é genericamente definido como “a suscetibilidade de um solo à erosão” estando

basicamente relacionado à textura e estrutura que influenciam a capacidade e velocidade de infiltração das águas pluviais. (PAIVA & PAIVA 2003).

As areias são consideradas como a fração granulométrica com maiores índices de erodibilidade onde a remoção dos sedimentos é a maior na fração de areia média e diminui nas partículas maiores e menores. Entretanto, dados experimentais apresentados por YOUNG (1980)<sup>3</sup> apud PAIVA E PAIVA (2003), mostram que em determinadas condições, as partículas do tamanho do silte são mais erodíveis que as argilas ou areias.

De acordo com GUERRA & CUNHA (2001) a textura afeta a erosão, porque algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras. As argilas são mais difíceis de serem removidas principalmente quando se apresentam em agregados, pois dificultam a infiltração das águas.

Outra característica importante do solo com relação à erosão é a sua espessura. Solos mais rasos permitem uma rápida saturação dos horizontes superiores favorecendo o aparecimento e a progressão da erosão acelerada embora não atinjam grandes profundidades.

A gradação textural entre os horizontes dos solos e sua evolução pedológica tem importante relação com o comportamento erosivo. Para o estado de São Paulo, BERTONI & LOMBARDI NETO (2005), avaliaram a erodibilidade considerando os solos mais comuns. Observaram claramente as diferenças do potencial erosivo de alguns tipos de horizontes em relação a outros.

Apesar do reconhecimento da importância da textura na erodibilidade dos solos, as percentagens de areia, silte e argila devem ser levadas em consideração em conjunto com outras propriedades, porque a agregação dessas frações granulométricas é afetada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica.

Segundo GUERRA & CUNHA (2001) o decréscimo de matéria orgânica, devido à agricultura, possui várias implicações nos processos mecânicos da erosão e enfatiza o estudo de vários pesquisadores sobre a relação entre matéria orgânica e estabilidade dos agregados do solo, ou seja, a matéria orgânica presente nos solos, melhora a estrutura, e conseqüentemente diminuem as taxas de erodibilidade. A matéria orgânica é o melhor agregador, ou agente cimentante do solo, aumentando a

---

<sup>3</sup> YOUNG, R.A. Characteristics of Eroded Sediments. Transaction ASAE. 1980. 23(5): 1139-1142.

estabilidade do solo. A alta estabilidade dos agregados também proporciona maior resistência ao impacto das gotas de chuva.

O primeiro impacto erosivo dos solos é propiciado pela ação mecânica das gotas de chuva, que promove o arrancamento e deslocamento das partículas terrosas. Essa ação mecânica é exercida por causa da energia cinética das gotas, variável de acordo com o tamanho e a velocidade das mesmas. Em geral, as gotas atingem a velocidade terminal, qualquer que seja o diâmetro delas, quando a distância percorrida ultrapassa oito metros. (CHRISTOFOLETTI, 1980).

TABELA 1: Velocidade terminal de gotas de chuva de vários diâmetros

<b>Diâmetro da gota da chuva</b>	<b>Velocidade terminal</b>	<b>Altura da queda com a qual a gota de água adquire 95% de sua velocidade terminal</b>
<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>m</b>
<b>1</b>	4,0	2,2
<b>2</b>	6,5	5,0
<b>3</b>	8,1	7,2
<b>4</b>	8,8	7,8
<b>5</b>	9,1	7,6
<b>6</b>	9,3	7,2

Fonte: BERTONI & LOMBARDI NETO (1990)

O impacto das gotas de chuva provoca movimentação das partículas de forma inconstante. A mesma partícula ora pode ser atirada a jusante, ora a montante, conforme a posição frente ao impacto da gota que atinge. Não há adição imediata dos efeitos de montante para jusante, embora o saldo, em conjunto, seja positivo nessa direção. Esse movimento de partículas, em direção inconstante, é denominado saltitação ou *splash erosion*. As areias finas são as partículas mais susceptíveis de serem transportadas pela saltitação, e podem ser lançadas a 1,50m de distância, enquanto partículas de 2mm podem ser lançadas a 40cm, e as de 4mm a 20 cm de distância. Se individualmente a ação mecânica promove o transporte das partículas a pequenas distâncias, em conjunto esse processo torna-se o responsável por um

remanuseamento de grande quantidade da superfície do solo. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

A cobertura vegetal também influencia nos processos erosivos de várias maneiras, segundo GUERRA (2001), através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos na energia cinética da chuva (erosão por *splash*) e do papel da vegetação na formação de húmus (matéria orgânica) que afeta a estabilidade e teor dos agregados.

A cobertura vegetal é fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo. O tipo e a percentagem de cobertura vegetal podem até reduzir os fatores erosivos naturais.

A densidade aparente do solo é outro fator controlador que deve ser levado em conta quando se tenta compreender os processos erosivos, pois se refere a maior ou menor compactação dos solos. Essa compactação pode aumentar sob várias circunstâncias, mas a agricultura parece ser a que mais afeta esta propriedade do solo, tanto devido à redução de matéria orgânica como pelo uso de máquinas agrícolas.

## 2.6 PROCESSOS EROSIVOS

Os processos erosivos básicos são de importância fundamental para que se compreenda como a erosão ocorre e quais as suas conseqüências.

Dentre os vários tipos de erosão existentes, a erosão hídrica pode ser considerada uma das principais, e é nesse contexto, segundo GUERRA (2001) que para se compreender tais processos de erosão, leva-se em consideração as características relativas a infiltração da água no solo, armazenamento e geração de *runoff* (escoamento superficial), escoamento subsuperficial, bem como os processos de *piping* (erosão interna do solo que causa a formação de dutos subsuperficiais por onde carreiam água e solo, formando galerias no interior do perfil da encosta), *splash* e a formação de crostas da superfície do solo.

De acordo com GUERRA (2001), o ciclo hidrológico é o ponto de partida do processo erosivo. Durante um evento chuvoso, parte da água cai diretamente no solo,

ou porque não existe vegetação, ou porque a água passa pelos espaços existentes na cobertura vegetal. A ação das gotas da chuva diretamente, ou por meio de gotejamento das folhas, causa a erosão por salpicamento (*splash*). A água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltra, aumentando a umidade do solo, ou abastece o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, podendo provocar erosão, através do escoamento das águas. Essa água se infiltra no solo por meio da gravidade ou capilaridade e as taxas de infiltração podem variar bastante, em um mesmo local, em função de diferenças de estrutura ao longo do perfil, diferenças em graus de compactação e teor de umidade antecedente. (GUERRA, 2001)

De acordo com HORTON, (1945)<sup>4</sup>, apud GUERRA & CUNHA (2001) se a intensidade da chuva for menor do que a capacidade de infiltração do solo, não haverá escoamento superficial. Mas se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração, ocorrerá escoamento superficial.

O escoamento superficial ocorre durante um evento chuvoso, quando a capacidade de armazenamento da água no solo é saturada. Ele pode se dar caso a capacidade de infiltração seja excedida. O fluxo que escoar sobre o solo se apresenta, quase sempre, como uma massa de água com pequenos cursos anastomosados e, raramente, na forma de lençol de água, de profundidade uniforme. Esse fluxo de água tem que transpor vários obstáculos, que podem ser fragmentos rochosos e cobertura vegetal, os quais fazem diminuir sua energia. A interação entre o fluxo de água e as gotas de chuva que caem sobre esses fluxos pode aumentar ainda mais sua energia. (GUERRA, 2001). A quantidade de perda do solo, resultante do escoamento superficial, vai depender da velocidade e turbulência do fluxo. Igualmente importante é a distribuição espacial do fluxo.

Em áreas agrícolas, os processos de escoamento superficial podem ser mais acentuados, devido ao remanejamento de partes do subsolo para cima e vice-versa. Isso ocorre devido à mecanização das lavouras, o que pode causar diminuição da

---

<sup>4</sup> HORTON, R.E. **Erosional Development of Streams and their Drainage Basins**: a Hydrological Approach to Quantitative Morphology. Bull: Geol.Soc.Am.1945, n56, 275-370.

espessura do todo do solo, provocando o empobrecimento das terras agrícolas, com a diminuição do teor de matéria orgânica e de outros nutrientes.

Vários são os tipos de erosão, mas os principais podem ser citados:

### **2.6.1 EROSÃO EM LENÇOL**

A erosão em lençol é também conhecida por erosão laminar. Ela recebe esse nome, porque o escoamento superficial, que dá origem a esse tipo de erosão, se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais. Essa forma de escoamento ocorre, quase sempre, sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de armazenamento de água no solo e nas depressões e irregularidades, satura. Quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior a capacidade erosiva gerada por esse fluxo. (GUERRA, 2001).

### **2.6.2 EROSÃO LINEAR**

É caracterizada pela formação de canais de frequência e dimensões variáveis, conforme as características da chuva, do relevo e do solo cuja ocorrência se dá principalmente em solos recém-cultivados. Uma vez que ocorre a acumulação de água em canais estreitos por curtos períodos, há a remoção de solo desses canais desde a superfície até profundidades consideráveis, variando de 0,5m até 25,0m. (SILVA, 2007).

#### **2.6.2.1 EROSÃO EM RAVINAS**

Em geral, as erosões em sulcos, ravinas são diferenciadas entre si, pela profundidade do evento. Apresentam forma de canal, originadas pelo escoamento concentrado pelas águas superficiais (SALOMÃO, 2002).

De acordo com SILVA (2007), nesse tipo de erosão, a remoção e o transporte de partículas são feitos pela enxurrada concentrada em alta velocidade e as ravinas são formadas quando a velocidade do fluxo de água aumenta na encosta, tornando o fluxo turbulento, e aí a incisão começa a acontecer no topo do solo. A maior parte dos sistemas de ravinas é descontínua, isto é, não tem nenhuma conexão com a rede de drenagem fluvial.

### **2.6.2.2 EROSIÃO EM VOÇOROCAS**

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), a voçoroca é a forma espetacular da erosão, ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai se ampliando, pelo deslocamento de grandes massas de solo, e formando grandes cavidades em extensão e em profundidade. Exemplos de literatura mundial são citados com voçorocas de mais de uma centena de metros de comprimento e atingindo dezenas de metros de profundidade e dessa forma, ocasionando a instabilidade da paisagem.

O desmatamento, o uso agrícola da terra, o superpastoreio e as queimadas, quase sempre, são responsáveis diretos pelo surgimento de voçorocas, associados com o tipo de chuva e as propriedades físico-químicas do solo.

Segundo MORGAN (1986)<sup>5</sup> apud GUERRA, (2005), poucos estudos têm sido feitos em todo o mundo para estimar qual a participação das voçorocas no transporte total de sedimentos de uma determinada área. Embora as voçorocas possam ser responsáveis pela remoção de grandes quantidades de sedimentos, ZACHAR (1982)<sup>6</sup>, apud MACHADO (2002), destaca que a área ocupada por voçorocas, em uma determinada região, raramente ultrapassa 15% da área total. No entanto, onde elas ocorrem, podem destruir completamente a paisagem.

De acordo com MACHADO (2002), a pesquisa sobre erosão vem sendo desenvolvida intensivamente sob vários pontos de vista em todas as partes do mundo. Isto é, o tema erosão vem sendo pesquisado no sentido de produzir conhecimento técnico-científico dentro de áreas como hidrologia, pedologia, agronomia, dentre outras.

## **2.7 PRODUÇÃO, TRANSPORTE E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS**

---

<sup>5</sup> MORGAN, R.P.C. *Soil erosion and conservation*. Longman Group, Inglaterra. 1986. 298p.

<sup>6</sup> ZACHAR, D. *Soil Erosion: Development in Soil Science*. New York. Elsevier Scientific, 1982. 547p.

De acordo com GARCEZ & ALVAREZ (1988), características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, sendo importante medir numericamente algumas dessas influências

A erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, uma terceira fase acontece que é a deposição desse material transportado. Os processos resultantes da erosão pluvial estão intimamente relacionados aos vários caminhos tomados pela água da chuva, na sua passagem através da cobertura vegetal, e ao seu movimento na superfície do solo. (GUERRA, 2001).

Os mecanismos dos processos erosivos básicos variam no tempo e no espaço, e a erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir à remoção. E espessura do solo pode estar relacionada ao controle das taxas de produção (intemperismo) e remoção (erosão) de materiais. Nas áreas onde os efeitos desses dois grupos de processos são iguais, há uma tendência de a espessura do solo permanecer a mesma ao longo do tempo. (GUERRA, 2005).

Já o escoamento subsuperficial, segundo GUERRA (2001), afeta diretamente a erodibilidade dos solos, através de suas propriedades hidráulicas, influenciando o transporte de minerais em solução. Quando ocorre em fluxos concentrados, em túneis ou dutos, possui efeitos erosivos provocando o colapso da superfície situada acima, resultando na formação de voçorocas.

Os dutos (*pipes*), ou túneis são grandes canais, abertos em subsuperfície, com diâmetros que variam de poucos centímetros até vários metros. O processo de formação desses dutos está relacionado ao próprio intemperismo, sob condições especiais geoquímicas e hidráulicas, havendo a dissolução e carreamento de minerais, em subsuperfície.

Os dutos são responsáveis pelo transporte de grande quantidade de material, em subsuperfície e a medida que esse material vai sendo removido, se vão ampliando os diâmetros desses dutos. As taxas de produção de sedimentos estão relacionadas ao

fluxo de água dentro dos dutos e representam uma função direta desses fluxos. (GUERRA 2001)

De acordo com CUNHA (2001), a capacidade de erosão das margens e do leito fluvial, bem como o transporte e deposição da carga de sedimentos no rio dependem, dentre outros fatores, da velocidade da água, e a alteração das características do rio, modifica, de imediato, essas condições de transporte e deposição. As correntes fluviais podem transportar a carga sedimentar de diferentes maneiras (suspensão, saltação, e rolamento), de acordo com a granulometria das partículas (tamanho e forma) e as características da própria corrente (turbulência e forças hidrodinâmicas exercidas sobre as partículas).

Em relação ao gradiente granulométrico existente nos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, é possível observar que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras, pedregulhos e seixos. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, passando à areia grossa, média e fina gradativamente a jusante. (CARVALHO 1994)

A carga em suspensão constitui-se de partículas finas, silte e argila, que se conservam suspensas na água até a velocidade crítica, que corresponde à menor velocidade requerida para uma partícula de determinado tamanho movimentar-se.

A carga do fundo é formada por partículas de tamanhos maiores (areia, cascalho ou fragmentos de rocha) que saltam ou deslizam ao longo do leito fluvial. A velocidade, nesse tipo de carga, tem participação reduzida, fazendo com que os grãos se movam lentamente. (CUNHA, 2001)

De forma geral, nas porções altas de uma bacia, há maior erosão e transporte de sedimentos. A erosão vai diminuindo da alta para a média bacia à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, isto é, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribui pelos terrenos. Vê-se, então, que a degradação dos solos predomina na alta bacia, enquanto a diminuição gradual predomina na parte baixa. (CARVALHO, 1994)

A quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, que escoam pelo canal principal de uma bacia hidrográfica em condições naturais, dependem do clima e das

características físicas e biológicas dos ecossistemas que a compõem. A interação contínua e constante entre a litosfera, a biosfera e a atmosfera, acabam definindo um equilíbrio dinâmico para o ciclo da água, o qual define em última análise as características e as vazões das águas. (BALDISSERA, 2005).

Este equilíbrio depende:

- Das quantidades e da distribuição das precipitações em uma bacia hidrográfica;
- Do balanço de energia, pois a evaporação de um solo cultivado é determinada pela fração da radiação solar que alcança sua superfície e pela vegetação natural que cobre a área que controla o balanço de energia;
- Da infiltração da água, a evapotranspiração e a vazão final, pois dependendo da fase de desenvolvimento da vegetação ou da cultura a evaporação e a transpiração se alternam como processos predominantes;
- Dos fatores geomorfológicos que regulam o tempo de permanência da água que depende da inclinação das secções transversais e longitudinais da bacia hidrográfica e
- Das formações geológicas que controlam o armazenamento da água no solo, no subsolo e determina o fluxo de base dos afluentes e do canal principal.

Em uma escala local e regional, entre as ações antrópicas que podem alterar o balanço hídrico, destacam-se o desmatamento, a mudança do uso e ocupação do solo e a construção de barragens. (BALDISSERA, 2005).

Assim, qualquer atividade humana que altere os fatores básicos que determinam o balanço hídrico, acaba por influir na disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Segundo PAIVA & PAIVA (2003), a degradação das bacias hidrográficas pela ação antrópica, associada aos fenômenos naturais de precipitação, como os verificados nas regiões tropicais, resulta, em um intervalo de tempo, quantidades de solo (sedimento) que chegam aos rios e reservatórios, muito maiores que aquelas produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural.

A engenharia muitas vezes despreza o fato de que os rios naturais não conduzem somente água, mas também sedimentos e que a taxa de sedimento transportada esta intimamente relacionada com a forma e estabilidade do canal. Deste modo, é essencial considerar a taxa de carga de sedimento transportada como uma variável a ser equacionada, em projetos de barragens, canais, reservatórios de acumulação ou qualquer obra hidráulica. A quantidade de sedimentos, disponível em toda a bacia hidrográfica, que a curto, médio ou longo prazo, total ou parcial chegará aos cursos d'água naturais e aos reservatórios, não pode ser desprezada no gerenciamento dos recursos hídricos.

A quantidade de sedimentos transportada pelos rios, além de informar sobre as características e ou estado da bacia hidrográfica, é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, seja para análise da viabilidade de utilização da água para abastecimento o irrigação, ou para o cálculo da vida útil de reservatórios.

Infelizmente, no Brasil, devido aos custos elevados, a rede sedimentométrica é precária ou inexistente em algumas regiões. Portanto, quando é necessário conhecer o impacto da presença dos sedimentos em corpos d'água, utiliza-se de poucas medidas, não representativas, ou se utiliza processos de estimativas, tais como: equações de estimativas da perda de solo na bacia; ou de equações de transporte de sedimentos nos cursos d'água. (PAIVA & PAIVA, 2003).

## **2.8 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG's**

A degradação ambiental tem se tornado mais evidente, e torna-se necessário, cada vez mais, não apenas reverter esse processo, mas também prever danos futuros com base no planejamento e na gestão desses recursos.

A caracterização ambiental é uma etapa fundamental do processo de planejamento baseada no levantamento de dados e informações e no conhecimento da área a ser planejada. Com base do desenvolvimento de bancos de dados digitais e geoprocessamento, e no rápido acesso à informações armazenadas, a utilização de

instrumentação computacional tem se tornado uma poderosa ferramenta para a realização da caracterização, de planejamentos e análises ambientais. (PINTO & CRESTANA, 1997)<sup>7</sup> apud MINOTI (2006).

O desenvolvimento das ciências naturais como a Geologia, Geografia, Geomorfologia, Ciências dos Solos e a Ecologia, deu origem a novas necessidades de mapeamento, zoneamentos, apresentando grande aumento de demanda por mapas topográficos e temáticos, devido principalmente à maior necessidade de exploração dos recursos naturais.

O estudo das ciências envolvidas requer observação, classificação e armazenamento de informações, utilizando-se métodos qualitativos de classificação e mapeamento sistemático, gerando enormes quantidades de dados complexos que devem ser analisados de forma integrada. Essa grande quantidade de dados requeridos para análise tem conduzido a um crescimento da demanda por bases de dados computadorizadas.

O Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias voltadas para a coleta, armazenamento e tratamento de informações espaciais para algum objetivo específico. Refere-se a todo um conjunto de técnicas para lidar com a informação geográfica, abrangendo assim os Sistemas de Informações Geográficas, que são elementos de apenas uma das tecnologias que compõem o geoprocessamento.

De acordo com SILVA (2001), ambientes podem ser considerados sistemas, e o conhecimento a eles relativo, pode ser armazenado em sistemas de informação. Entre os diferentes tipos de sistemas de informação, os SIG's, isto é, aqueles sistemas que mostram e analisam a territorialidade dos fenômenos neles representados, são de uso crescente para a representação de ambientes. Este uso crescente se deve, exatamente, à capacidade que possuem de considerar, de forma integrada, a variabilidade taxonômica, a expressão territorial e as alterações temporais verificáveis em uma base de dados georreferenciada.

Segundo MATTOS (1998)<sup>8</sup> apud MINOTI (2006) os SIG's são ferramentas de auxílio ao processamento da informação que podem incluir aspectos de

---

<sup>7</sup> PINTO, L.F.G.; CRESTANA, S. Digitalização e Processamento de Imagens Aplicado ao Estudo Prospectivo de um Agrossistema. In: CRUVINEL, P.S et.al (Eds), **ANAIS do I SIAGRO**, São Carlos, 1996. Brasília, EMBRAPA – SPI.p.416-421.1997.

superfícies de culturas, demográficos, econômicos, geográficos, de vistoria, monitoramento, mapeamento, cartografia, fotogrametria, sensoriamento remoto, paisagem dentre outros, com ciência da computação.

Os Sistemas de Informações Geográficas são instrumentos adequados ao estudo prospectivo de processos de erosão dos solos. A utilização desses sistemas pode ocorrer através de sobreposição de planos de informações ou em interfaces com modelos analíticos mais complexos. (DUTRA et.al, 1997).

Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados. Há pelo menos três maneiras de utilização de um SIG: como ferramentas para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos e como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial. As principais características de SIG's estão em integrar, em uma única base de dados, informações provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e inserir o conteúdo da base de dados georeferenciados. (DUTRA et.al, 1997).

A eficiente construção de sistemas de informação depende da criação de modelos conceituais que sejam representativos da porção modelada da realidade. Se este problema é projetado para a pesquisa ambiental, é considerável o acréscimo da complexidade nele envolvida. Torna-se necessário considerar o ambiente como um sistema, isto é, uma entidade que tem expressão espacial, a ser modelada segundo sua variabilidade taxonômica e a distribuição territorial das classes de fenômenos nela identificadas como relevantes. (SILVA, 2001)

De acordo com MACHADO & VETORAZZI (2003) a maior limitação ao uso de modelos complexos é a dificuldade em trabalhar a grande quantidade de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais. A utilização desses

---

<sup>8</sup> MATTOS, L.M. **Uso dos Índices AF (Attenuation factor) e RF (Retardation Factor) como Metodologia de Estudo de Constatação por Pesticidas de Solo e Água Subterrânea.** 1998, 189p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos. 1998.

modelos associada aos SIG`s, como o desenvolvimento de bases de dados digitais, permite que os dados espaciais referentes a grandes áreas heterogêneas sejam divididos em pequenas unidades hidrologicamente homogêneas, sobre as quais os modelos são aplicados.

## 2.9 MODELOS HIDROLÓGICOS

Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade. Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso do solo e prever alterações futuras nos ecossistemas. (RENNÓ & SOARES, 2000).

Os modelos são ferramentas utilizadas para representar processos e elaborar prognósticos para gestão dos sistemas. Os modelos não são objetivos em si só, e mas sim ferramentas que permitem analisar cenários, estudos de alternativas, prever a ocorrência de fenômenos, entre outros. Os modelos principalmente utilizados são os modelos matemáticos que expressam matematicamente as funções dos processos.

Para MACHADO (2002), o modelo de simulação, de um modo geral, pode ser definido como a representação de um sistema através de equações matemáticas, ou seja, consiste em representar matematicamente o que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base nos dados de observação do sistema real, e que o objetivo de tal modelagem é então, compreender melhor o sistema e prever situações futuras, algumas vezes também reproduzir o passado, para direcionar as ações de decisão.

TUCCI (1998) define modelo como “a representação de algum objeto ou sistema, em uma linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas”.

De acordo com BEVEN (1989)<sup>9</sup> apud BALDISSERA (2005), modelos matemáticos podem ser usados para estabelecer conhecimentos sobre os sistemas

---

<sup>9</sup> BEVEN, K. Changing ideas in hydrology – the case of physically based models. **Journal of Hydrology**, v.105, p.157-172, 1989.

ambientais, tanto como um meio de testar hipóteses, como de permitir um método para prever o manejo desses ecossistemas.

Para PESSOA et.al (1997)<sup>10</sup> apud MINOTI (2006), os modelos permitem avaliar e compreender o comportamento de processos que possam indicar o aparecimento de impactos negativos. Muitas vezes permitem visualizar o comportamento futuro do sistema com a criação de cenários ainda não explorados em experimentos reais, alertando o pesquisador para novas alternativas de pesquisas futuras ou para testes mais direcionados, reduzindo gastos e esforços.

Dentre os tipos de modelos existentes na área de recursos hídricos, os matemáticos têm diversas aplicações, como a quantificação de processos do ciclo hidrológico na análise de qualidade das águas em rios, reservatórios, aquíferos subterrâneos, nos processos hidráulicos do escoamento da água em rios, mares e subsolo e nos modelos ambientais e meteorológicos. (NEVES, 2005).

NEVES (2005) define ainda que os modelos matemáticos de simulação permitem uma grande flexibilidade por possibilitarem que um sistema qualquer seja representado matematicamente em modelos computacionais, além de possibilitar a análise no nível de detalhamento requerido.

MACHADO (2002) ressalta que modelos hidrológicos e de qualidade da água vem sendo desenvolvidos para prever o impacto da agricultura na qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas, com a vantagem de que a aplicação de modelos reside na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes, tais como os piores cenários possíveis e diferentes tipos de manejo e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida.

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam em uma única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia. Diversas abordagens podem ser consideradas na subdivisão da bacia a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (RENNÓ &

---

<sup>10</sup> PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. Principais Modelos e Simuladores Utilizados para Análise de Impactos Ambientais das Atividades Agrícolas. Jaguariúna: EMBRAPA, 1997, 91P.

SOARES, 2000). Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos). (RENNÓ & SOARES, 2000). Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório, ou seja, não é possível saber com certeza como irá se comportar. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante elaboração de um modelo, este será denominado determinístico, ou seja, o modelo segue uma lei definida que não é a lei da probabilidade.

Os modelos podem ser empíricos, quando utilizam relações baseadas em observações. Em geral, estes modelos são bastante simples e úteis no dia a dia. No entanto, são pouco robustos, uma vez que são específicos para aquela região para qual as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo, etc. Os modelos podem ser também baseados em processos (modelos conceituais) e, em geral, são mais complexos que os empíricos, uma vez que procuram descrever todos os processos que envolvem determinado fenômeno estudado (RENNÓ & SOARES, 2000).

Podem ser contínuos ou discretos: no primeiro caso, diz-se que é quando os fenômenos são contínuos no tempo enquanto no segundo caso, é quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos. (MINOTI, 2006).

Os modelos podem ainda ser classificados como pontuais (concentrados ou agregados) ou distribuídos. Em modelos pontuais, considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada. Por outro lado, os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis do modelo. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e conseqüentemente cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. Modelos distribuídos mais realísticos consideram

também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos. (RENNÓ & SOARES, 2000).

Finalmente, os modelos podem ser estáticos quando, com um conjunto de dados de entrada produz-se um resultado oriundo da resolução das equações do modelo em um único passo. Já modelos dinâmicos utilizam o resultado de uma iteração como entrada para uma próxima iteração. (RENNÓ & SOARES, 2000).

O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998). Entretanto, é impossível ou inviável traduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos. De fato, ou essas relações são extremamente complexas a ponto de não existir uma formulação matemática capaz de descrevê-las completamente, ou apenas uma parte dos processos envolvidos nessas relações é parcialmente conhecida. Assim, na maioria dos casos, a modelagem hidrológica torna-se somente uma representação aproximada da realidade.

De acordo com MACHADO (2002), no Brasil vários modelos vêm sendo aplicados com o intuito de estimar as perdas de solo e o planejamento para fins conservacionistas, alguns adequando equações desenvolvidas no exterior para as características do local de uso da equação. Progressos importantes têm sido registrados com a união dos modelos de simulação com o geoprocessamento.

## **2.10 AVSWAT**

Segundo MINOTI (2006), vários modelos físicos de parâmetros distribuídos têm sido modificados e utilizados, no Brasil e ao redor do mundo, para prever o escoamento superficial, a erosão e o transporte de sedimentos e nutrientes em bacias hidrográficas submetidas a diferentes manejos.

Entre esses modelos, o “*soil and water assessment tool*” (SWAT), é o mais recente, utilizado com sucesso na simulação do escoamento, das cargas de

sedimentos e da qualidade da água em bacias hidrográficas. (TRIPATHI et al, 2003)<sup>11</sup> apud MINOTI, (2006).

O modelo SWAT foi desenvolvido pelo serviço de pesquisa agrícola – ARS, dos Estados Unidos, no Texas, para prever o impacto de mudanças no uso do solo para a água e sedimentos. Ele requer informações específicas sobre solos, topografia, clima e práticas de uso do solo dentro da bacia. O SWAT é uma ferramenta proveitosa, porque as bacias podem ser modeladas sem que haja nenhum dado monitorado. E também pode simular grandes bacias em um tempo relativamente curto. (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994).

GARRIDO (2003)<sup>12</sup> apud MINOTI, (2006) ao analisar diversos modelos de simulação hidrológica, concluiu que o SWAT mostrou-se o mais completo em termos de números de componentes simulados, representando uma vantagem do modelo, possibilitando a análise de cenários de diversas situações climáticas, uso do solo, aplicação de fertilizantes e pesticidas, implantação de reservatórios, dentre outros.

GARRIDO (2003) identificou o SWAT como um modelo de simulação matemática contínuo e semidistribuído, e permite que diferentes processos físicos sejam simulados em bacias hidrográficas e, também, que bacias ou microbacias hidrográficas sejam divididas em sub-bacias.

Para DI LUZIO et.al (2000), o modelo AVSWAT foi concebido para ajudar gestores de recursos hídricos. O AVSWAT melhora a eficiência da análise da avaliação de poluição pontual e não pontual e seu controle em escala de bacia hidrográfica.

A interface ArcView/SWAT, possibilita a entrada de arquivos no modelo para serem gerados, como criar arquivos de entrada usando os grids e as tabelas do ArcView, e a saída de arquivos para serem analisados usando as capacidades

---

<sup>11</sup> THRIPATI, M.P; PANDA, R.K.; RAGHUWANSHI, N.S. Identification and prioritization of critical sub-watersheds for soil conservation management using the SWAT model. **Biosystems Engineering**. V.85, n.3, p. 365-379, 2003.

<sup>12</sup> GARRIDO, J.M. **Aplicação do modelo matemático de simulação com utilização de SIG à baía do rio Jiquiriça – Bahia**. 2003. 186p. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

espaciais do ArcView, como exibir os resultados usando tabelas, gráficos e mapas do ArcView.

Algumas características do modelo SWAT podem ser levadas em contas, de acordo com ARNOLD et.al (1998) & NEITCH et. al (2002):

- O modelo requer informações específicas sobre o clima, as propriedades do solo, a topografia, a vegetação e as práticas de manejo do solo que ocorrem na bacia hidrográfica. Os processos físicos associados ao movimento da água, movimento dos sedimentos, crescimento de culturas, ciclagem de nutrientes, entre outros, são diretamente modelados pelo modelo utilizando esses dados de entrada. Os aspectos positivos dessa característica do modelo, é que bacias hidrográficas sem dados de monitoramento também podem ser modeladas;
- É computacionalmente eficiente, podendo simular extensas bacias hidrográficas sem gastos excessivos de tempo;
- É um modelo contínuo capaz de simular os efeitos das mudanças no uso e manejo do solo em longos períodos de tempo. Em alguns processos, os resultados apenas são obtidos após a simulação de décadas;
- O modelo não requer calibração caso não existam informações disponíveis e de qualidade (a calibração não é possível em bacias hidrográficas não instrumentadas).

O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, solos e uso do solo e, desse modo, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia inteira e as características homogêneas dentro da bacia. Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológicas (Hydrologic Response Units – HRU's), de modo a refletir as diferenças de tipos de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo, sendo possível a subdivisão de centenas à milhares de células, cada célula representando uma sub-bacia.

A utilização de sub-bacias pode ser particularmente benéfica quando diferentes áreas da bacia são dominadas por solos ou usos diferentes, o que resulta em diferenças nas suas características hidrológicas.

Alguns trabalhos de pesquisa utilizaram o modelo SWAT no mundo:

PANDEY et.al. (2009), fizeram uma investigação para identificar as sub-bacias críticas para o desenvolvimento do melhor plano de gestão para uma pequena bacia hidrográfica do Leste da Índia utilizando um modelo hidrológico, a saber, AVSWAT 2000. Um total de 180 combinações de diferentes tratamentos de gestão, incluindo as culturas (arroz, milho e soja, amendoim), plantio direto e adubos foram avaliados. O trabalho revelou que o arroz, por exemplo, não pode ser substituído por outras culturas como o amendoim e milho, por exemplo, pois estas outras culturas, devido às práticas de preparo do arado, geram um impacto maior no desprendimentos de sedimentos.

MOLINA (2005), utilizou o AVSWAT aplicado à bacia do rio Chama, na Venezuela, com o objetivo de comprovar o comportamento do modelo, em relação à produção de água e regimes hídricos utilizando a simulação para um período de 7 anos, e compará-los com os resultados observados.

ABRAHAM et al. (2007), testaram o modelo em bacias hidrográficas tropicais, a fim de ser capaz de explicar os processos hidrológicos para as condições etíopes. Os resultados mostraram que o SWAT foi capaz de simular bem as características hidrológicas da bacia do Rio Meiki, na África.

YAYA (2007) utilizou o modelo com o objetivo de avaliar e quantificar os rendimentos de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Root, afluente do rio Mississippi, EUA, e sugerir alguns cenários para reduzir as cargas de sedimentos e poluentes. Foram simulados para três tipos de cultura, alfafa, milho e soja. O modelo revelou que a cultura de milho foi a que mais demonstrou perda de sedimentos na bacia.

BENITES, et.al (2000), utilizaram o modelo SWAT na bacia do rio “El Tejocote”, localizada em Atlacomulco, no México, com a finalidade de comparar os valores simulados e observados da produção de água, sedimentos, consumo médio e biomassa durante o período de 1980 a 1985, chegando a resultados satisfatórios.

FOHRER et.al (1999), aplicaram o SWAT a dois distintos cenários de uso e ocupação do solo para a região da Alemanha, afim de simular o efeito sobre o balanço hídrico. Em comparação com os outros estudos feitos na região com a utilização de outros modelos, e o uso dos mesmos cenários, os resultados foram satisfatórios.

PAPAGALLO et.al (2003), encontraram resultados de qualidade de água compatíveis entre os simulados pelo SWAT e os dados observados na Bacia Hidrográfica de Celone Creek a sudoeste da Itália, concluindo como sendo de grande importância o modelo SWAT para avaliar impactos do uso do solo e especialmente de poluição difusa.

No Brasil também foram realizados trabalhos utilizando o modelo, pode-se observar uma breve descrição de alguns trabalhos:

QUADRO 1:Referências de alguns trabalhos anteriormente realizados utilizando o AVSWAT

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	CARACTERÍSTICA
<b>Oliveira, 1999</b>	Bacia hidrográfica do Rio Joanes (estado da Bahia)	Avaliação das conseqüências das alterações no uso da terra e construção de represas nas características hidrossedimentológicas da BH e repercussões na zona costeira. Utilização da versão SWAT 96.2.
<b>Machado, 2002; Machado e Vetorazzi, 2003; Machado et.al, 2003</b>	Microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (Piracicaba, SP)	Simulação do escoamento superficial e da produção e da produção de sedimentos na MBH. Compararam valores simulados aos observados. Simulação de cenários de uso do solo. Utilização da versão SWAT 2000.
<b>Garrido, 2003</b>	Bacia hidrográfica do rio Jiquiriça (estado da Bahia)	Avaliação da aplicabilidade do modelo para a simulação do comportamento hidrológico da BH comparando valores simulados aos observados. Utilização SWAT 2000.
<b>Prado, 2005</b>	Bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim (Jundiá, SP)	Estimativa da produção de sedimentos e simulação de cenários frente às mudanças de uso do solo da BH nas últimas décadas. SWAT 2000.
<b>Neves, 2005</b>	Microbacia hidrográfica do rio Bonito (Descalvado, SP)	Estimativa da produção de sedimentos relacionando-os com dejetos de animais e potencial contaminação dos corpos aquáticos. SWAT 2000.
<b>Silva, 2005</b>	Microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim (São Carlos, SP)	Estimativa da produção de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica experimental. SWAT 2000.
<b>Silva, 2006</b>	Microbacia hidrográfica do ribeirão	Estimativa da produção de sedimentos relacionando-os com a qualidade de

	Canchim (são Carlos, SP)	água de corpos aquáticos em uma sub-bacia hidrográfica experimental. SWAT 2000.
--	--------------------------	---

Fonte: MINOTI (2006)

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A BHRM é formada principalmente pelos rios: Manso, Casca, Quilombo, e Roncador e pertence à bacia do rio Cuiabá. A bacia do Rio Cuiabá é pertencente juntamente com o Rio Paraguai, são Lourenço, Itiquira e Pantanal, à grande bacia do Prata, ou bacia Platina.

A BHRM está localizada no estado de Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil, e possui uma área de aproximadamente 10.553 Km<sup>2</sup> (Figura 2)

Distante de Cuiabá, cerca de 100 km, o lago do rio Manso, formado devido à construção da barragem – APM Manso – Aproveitamento Múltiplo de Manso, possui aproximadamente 427 Km<sup>2</sup> de área alagada para cota máxima e foi concebido com quatro objetivos principais de acordo com CHILETTO (2005):

- Regularizar o nível do rio Cuiabá (evitar inundações);
- Fomentar o turismo através do lago;
- Incentivar a irrigação no Cerrado e,
- Gerar energia elétrica.

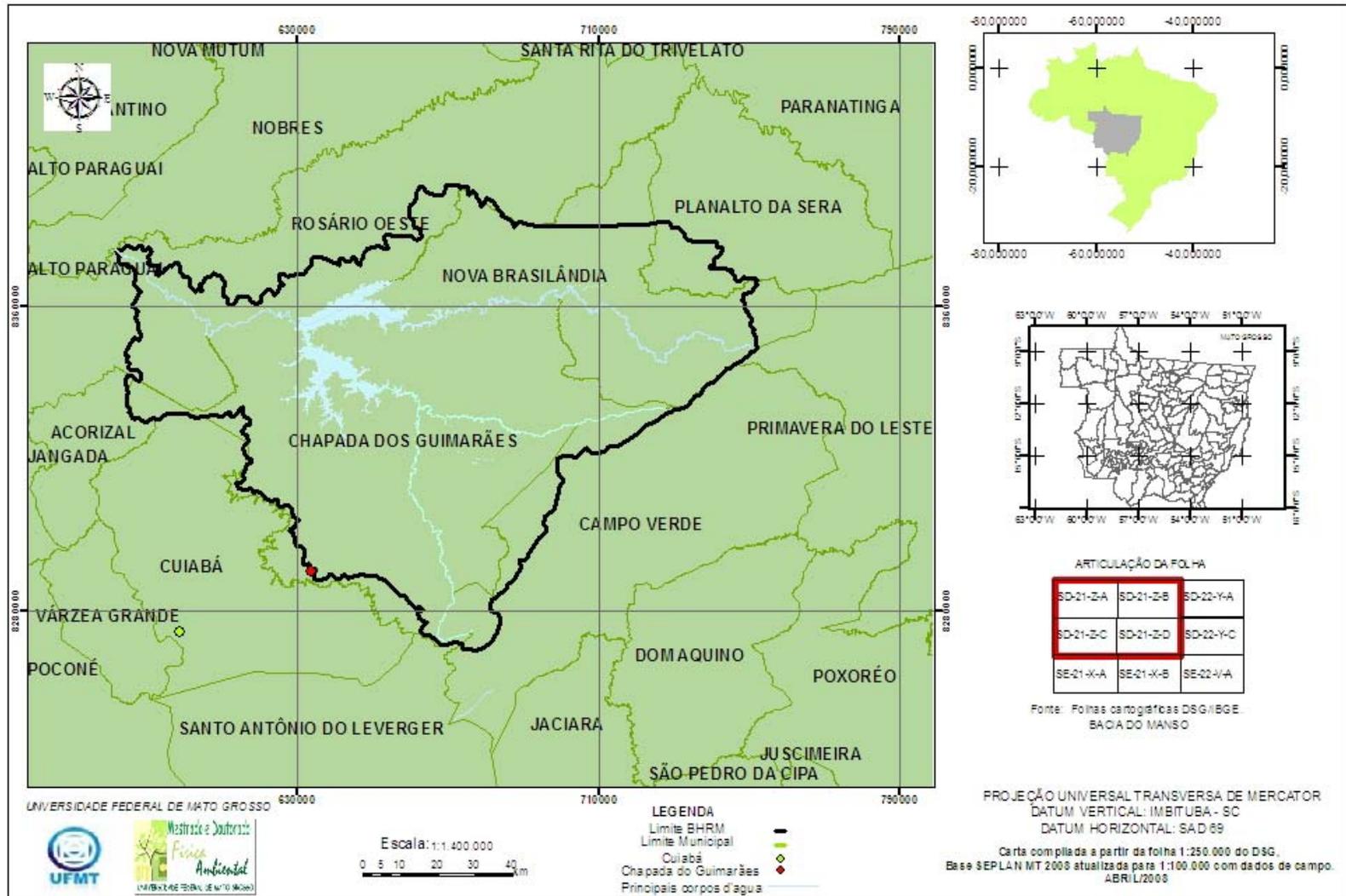


FIGURA 2: Localização da Área de Estudo

### 3.1.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL AMBIENTAL

O rio Manso é um dos principais afluentes do rio Cuiabá, sendo responsável por uma área de drenagem de aproximadamente 10.553 Km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 40% da Bacia Hidrográfica do rio Cuiabá e cerca de 2% da área da bacia formadora do Pantanal, ou seja, da bacia do Alto Paraguai. (SONDOTÉCNICA, 1987). Nasce na Serra Azul do estado do Mato Grosso e percorre um vale sinuoso, recebendo tributários de várias partes. Tem sentido Leste – Oeste (L – O), tomando o rumo sudoeste quando atinge planos e falhas, seguindo em direção ao rio Cuiabá, que se localiza perpendicularmente às estruturas geológicas subjacentes e ao seguimento do rio Manso. Seu principal afluente pela margem esquerda é o rio Casca.

De um modo geral o rio manso possui águas mais profundas, quentes e alcalinas, de maior condutividade, altas concentrações de nutrientes, e maior diversidade de grupos fitoplanctônicos, enquanto o rio Casca, tem águas mais ácidas, e com alto teor de material em suspensão. (SONDOTECNICA, 1987).

A BHRM possui um reservatório próximo ao Parque Nacional de Chapada dos Guimarães, que, fechado para inundação, no período de novembro de 1999 a fevereiro de 2000, apresentou rápido enchimento inundando, além do trecho do rio Manso, à montante da barragem, as porções inferiores do rio Casca, Palmeiras, e Quilombo, totalizando uma área inundada de 427 km<sup>2</sup> na cota máxima. O reservatório em questão é integrante da Usina de Aproveitamento Múltiplo de Manso – APM manso, cuja finalidade principal é a geração de energia hidrelétrica, e está em operação desde janeiro de 2002.

A BHRM possui aproximadamente 733 cursos de água, sendo que deste total, 77,6% são de ordem 1, ou seja, nascentes; aproximadamente 39% são intermitentes, e, devido ao fato de a bacia estar localizada em região com definição de duas estações bem marcantes, seca e úmida, há redução significativa da contribuição das nascentes no período de estiagem, uma vez que passa a ter menor número de tributários nesse período, o que pode ocasionar grandes diferenças sazonais das vazões resultantes.

Possui perímetro de aproximadamente 533 km de acordo com estudos morfométricos realizados por ANDRADE et.al (2008). Pode-se afirmar que a bacia

possui forma alongada, o que evita em condições normais de precipitação, o surgimento de enchentes. Este fato pode ainda ser comprovado pelo índice de circularidade, igual a 0,48. Valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento (SCHUMM, 1956)<sup>13</sup> apud ANDRADE et.al. (2008). Em bacias com forma circular há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda sua extensão concentrando grande volume de água no tributário principal (cheias rápidas) o que não ocorre em bacias alongadas.

### 3.1.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO

Em relação aos solos, a BHRM possui oito classes, em sua maior parte os Cambissolos e os Neossolos Quartzarênicos, de acordo com a base do Zoneamento Sócio Ecológico Econômico Social da SEPLAN – Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral do Mato Grosso. A caracterização sumária das classes em questão é descrita nesse item.

#### *CAMBISSOLOS*

Segundo o Manual Técnico de Pedologia/IBGE (2007), os Cambissolos são solos que podem ocorrer desde rasos a pouco profundos, além de apresentarem grande variabilidade também em relação às demais características. São solos minerais não hidromórficos, com horizonte A sobre horizonte B Incipiente, ou seja, um horizonte pouco evoluído. Possuem pouca diferenciação de horizontes, ausência de acumulação de argila, textura franco-arenosa ou mais fina (mais argilosa), cores normalmente amareladas e brunadas. (BALDISSERA, 2005). Quando derivados de rochas cristalinas (gnaiesses, granitos, migmatitos, xistos, filitos, etc), de um modo geral, apresentam materiais primários facilmente decomponíveis no interior de sua massa, e podem ser muitas vezes, pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos.

---

<sup>13</sup> SCHUMM, S.A. Evolution of drainage Systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Bulletin of Geological Society of America**, n.6. p. 597-646, 1956.

### ***GLEISSOLOS***

São solos minerais hidromórficos, com horizonte Glei abaixo do horizonte superficial (A ou H, com menos de 40 cm) e cores características de oxidação-redução, normalmente cinzentos ou azulados. São solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc). São mal, ou muito mal drenados, encharcados, suas maiores limitações de uso. Ocorrem em áreas baixas, com textura variável de média a muito argilosa, argila de atividade baixa ou alta, saturação por bases normalmente baixas, por vezes álicos. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos. (Manual Técnico de Pedologia/IBGE, 2007)

### ***LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO***

São solos de horizonte B textural, que apresentam um incremento de argila com a profundidade e distinta individualização de horizontes. Os perfis são bem drenados, moderadamente porosos, de textura média ou argilosa, com estrutura em blocos subangulares. Geralmente possuem baixa fertilidade natural. Em geral, apresentam erosão moderada a forte, dependendo do relevo e da posição na paisagem. Cuidados especiais têm que ser tomados para o manejo destes solos, especialmente com aqueles que ocorrem em relevo acidentado, o que restringe sua utilização intensiva. (MACEDO, 1994)<sup>14</sup> apud MICHELE MORO (2005). Possuem cores normalmente vermelhas a vermelho-amareladas, com teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (proveniente do ataque sulfúrico) iguais ou inferiores a 11% e, normalmente acima de 7%, não apresentam atração magnética. Ocorrem em praticamente todo o território brasileiro e quando de textura argilosa, são muito explorados com lavouras de grãos mecanizadas e quando de textura média, são usados basicamente com pastagens. (Manual Técnico de Pedologia/IBGE, 2007).

---

<sup>14</sup> MACEDO, J. Solos do Cerrado. In: FERREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Solos Altamente Suscetíveis a Erosão. Jaboticabal: UNESP, FCAV; SBCS, 1994. Cap2, p.69-76.

### *LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO*

São muito profundos, bem drenados, friáveis ou muito friáveis, de textura argilosa ou muito argilosa e media. Os solos mais oxídicos, de textura argilosa ou muito argilosa, possuem baixa densidade aparente (0,84 a 1,03 g/cm<sup>3</sup>) e porosidade muito alta ou alta, com valores variando de 62 a 70% indicando boas condições físicas. Possuem cores vermelho-escuras, vermelhas ou bruno-avermelhado escuras, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural (necessitam correções químicas para aproveitamento agrícola). Ocorrem em praticamente todas as regiões do Brasil, mas têm grande expressividade nos chapadões da região central (Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Minas Gerais e outros). São responsáveis por boa parte da produção de grãos em sistemas de manejo desenvolvido desta região do país.

### *NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS*

Esta classe compreende solos minerais arenosos, hidromórficos ou não, normalmente profundos ou muito profundos, essencialmente quartzosos, virtualmente destituídos de minerais primários, pouco resistentes ao intemperismo. Possuem textura nas classes areia e areia franca, até pelo menos 2 metros de profundidade. São solos normalmente muito pobres capacidade de troca de cátions e saturação de bases baixas, frequentemente álicos e distróficos. (BALDISSERA, 2005). Os Neossolos Quartzarênicos, muito expressivos no Brasil, são comuns na região litorânea e em alguns estados do Nordeste, ocupam também grandes concentrações em alguns estados do Centro-oeste e Norte, como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins, de acordo com o Manual Técnico de Pedologia/IBGE, (2007).

### *NEOSSOLO LITÓLICO*

Segundo MACEDO (2006), são solos rasos, pedregosos, com um horizonte A assentado diretamente sobre um horizonte C ou sobre a rocha. São de textura bastante variada, predominando a fração areia, e de fertilidade variável. São encontrados em regiões de relevo forte, ondulado a montanhoso. São solos que

apresentam alto risco de erosão, limitando sua capacidade de uso. São solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos (2 cm até a rocha), com horizonte A sobre a rocha ou sobre o horizonte C, sendo que estes horizontes apresentam, geralmente, fragmentos de rocha. São de textura variável, freqüentemente arenosa ou média cascalhenta, ocorrendo textura argilosa e raramente siltosa. São também heterogêneos quanto às propriedades químicas, podendo ser álicos, distróficos ou eutróficos, com capacidade de troca de cátions variando de baixa a alta. Tem sua origem relacionada a vários tipos de material geológicos, desde rochas ígneas, a sedimentares e metamórficas, de básicas a ácidas. (BALDISSERA, 2005).

### ***ORGANOSSOLOS***

Constituem solos pouco evoluídos, segundo o Manual Técnico de Pedologia/IBGE (2007), compostos por material orgânico proveniente de acumulação de restos vegetais em grau variado de decomposição, em ambientes mal a muito mal drenados ou úmidos de altitude elevada, que ficam saturados com água por poucos dias no período chuvoso. Tem coloração preta, cinzenta muito escura ou marrom e apresentam elevados teores de carbono orgânico. Há registros de ocorrência destes solos em áreas pequenas no estado de São Paulo, Paraná, zonas litorâneas do Sul e Sudeste além da presença significativa em planícies de córregos nos planaltos do Brasil Central. São solos que tem elevados teores de água em sua constituição, o que dificulta muito o seu manejo para exploração agrícola.

### ***PLINTOSSOLO (PÉTRICO OU CONCRECIONÁRIO)***

São solos caracterizados principalmente pela presença de expressiva plintização com ou sem petroplintita (concreções de ferro ou cangas), possuem baixa saturação por bases, ou seja, distróficos. Geralmente possuem boa drenagem, horizontes diagnósticos concrecionários e/ou plíntico. A textura destes solos é variável, tipicamente cascalhenta. São usados apenas para pastoreio extensivo quando sob vegetação campestre ou de Cerrado, ou ainda com pasto plantado.

No que diz respeito à constituição Geológica, a BHRM compreende as seguintes unidades, de acordo com a SEPLAN (2001):

- **Tpspl – Terciário:** essa classe pertence ao período terciário, e representa superfícies Paleogênicas Pleleplanizadas com Latossolização. Paleossolos argilosos e argilo-arenosos microagregados de coloração vermelha-escura. Podem apresentar na base, crosta ferruginosa, raramente com nódulos concrecionários de caulinita sotopostos às crostas ferruginosas.
- **PScb – Grupo Cuiabá:** presença de filitos diversos, metassiltitos, ardósias, metarenitos, metaconglomerados, xistos, quartzitos, mármore calcíticos e dolomíticos. Presença conspícua de veios de quartzo.
- **Jb – Formação Botucatu:** pertencente ao grupo São Bento, a Formação Botucatu, é representada presença de arenitos finos a médios, bimodais, com grãos bem arredondados e estratificações cruzadas de grande porte. Podem ocorrer na forma de intertrapes com basaltos. Desenvolvem extensos areais.
- **Ha – Quaternário:** representa os aluviões atuais: areias, siltes, argilas e cascalhos.
- **JKsg – Formação Serra Geral:** também pertencente ao Grupo São Bento, a Formação da Serra Geral compreende os derrames basálticos toleíticos de textura afanítica, cor cinza escura a negra e textura amigdaloidal no topo dos derrames.

Em relação à Geomorfologia, A área de estudo se divide em três unidades geomorfológicas, a saber: o Planalto Central de Mato Grosso, representado pela Chapada dos Guimarães, situada nas cotas 500 a 600 metros de altitude, a Província Serrana, constituída de um sistema contínuo de serras paralelas e com relevo muito acidentado e a Baixada Cuiabana, com topografia típicas de superfícies suavemente onduladas, com cotas médias de 250 metros. (CHILETTO, 2005).

Para a caracterização da vegetação, segundo CHILETTO (2005), as formações de Cerrado ocupam grande parcela do estado do Mato Grosso (cerca de 13% de sua superfície), estendendo-se para a porção sul e sudoeste do Planalto dos Parecis, na Chapada dos Guimarães, na Depressão Cuiabana, no Planalto Taquari/Alto Araguaia, nas depressões do Alto Paraguai-Guaporé, nas planícies e Pantanal Mato-grossense. Em relação a área de estudo, a vegetação é caracterizada

por três tipos principais: a Floresta Tropical de transição, o Cerrado e a Mata de galeria.

Situada em maior concentração ao norte do estado, portanto, na área de estudo, somente uma pequena percentagem desta classe, é encontrada. Corresponde ao prolongamento da Floresta Amazônica, a Floresta Tropical ocorre em regiões baixas e ao longo de córregos e rios. Geralmente constituídos de árvores de grande porte (15m), com copas não muito densas e raízes pouco profundas. Em razão da antiga e significativa ocupação nessa porção do estado, esta formação encontra-se hoje muito alterada, havendo poucas manchas remanescentes.

Constituindo-se de uma vegetação típica local, o cerrado domina as partes elevadas e conseqüentemente os divisores de águas. São formados por árvores de pequeno porte com caules retorcidos e o solo é coberto por gramíneas ralas.

Em meio a vales e ao longo de cursos de água, pode-se encontrar a mata de galeria.

As condições climáticas da área de estudo permitem concluir que a região Centro-oeste do Brasil apresenta condições hídricas bastante contrastantes entre as estações do verão e inverno. O verão é essencialmente quente e chuvoso, enquanto o inverno é menos quente e seco. No verão, de acordo com BALDISSERA (2005), os sistemas de massas de ar predominantes nesse período, deslocam-se para o norte durante o inverno, e este, caracteristicamente seco, possui temperaturas mais amenas em virtude da freqüente invasão das massas de ar frias originárias das áreas extratropicais.

A área de estudo está submetida ao domínio de climas equatoriais e tropicais quentes, (IBGE, 1989). Sendo uma das principais propriedades climáticas desta realidade o fato de estar situada em uma área de transição entre climas tropicais continentais recobertos de cerrado e climas equatoriais continentais recobertos com floresta amazônica. Da mesma maneira a localização continental distante entre 1.400 e 2.000 km do oceano Atlântico, lhe confere padrões climáticos sazonais, com alternância entre uma estação úmida (de novembro a abril) e uma estação seca (de maio a setembro).

De acordo com SEPLAN (2001), os climas relacionados a área de estudo têm suas características relatadas a seguir:

- IIIA2a: Clima representativo para a região, com predomínio do topo da Chapada dos Guimarães, com altitudes variando entre 600 e 700 metros, temperatura mínima variando entre 17 e 18 graus, máximas variando entre 29 e 30 graus, com uma média de 5 meses de seca e um total de precipitação anual de 1.650 a 1.990 mm.
- IIIC7: Clima representado para a região como sendo característico de serras e nascentes do Alto Cuiabá. Possui temperaturas mínimas variando entre 18,3 e 19,9 graus e máximas variando entre 30 e 31,8 graus. Possui total de precipitação variando entre 1.600 e 1700 mm/ano em elevações que variam de 300 a 550 metros de altitude.
- IIID3a: Clima da região denominada “Baixada Cuiabana” ou “Depressão Cuiabana”, esta localizada sob altitudes variando de 200 a 300 metros, com precipitação anual variando entre 1.400 e 1.600 mm, temperaturas mínimas entre 19,8 e 20,4 graus e máximas variando entre 31,8 e 32,4 graus. Possui média de 5 meses de seca por ano.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo visa descrever os procedimentos para a construção da base cartográfica da área de estudo, o levantamento e a elaboração dos dados de entrada do modelo AVSWAT2000 e sua manipulação. Visa também, descrever os passos da simulação de cenários e elaboração dos mapas de suscetibilidade a erosão.

### **4.2 PROCESSAMENTO DE DADOS ESPACIAIS E TABULARES**

De acordo com as justificativas do presente trabalho, para simular a produção de sedimentos na bacia em questão, foi utilizado o modelo AVSWAT -2000 com a interface de Sistemas de Informações Geográficas – SIG's. O modelo é integrado com o ArcView (ESRI) do software GIS – *Geographic Information System* (NEITSCH et.al, 2002). Para a utilização do modelo foram necessários os seguintes componentes computacionais:

- Software *ArcView 3.2*, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*);
- Extensões ArcView : *ArcView Spatial Analyst* Versão 1.1 e *ArcView 3D Analyst* Versão 1.0;
- Interface ArcView/ *SWAT- Soil and Water Assessment Tool*, Versão 2000, desenvolvido pelo Blackland Research Center da Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agriculture Research Service;
- Software *ArcGis*, desenvolvido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, versão 9.2;

O modelo AVSWAT requer uma grande quantidade de dados de entrada que dizem respeito às características físicas da bacia. Características essas, que deveriam ser coletadas em campo, monitoradas e analisadas. Na falta desses dados, este trabalho foi realizado utilizando-se alguns dados secundários, já realizados em trabalhos anteriores, como o de BALDISSERA (2005), evitando-se o levantamento experimental das informações necessárias, o que demandaria uma grande quantidade de tempo, porém seria o mais correto e ideal. Outros dados também utilizados foram adaptados de outros autores para esta região do Mato Grosso.

Tal modelo vem sendo aplicado há pouco tempo no Brasil, e como se tem conhecimento, o país ainda não possui uma base de dados completa e eficiente, no que diz respeito a parâmetros relativos a solos e usos do solo, na escala de levantamento e mapeamentos detalhados, como ocorre nos Estados Unidos, de onde se originou o modelo AVSWAT.

O modelo requer parâmetros climáticos, de solos, hidrológicos e topográficos para o desenvolvimento do trabalho. O primeiro passo para a definição desses parâmetros é através dos planos de informação cartográficos – PIS, que são inseridos, juntamente com os dados alfanuméricos no sistema através da interface. A criação dos PI's já havia sido realizada no trabalho de BALDISSERA (2005), através do ArcView e foi utilizado neste trabalho, salvo algumas modificações. Os PI's necessários para o funcionamento do modelo SWAT são: Modelo Numérico de Terreno (MNT), Hidrografia, solos e uso e ocupação do solo. Estes PI's, foram realizados para a bacia do rio Cuiabá, e foram devidamente recortados, no modelo, para corresponder à bacia do rio Manso, que faz parte da bacia do Cuiabá.

O modelo exige uma mesma projeção para todos os PI's e foi utilizada a projeção *Universal Transversa de Mercator* – UTM, *South America Datum* – 1969, (SAD 69), Zona 21 Sul.

Na Figura 3, pode-se observar o processo de funcionamento do modelo, com os planos de informação requeridos e a interface necessária.

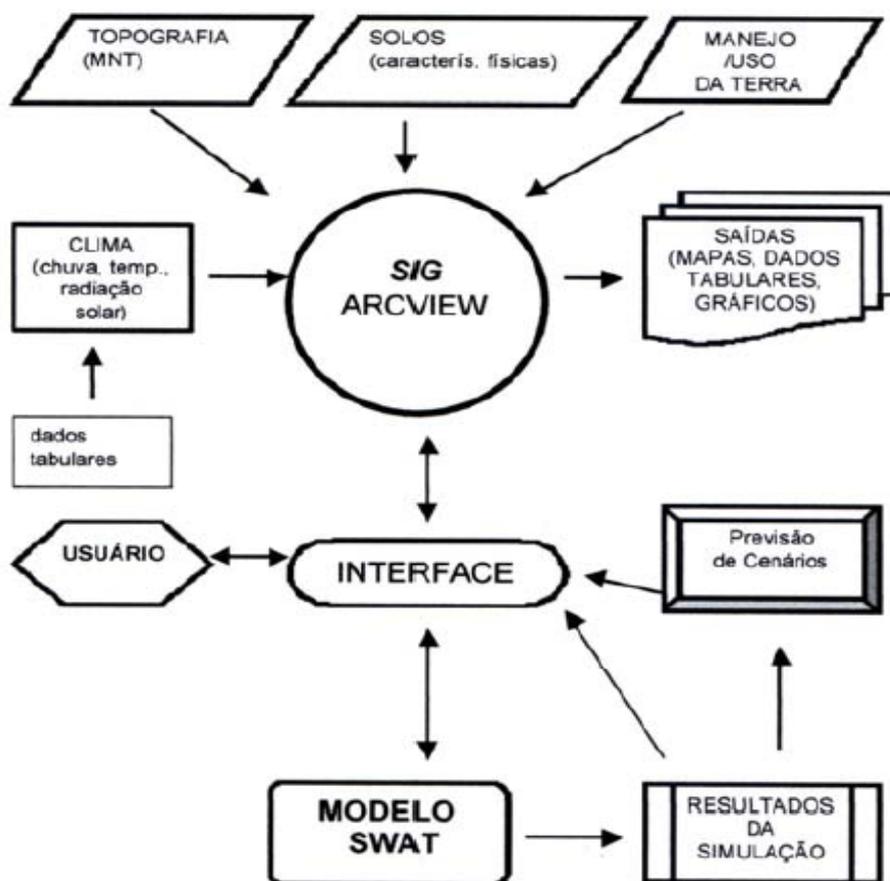


FIGURA 3: Processo de funcionamento do AVSWAT.

Fonte: MACHADO (2002)

Os planos de informação representam o processo inicial de entrada de dados no modelo. Esta etapa define o levantamento da informação e a definição pelo modelo do limite da área de estudo.

#### 4.2.1 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO – MNT

O processo de simulação em uma bacia no AVSWAT começa com a inserção de um Modelo Numérico de Terreno que pode ser definido como a representação matemática de uma superfície ou feição altimétrica através das coordenadas X, Y e Z. Foi feito para a bacia do rio Cuiabá, para uma área de aproximadamente 29.000 km<sup>2</sup>, conseqüentemente englobando a BHRM, pertencente à mesma. Foi discretizada em células de área igual a 22.500 m<sup>2</sup> (150m X 150m – 2,25 hectares), formando

assim uma matriz de células sobre a bacia. A escolha da área da célula foi definida de forma a captar a resolução espacial máxima correlatada com a qualidade das informações plani-altimétricas das cartas topográficas utilizadas para a interpolação do MNT. O MNT foi realizado por LIBOS (2002), e cedido ao presente trabalho ZEILHOFER (2008)<sup>15</sup>.

A partir do Modelo Numérico de Terreno foi realizado o procedimento de interpolação das curvas de nível, em cartas de 1:100.000, de 20 em 20 metros possibilitando determinar as classes hipsométricas.

O MNT também possibilitou, através da ferramenta *Spatial Analyst*, a geração das classes de declividade. Foi elaborado o perfil topográfico longitudinal do rio Manso através das curvas de nível. As classes de declividade, utilizadas na elaboração do mapa de declividade, foram propostas por RAMALHO FILHO & BEEK (1995), em função dos graus de limitação ao desenvolvimento de culturas por suscetibilidade a erosão.

TABELA 2: Relevo em função das classes de declividade

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Relevo</b>
<b>0 a 3%</b>	Plano/praticamente plano
<b>3 a 8%</b>	Suave ondulado
<b>8 a 12%</b>	Moderadamente Ondulado
<b>12 a 20%</b>	Ondulado
<b>20 a 45%</b>	Forte ondulado
<b>45 a 100%</b>	Montanhoso
<b>Acima de 100%</b>	Escarpado

#### **4.2.2 HIDROGRAFIA DA BHRM**

A carta hidrográfica utilizada foi a gerada através da união das cartas número 372, 373, 388, 389 e 404 no software ArcView sendo todas elas do Fuso 21, na escala de 1:250.000 (SEPLAN, 2004), em formato vetorial. Para o processo de divisão das sub-bacias, o programa adiciona automaticamente os pontos de confluência da rede hidrográfica que são os exutórios das sub-bacias a partir da

<sup>15</sup> ZEILHOFER, P. Comunicação pessoal, 2008

malha hidrográfica e do MNT delimitando a formação das sub-bacias. Escolhido o exutório, o modelo gera os *streams*, ou seja, a rede de canais hídricos. Devido à existência de uma área inundada, o reservatório de Manso, esses canais não foram bem delimitados, sendo necessária a utilização de uma máscara referente à carta de drenagem da área de estudo.

O SWAT divide automaticamente, a bacias hidrográfica em sub-bacias, cada uma das sub-bacias é associada a um curso de água. A configuração das sub-bacias, delineada pelo modelo, pode ser alterada caso seja necessário, ou interesse.

#### **4.2.3 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Para o mapa de uso e ocupação do solo, foi utilizado o PI cedido por BALDISSERA (2005) e realizado por LIBOS, (2002), que conduziu uma classificação supervisionada das quatro imagens Landsat 7 – ETM+ (índices WRS 226/70 e 226/71 de 02 de julho de 2000 e índices WRS 227/70 e 227/71 de 27 de julho de 2000) identificando classes de ocupação do solo referentes à toda Bacia do Rio Cuiabá. Essa primeira classificação foi recodificada para melhor se adaptar ao modelo AVSWAT, e também recortada à área de estudo, BHRM.

Devido ao enchimento do reservatório da APM Manso, no ano de 2000, na área de estudo, e no período de simulação ele ainda não ocorria, a classe predominante na área anteriormente à barragem, definida como cerrado, foi substituída pela classe “água” relativo à área inundada, a fim de simular o Cenário de produção e distribuição de sedimentos na presença de um reservatório.

A substituição de uma classe pela outra, é feita manualmente, direto no programa, e em seguida reclassificada. Essa modificação foi feita, pois para o período de simulação (1994-1999), ainda não existia a barragem de manso, conseqüentemente não havia área inundada.

#### **4.2.4 MAPA PEDOLÓGICO**

O PI pedológico para o modelo foi gerado através da união das cartas pedológicas SD-21-Z-A; SD-21-Z-B; SD-21-Z-C e SD-21-Z-D, todas do fuso 21, na

escala 1:250.000 (SEPLAN, 2001). Tais classes representam tipos de associações pedológicas, reunidas pela SEPLAN, e não classes detalhadas dos solos da região, sendo esta base de dados, a única existente para a elaboração do presente trabalho.

Foram encontradas oito classes principais de solos, ou seja, sem considerar as características álica, eutrófica e distróficas. Tais características foram excluídas, pois são referentes à fertilidade do solo, com interferência dispensável nos processos erosivos.

#### **4.2.5 UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA – HRU’S**

Para o propósito de modelagem, a bacia é dividida em sub-bacias. Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológicas, as quais correspondem a uma única combinação de uso da terra e do solo. Uma ou mais combinações de uso da terra/solo podem ser criadas para cada sub-bacia. Subdividir a bacia em áreas contendo combinações únicas possibilita ao modelo considerar diferentes condições hidrológicas para diferentes usos e solos. O escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia. Isso pode aumentar a precisão das predições e fornecer uma melhor descrição física do balanço de água na bacia. (ARNOLD et.al, 1998).

O modelo fornece duas opções de distribuição de HRU’s:

- *Dominant* HRU: em cada sub-bacia, a combinação uso do solo e o tipo de solo que apresentarem maior extensão, é considerado para toda a área da sub-bacia, e os demais tipos serão descartados;
- *Multiple* HRU’s: múltiplos HRU’s serão estabelecidos. Serão criadas várias combinações de usos e tipos de solos para cada sub-bacia gerada, de acordo com o nível de sensibilidade escolhida pelo usuário do programa.

A elaboração das HRU’s envolve dois passos: primeiro os usos do solo das sub-bacias são identificados. Uma vez que esses usos a serem modelados forem determinados, os diferentes tipos de solos são selecionados. Dessa forma, cada HRU estabelecida apresentará uma combinação única entre um tipo de uso do solo com um tipo de solo, caso a escolha seja a “*Dominant HRU*”.

Para as simulações realizadas nesse trabalho, optou-se pelo estabelecimento das múltiplas HRU's para evitar a perda ou alteração das informações reais relacionadas aos usos do solo e aos tipos de solos que são encontrados.

#### **4.2.6 DADOS TABULARES**

O SWAT possui no seu banco de dados interno, informações de estações meteorológicas e pedológicas dos E.U.A.. Por isso fez-se necessário entrar com dados de clima diários e médias anuais e com as características físicas dos solos relativos à bacia hidrográfica do Rio Manso. Esses dados alfanuméricos alimentam o modelo para toda a bacia em questão, e devem possuir os formatos exigidos pelo modelo, ou seja, em forma de tabelas previamente definidas pelo SWAT e salvas com as devidas extensões. Dados de tipos de solos: (.SOL); dados climáticos (.WGN) e dados de uso do solo (.CROP.DAT). Existem ainda outras extensões para entrada no modelo como, dados de área urbana, dados de fertilizantes, dentre outros, que não foram objeto de estudo desse trabalho. Todos esses dados mencionados podem ainda serem adicionados especificamente para cada sub-bacia originada na área de estudo durante o processo de simulação.

##### **4.2.6.1 PARÂMETROS CLIMÁTICOS**

Para a alimentação do modelo em relação aos dados climáticos, os dados se dividem em dois tipos: dados diários e dados mensais. Os dados diários utilizados foram médias diárias ou somas diárias relacionadas aos seguintes fatores: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar.

Os dados mensais utilizados são médias (do respectivo mês) referentes a todos os anos simulados. As variáveis climáticas solicitadas pelo modelo são: localização geográfica da estação, altitude, número de anos dos dados acumulados, média mensal de temperatura máxima diária (TMPMX), média mensal de temperatura mínima diária (TMPMN), desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês (TMPSTDMX), desvio padrão para a temperatura mínima diária

de cada mês (TMPSTDMN), média mensal da precipitação total (PCPMM) desvio padrão para a precipitação diária do mês (PCPSTD), probabilidade de dia úmidos seguidos de dias secos para o determinado mês (PR\_W1), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês (PR\_W2), média mensal de dias de precipitação (PCPD), valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um determinado mês (RAINHHMX), média de radiação solar diária para um determinado mês (SOLARAV), media diária do ponto de orvalho para determinado mês (DEWPT), média diária da velocidade do vento par determinado mês (WNDV).

Os dados climáticos utilizados na simulação do modelo SWAT, foram disponibilizados por BALDISSERA (2005) e ZEILHOFER (2008) e foram referentes aos anos de 1994 a 1999, constituindo um total de cinco anos de dados contínuos.

Os dados foram cedidos pela Estação Meteorológica da Fazenda Experimental da UFMT, no município de Santo Antonio do Leverger/MT, e pela Estação Meteorológica (83361) de Cuiabá, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (código oficial 1556002).

Na Tabela 3, são encontradas as localizações das estações meteorológicas. A seguir será explicado como os parâmetros climáticos foram levantados e ajustados a fim de darem entrada ao modelo.

TABELA 3: Localização das estações meteorológicas

<b>Estações</b>	<b>Sto.Ant. Leverger</b>	<b>Cuiabá</b>
<b>XPR</b>	598164	594721
<b>YPR</b>	8243410	8280639
<b>Elevação</b>	140 m	184,57 m

Os dados de precipitação foram obtidos através do sitio *Hidroweb*, da Agência Nacional de Águas – ANA, disponível em [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br). Foram utilizados dados de sete estações pluviométricas ( Tabela 4), por possuírem a mesma extensão da série temporal e por estarem localizados dentro e próximos à bacia, além das duas estações meteorológicas de Santo Antônio do Leverger e de Cuiabá (INMET), anteriormente citadas.

TABELA 4: Localização das estações pluviométricas

<b>Estações</b>	<b>Código oficial</b>	<b>XPR (m)</b>	<b>Ypr (m)</b>	<b>Elevação (m)</b>
<b>Quebo</b>	1456004	598707	8378333	226
<b>Rosário Oeste</b>	1456008	566327	8350790	198
<b>Fazenda Estiva</b>	1555008	634258	8317316	417
<b>Nossa Senhora da Guia</b>	1556000	584068	8300957	174
<b>Livramento</b>	1556001	569615	8253074	231
<b>Acorizal</b>	1556005	568022	8319449	175
<b>Fazenda Seco</b>	1556006	542860	8264203	265

Cada fator ambiental deve ter a mesma série temporal, pois o modelo correlaciona as estações através das tabelas com as coordenadas de localização, e gera uma única tabela para cada parâmetro climático. As tabelas devem estar no mesmo padrão exigido pelo modelo, e cada parâmetro possui um padrão diferente.

Os dados de radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa foram simulados pelo SWAT, utilizando o gerador climático WXGEM, baseado nos dados da série histórica fornecidos ao banco de dados do modelo. Através de dados fornecidos pela estação meteorológica da UFMT e pela estação do INMET em Cuiabá, obteve-se a média e o desvio mensal para todos os anos, de acordo com a disponibilidade de dados de cada fator ambiental.

#### *4.2.6.1.1 TEMPERATURA NO PONTO DE ORVALHO*

Estimou-se a temperatura no ponto de orvalho – DEWPT, através de dados de umidade relativa e temperatura do ar, pois a umidade relativa do ar (UR%) é dada pela relação entre a quantidade de vapor existente no ar e a que existiria se o mesmo estivesse saturado, na mesma temperatura.

#### *4.2.6.1.2 RADIAÇÃO SOLAR*

Para a estimativa da energia solar incidente no solo considerando a atmosfera ausente – SOLARAV, calculou-se a declinação solar, o ângulo no pôr-do-sol e o ângulo zenital, segundo OMETTO (1981).

#### 4.2.6.1.1 ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO

Para os dados de entrada no gerador climático WXGEN, na estimativa da precipitação, apenas os dados das estações da UFMT em Santo Antonio de Leverger e do INMET em Cuiabá foram utilizadas. Foi realizada a estimativa da probabilidade dos dias de chuva seguidos de dias de seca e a estimativa da probabilidade dos dias de chuva seguidos de dias de chuva. Foi realizada também a estimativa da precipitação máxima de 0,5 horas no mês, definido como RAINHHMX, e foi utilizado o método de CHOW (1964)<sup>16</sup> apud BALDISSERA (2005), para frequências hidrológicas.

Foram digitados todos os valores calculados, diretamente no banco de dados do programa, a partir da interface gráfica exposta na Figura 4.

---

<sup>16</sup> CHOW, VEN TE. **HANDEBOOK OF APPLIED HIDROLOGY**. Ed. MacGraw-Hill, Inc. 1964. EUA.

FIGURA 4: Janela de entrada de dados climáticos do AVSWAT

#### 4.2.6.2 PARÂMETROS DIÁRIOS PARA A SIMULAÇÃO NO MODELO SWAT

O modelo requer dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), radiação solar incidente ( $\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$ ), velocidade do vento (m/s), e umidade relativa do ar (%). Requer também a tabela de localização desses postos. Esses parâmetros são inseridos diretamente no banco de dados do modelo, de acordo com as exigências de formatação definidas pelo mesmo. Os valores usados neste trabalho foram obtidos a partir do trabalho de BALDISSERA (2005).

Na Figura 5 é apresentada a janela onde se inserem os dados diários e a localização das estações climáticas: localização dos postos pluviométricos e das estações meteorológicas, valores diários de temperatura, velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa.

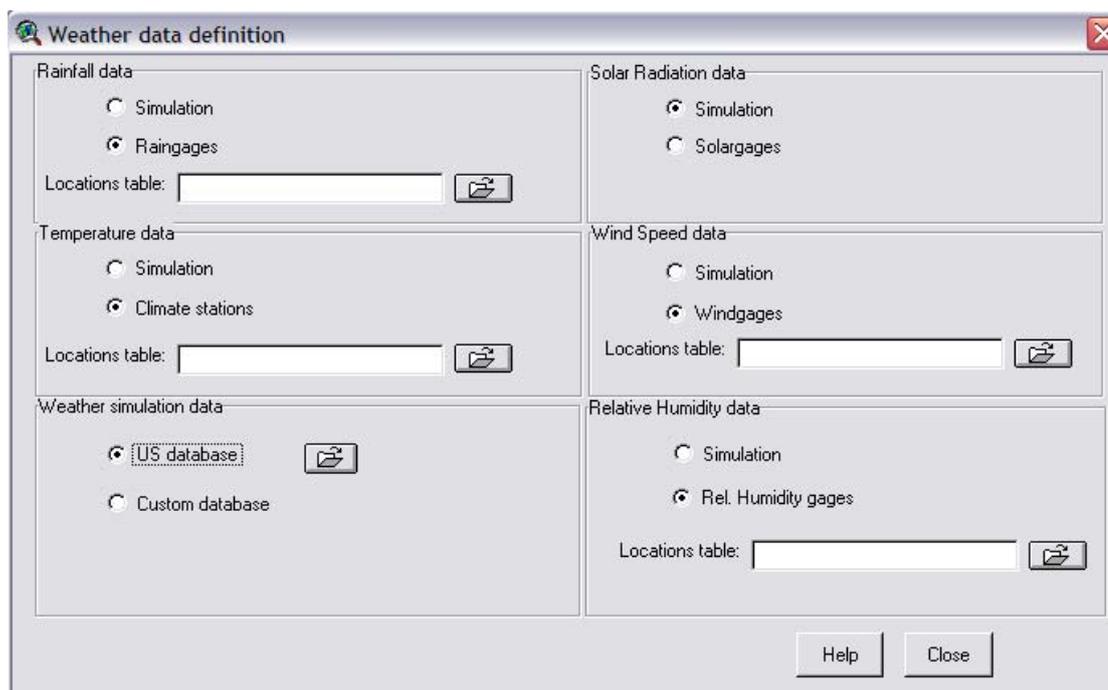


FIGURA 5: Janela de entrada de dados meteorológicos diários no AVSWAT

#### 4.2.6.3 PARÂMETROS DE SOLO

O banco de dados requer informações das características físico-hídricas de cada classe de solo, como grupos de saturação ou hidrológico (HYDGRP), profundidade máxima de solo que a raiz alcança (SOL\_ZMX), porosidade (ANION\_EXCL), profundidade da camada (SOL\_Z), densidade aparente (SOL\_BD), capacidade de água disponível no solo (SOL\_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL\_K), erodibilidade (USLE\_K), albedo, sendo este relativo à parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal (SOL\_ALB), conteúdo de carbono orgânico (SOL\_CBN), e, percentagem de argila, silte, areia e seixo. Tais características e atributos exigidos pelo modelo SWAT não se encontraram disponíveis para os solos existentes na área objeto, exigindo desta maneira, uma adaptação com a utilização de dados de classes pedológicas similares obtidos do Levantamento Pedológico Semidetalhado do Projeto Jequitai/MG –CODEVASF/ces (1977), área também de Cerrado, adaptados por BALDISSERA (2005) e do levantamento de solos do estado de São Paulo, por BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).

#### 4.2.6.3.1 GRUPOS HIDROLÓGICOS

De acordo com U.S. *Natural Resource Conservation Service* (NRCS Soil Survey Staff, 1986), os solos são classificados em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) em função dos valores de condutividade hidráulica (mm/h) de cada classe de solo nos seus distintos horizontes. OLIVEIRA et.al (1999), e LOMBARDI NETO, (1989), elaboraram uma tabela e adaptaram 37 perfis representativos de grandes grupos de solo encontrados no Estado de São Paulo, baseando-se nas características físicas dos solos, OLIVEIRA et al. (1999) apresenta uma proposta para o enquadramento das classes gerais de solos registrados no atual mapa pedológico do estado de São Paulo, levando em consideração as características de cada grupo hidrológico. Os solos encontrados na área de estudo foram enquadrados nestes grupos, de acordo com o Quadro 2,

QUADRO 2: Grupos hidrológicos

<b>GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO</b>	<b>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS</b>
<b>A</b>	Solos muito profundos (>200cm) ou profundos (100 a 200 cm); solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância á erosão; solos porosos com baixo gradiente textural (<1,20); solos de textura média; solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil; solos bem drenados ou excessivamente drenados; solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser media/media argilosa/ e muito argilosa
<b>B</b>	Solos profundos (100 a 200 cm); solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50 cm; solos de textura arenosa ao longo do perfil ou

	de textura média, mas com horizonte superficial arenoso; solos com textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo perfil; solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; a textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.
<b>C</b>	Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância a erosão; são solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; solos associados a argila de atividade baixa (Tb); a textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/media e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta: arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
<b>D</b>	Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência tolerância a erosão; solos rasos (prof.<50 cm); solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1; solos argilosos associados à argila de atividade alta; solos orgânicos.

Fonte: Adaptado de LOMBARDI NETO et.al. (1989).

Cada tipo de solo encontrado na bacia do rio Manso foi reclassificado, de acordo com o grupo hidrológico que mais se identificava com as classes do Quadro 3.

Dentre essas classes de solos, estão as classes predominantes encontradas na BHRM, e que foram inseridas diretamente no banco de dados do modelo. Os grupos hidrológicos são descritos como A, B, C e D.

QUADRO 3: Enquadramento dos tipos de solos aos grupos hidrológicos

<b>GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO</b>	<b>CLASSES GERAIS DE SOLO</b>
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latossolo amarelo, Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo vermelho, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade;</li> <li>• Latossolo amarelo e Latossolo vermelho amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latossolo amarelo e Latossolo vermelho amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa;</li> <li>• Latossolo Bruno;</li> <li>• Nitossolo vermelho;</li> <li>• Neossolo Quartzarênico;</li> <li>• Argissolo vermelho ou vermelho amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argissolos pouco profundos, mas não apresentando mudança textural abrupta; ou Argissolo vermelho, Argissolo vermelho amarelo e Argissolo amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta;</li> <li>• Cambissolo de textura média e Cambissolo Háptico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (latossólicos);</li> <li>• Espodossolos ferrocárbico;</li> <li>• Neossolo Flúvico.</li> </ul>
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neossolo Litólico;</li> <li>• Organossolo;</li> <li>• Gleissolo;</li> <li>• Chernossolo;</li> <li>• Planossolo;</li> <li>• Vertissolo;</li> <li>• Alissolo;</li> <li>• Luvisolo;</li> <li>• Plintossolo;</li> <li>• Solos de mangue;</li> <li>• Afloramentos de rocha;</li> <li>• Demais Cambissolos que não se enquadram no grupo C, Argissolo vermelho amarelo e Argissolo amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abruptas.</li> </ul>

Fonte: LOMBARDI NETO et. al (1975)

Os parâmetros exigidos pelo modelo podem ser vistos no Quadro 4. Estes dados não foram obtidos a partir dos solos existentes na área de estudo, e sim, do levantamento pedológico de outra área. Porém, sabe-se que, mesmo havendo os mesmos grupos de solos em ambas as áreas, os solos apresentam propriedades diferentes. Isso pode comprometer os resultados obtidos.

QUADRO 4: Descrição dos parâmetros de solos exigidos pelo modelo AVSWAT

<b>PARÂMETROS DO MODELO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>SNAM</b>	Classificação do solo: nome dado a cada classe
<b>NLAYERS</b>	Número de camadas: horizontes do solo
<b>HYDGRP</b>	Grupo de mínima saturação hidráulica: grupo hidrológico (A, B, C D)
<b>SOL_ZMX</b>	Profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)
<b>ANION_EXCL</b>	Fração de porosidade do solo (fração)
<b>SOL_Z</b>	Profundidade da camada, do horizonte (mm)
<b>SOL_BD</b>	Densidade do solo (g/cm)
<b>SOL_AWC</b>	Capacidade de água no solo (mm/mm)
<b>SOL_K</b>	Condutividade hidráulica saturada (mm/hr)
<b>SOL_CBN</b>	Conteúdo de carbono orgânico do solo (% peso do solo)
<b>CLAY</b>	Porcentagem de argila no solo (% peso solo)
<b>SILT</b>	Porcentagem de silte no solo (% solo)
<b>SAND</b>	Porcentagem de areia no solo (% solo)
<b>ROCK</b>	Porcentagem de cascalho no solo (% volume)
<b>SOL_ALB</b>	Albedo do solo (fração)

Fonte: NEITSCH et.al. (2002)

#### 4.2.6.3.2 CURVA DE NÚMERO

Desenvolvida pelo Serviço de Conservação dos Solos (*Soil Conservation Service – SCS*) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture – USDA*) a curva número (CN) é um parâmetro utilizado para o cálculo do escoamento superficial descrevendo o tipo de solo, sua utilização e condição de superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial.

O CN é um método baseado em dados da relação entre intensidade de chuva, condições da superfície da terra, e volume do escoamento superficial sendo o valor do CN uma função do uso e ocupação do solo, das condições hidrológicas, do grupo hidrológico do solo e condições de umidade inicial do solo.

O SCS obteve curvas que correlacionam a precipitação com o escoamento de várias sub-bacias dos E.U.A.. Para a padronização dessas curvas, números adimensionais foram estabelecidos, as chamadas Curvas de Número ou CN's.

O valor de CN está compreendido entre 0 e 100, correspondendo a zero para uma bacia de condutividade hidráulica infinita e o cem a uma bacia totalmente impermeável.

As tabelas com os valores tabelados de CN com relação ao uso e ocupação do solo e do grupo hidrológico utilizados pelo modelo podem ser encontradas no manual do SWAT - 2000, (NEITSCH, 2002).

#### 4.2.6.3.3 FATOR K (USLE\_K)

O fator K de erodibilidade - *Universal Soil Loss Equation* (USLE\_K) representa o potencial erosivo do solo, a maior ou menor facilidade com que o solo pode ser erodido. Alguns solos são mais erodíveis que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença ocasionada pelas propriedades inerentes ao solo é referida como erodibilidade do solo. (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. O aumento da quantidade de matéria orgânica, a presença de agregados maiores e a rápida permeabilidade do solo contribuem para a redução da erodibilidade.

LOMBARDI NETO & BERTONI (1975)<sup>17</sup> apud MINOTI (2006) estudaram 66 perfis de solo para dois agrupamentos que ocorrem no Estado de São Paulo. Os autores consideraram os valores obtidos como uma estimativa do fator de erodibilidade do solo para os principais solos paulistas apresentados por IPT (1990)<sup>18</sup> apud SALOMÃO (1999), onde pode-se ressaltar alguns índices de erodibilidade pertencentes a esse projeto para o Estado de São Paulo, que podem ser vistas na Tabela 5:

TABELA 5: Índices de erodibilidade para alguns solos do estado de São Paulo.

UNIDADE PEDOLÓGICA	ÍNDICE DE ERODIBILIDADE	CLASSES
Cambissolos, Solos litólicos, Podzólicos Vermelho amarelo e vermelho escuro abrápticos, textura arenosa-média. Areias quartzosas, relevo suave-ondulado e ondulado.	<b>0, 433 - 0,540</b>	I
Podzólico vermelho-amarelo não abráptico, textura média-argilosa e média. Podzólico Vermelho-escuro não abráptico, textura média-argilosa.	<b>0, 329 - 0,432</b>	II
Podzólico Vermelho-amarelo e Podzólico Vermelho-escuro, textura argilosa. Latossolo	<b>0, 221 - 0,328</b>	III

<sup>17</sup> LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade dos solos paulistas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1975<sup>a</sup>. 12p. (Boletim Técnico,27).

<sup>18</sup> INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pardo Grande**. São Paulo, 3v. (IPT. Relatório, 28:184. 1990

Vermelho-amarelo, textura argilosa. Latossolo		
Vermelho-amarelo, textura media.		
Latossolo Vermelho-escuro, textura média.		
Latossolo Roxo. Terra Roxa estruturada.	<b>0, 113 - 0,220</b>	IV
Gleis, Planossolo, Areias quartzosas relevo plano. Solos orgânicos.	<b>0 - 0,113</b>	V

Alguns valores de USLE\_K de erosão, específicos para a região de São Carlos (SP) foram adaptadas, recalculadas e testadas para os solos presentes na BHRM. Na Tabela 6, são apresentados alguns valores de índices de erodibilidade.

TABELA 6: Índices de erodibilidade para alguns solos da cidade de São Carlos, SP.

<b>CLASSE DE SOLO</b>	<b>ERODIBILIDADE</b> (MJ.mm/ha.h)
<b>Latossolo Vermelho</b>	0.0168
<b>Latossolo Vermelho amarelo</b>	0.0223
<b>Argissolo vermelho</b>	0.0405
<b>Chernossolo argilúvico</b>	0.0304
<b>Neossolo Litólico</b>	0.0480
<b>Neossolo Quartzarênico</b>	0.0161
<b>Gleissolo Háptico</b>	0.0354
<b>Cambissolo Háptico</b>	0.0326

Fonte: Adaptado de LOMBARDI NETO & BERTONI (1975)

De acordo com as informações da Tabela 6, os valores de erodibilidade do solo (K), para os solos da região de São Carlos/SP, foram transformados (fator de multiplicação de 10) para se ajustarem ao formato dos dados de entrada do modelo SWAT.

#### 4.2.6.3.4 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS E TEXTURAS DO SOLO

Os dados referentes às características granulométricas e texturais do solo, foram anteriormente calculados por BALDISSERA (2005) e utilizados no presente trabalho.

As percentagens de argila, silte, areia e cascalho foram classificadas de acordo com o USDA, conforme a tabela 7:

TABELA 7: Classificação granulométrica do solo.

<b>CLASSIFICAÇÃO GRANULOMETRICA</b>	
<b>CASCALHO</b>	>2mm
<b>AREIA</b>	2 a 0,05 mm
<b>SILTE</b>	0,05 a 0,002 mm
<b>ARGILA</b>	< 0,002 mm

Fonte: USDA (1986)

A fração porosidade (ANION\_EXCL) é definida pela relação entre o volume ocupado pelos poros e o volume total do solo, e foi estimada por (BALDISSERA, 2005) através da densidade do solo, devido à dificuldade de medição do volume dos poros.

$$\text{ANION\_EXCL} = 1 - (\rho_b / \rho_s)$$

Onde  $\rho_b$  é a densidade do solo ou aparente, ou seja, é a densidade das partículas na presença de ar, e  $\rho_s$  é a densidade real das partículas sem ar.

Para a densidade (SOL\_BD) das partículas do solo, o SWAT adota o valor de 2,65 g/cm<sup>3</sup> como padrão, porém este valor padrão foi adotado neste trabalho somente para os casos do Cambissolo e do Neossolo Litólico, pois não havia dado. A densidade aparente ou do solo geralmente é calculada durante os levantamentos de campo, onde  $\rho_b = m/v$ .

Os demais valores foram obtidos adotando-se o valor tabelado de TAYLOR et.al (1966)<sup>19</sup>, utilizado por BALDISSERA (2005), que relaciona textura do solo com a densidade aparente.

TABELA 8: Densidade aparente do solo

<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDADE g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Solos recentemente cultivados</b>	0,90 – 1,2
<b>Solos com superfície mineral, não recentemente cultivados, mas também não compactados</b>	1,1 – 1,4
<b>Solos com restrição raiz:</b>	
<b>Areias e Francos</b>	< 1,6 – 1,8
<b>Siltes</b>	< 1,4 – 1,6
<b>Argilas</b>	Extremamente variável

A textura (CLAY/SILT/SAND) do solo foi obtida através da utilização do triângulo de classificação textural. Este sistema foi desenvolvido pelo U.S Department of Agriculture e pelo U.S Soil Conservation Service, dos Estados Unidos.

O diagrama triangular é subdividido dentro de vários tipos de classificação textural de solo, com cada tipo de solos compreendendo uma série de porcentagens dos três tipos de partícula (areia, silte e argila), (Figura 6). A classificação do solo é determinado plotando as porcentagens de cada uma das três classes de partícula de solo no diagrama triangular. O ponto de interseção de cada uma destas três porcentagens de classe de partícula indicará tipos de classificação de solo, como mostra o Triângulo de Classificação Textural.

<sup>19</sup> TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER Jr., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soils materials. **J. Soil Sci.**, 102: 18-22, 1966)

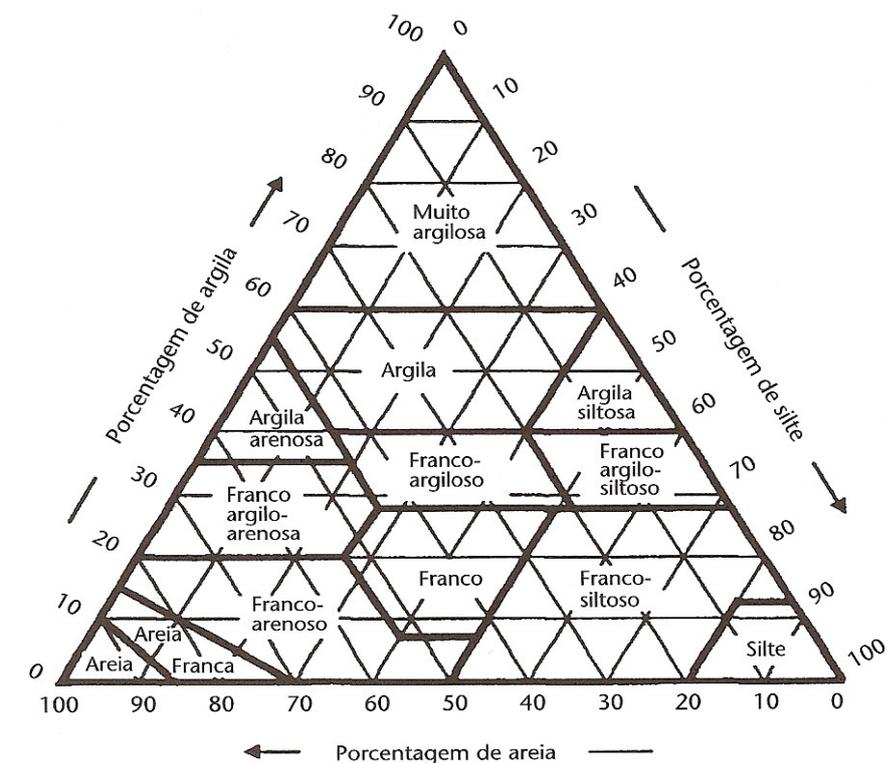


FIGURA 6: TRIÂNGULO DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL  
Fonte: USDA, 1986

A capacidade de água no solo pode também ser considerada a quantidade de água disponível para as plantas, e é calculada subtraindo o conteúdo de água na capacidade de campo (FC) da capacidade de água no ponto de murcha (WP).

A capacidade de campo é definida como a umidade que um dado solo sustenta sob ação da gravidade, na prática significa a umidade da amostra de solo quando submetida a uma tensão de 0,0033 MPa. O ponto de murcha permanente é a umidade do solo na qual as plantas não mais conseguem manter suas folhas túrgidas, considera-se que é a quantidade de água retida no solo em uma tensão de 1,5 MPa.

Como a quantidade de água retida no solo (SOL\_AWC) é uma relação entre a capacidade do campo e o ponto de murcha permanente, é considerado a água disponível para a extração da planta, assim, pode-se determinar a capacidade de água no solo através da equação a seguir e foi estimado por BALDISSERA (2005), subtraindo o conteúdo de água na capacidade de campo (FC) da capacidade de água no ponto de murcha permanente (WP):

$$\text{SOL\_AWC} = \text{FC} - \text{WP}$$

Para o parâmetro de profundidade máxima da raiz (SOL\_ZMX), não foram encontrados dados de campo, logo, o modelo assume que as raízes podem se desenvolver por toda a profundidade da camada do solo.

O percentual de carbono orgânico no solo (SOL\_CBN) pode ser estimado quando inexistência do dado, através do percentual de matéria orgânica no solo (MO) e é calculado através da equação:

$$orgC = MO/1,72$$

O albedo é a parcela de radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando a cobertura vegetal. O valor do albedo de uma região agrícola pode variar de acordo com a fase do ciclo de cultivo, alternando assim entre o solo lavrado e recém semeado, praticamente nu, e a fase de crescimento e maturação. Os valores de albedo diários (SOL\_ABD) utilizados neste trabalho, foram referentes à média entre o albedo para áreas de cerrado em época úmida e de estiagem, de acordo com MIRANDA et.al (1996)<sup>20</sup> apud BALDISSERA (2005) e ficou em 0,155.

Todos os parâmetros requeridos pelo modelo são digitados no banco de dados do SWAT, cada classe de solo e suas respectivas camadas (horizontes).

Na Figura 7, podem ser vistos os campos para preenchimento com os dados requeridos pelo modelo, para cada classe de solo.

---

<sup>20</sup> MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: **SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS**. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, **Anais**. Brasília-DF: 1996. p.1-9.

The screenshot shows the 'User Soils' window with the following data:

By Soil		By Layer	
SNAM	AQ	SQL_Z	180.00 [mm]
NLAYERS	4 [1 to 10]	SQL_BD	1.70 [g/cm3]
HYDGRP	B [A, B, C or D]	SQL_AWC	0.00 [mm/mm]
SQL_ZMX	1500.00 [mm]	SQL_K	90.00 [mm/hr]
ANION_EXCL	0.370 [fraction]	SQL_CBN	0.50 [% soil weight]
SQL_CRK	0.000 [m3/m3]	CLAY	7.20 [% soil weight]
TEXTURE	LFS-LFS-SCL	SILT	14.90 [% soil weight]
		SAND	77.90 [% soil weight]
		ROCK	0.00 [% total weight]
		SQL_ALB	0.16 [fraction]
		USLE_K	0.14 [0.013 t m <sup>2</sup> hr/(m <sup>3</sup> t cm)]
		SQL_EC	1.00 [dS/m]

Additional controls include 'Up' and 'Down' buttons for layer selection, and a 'Layer' input field set to '1'. At the bottom are buttons for 'Delete', 'Load [.Sol]', 'Add New [Modify]', 'Add New', 'Help', and 'Exit'.

FIGURA 7: Janela de entrada de dados de classes de solos

#### 4.2.6.4 PARÂMETROS DO RESERVATÓRIO

Os dados de entrada referentes ao reservatório são inseridos no banco de dados do modelo e são representados por: vazões médias mensais ( $m^3/s$ ), as máximas e as mínimas medidas na saída do reservatório da represa de Manso, pelo posto fluviométrico Rm5, de acordo com BALDISSERA (2005).

Os demais parâmetros exigidos pelo modelo são: mês de início da operação, ou seja, o mês em que se iniciou a medição das vazões (MORES); número de anos de vazão medida (IYRES); área do reservatório na cota emergencial (hectares) (RES\_ESA); volume de água na cota emergencial ( $10^4 \cdot m^3$ ) (RES\_EVOL); área do reservatório na cota principal – hectares (RES\_PSA); volume de água na cota principal ( $10^4 \cdot m^3$ ) (RES\_PVOL); e volume de água inicial no primeiro dia de simulação ( $10^4 \cdot m^3$ ) (RES\_VOL).

Tais dados foram utilizados do trabalho de PENTEADO (2001) e foram inseridos na janela do banco de dados do modelo, como pode ser visualizado na Figura 8, com dados do reservatório e das vazões máximas e mínimas.

Reservoir data: Subbasin 14

Reservoir data:

MORES

IYRES

RES\_ESA  [ha]

RES\_EVOL  [10<sup>4</sup> m3]

RES\_PSA  [ha]

RES\_PVOL  [10<sup>4</sup> m3]

RES\_VDL  [10<sup>4</sup> m3]

RES\_SED  [mg/l]

RES\_NSED  [mg/l]

RES\_K  [mm/hr]

IRESO

RES\_RR  [m3/s]

IFLOD1R

IFLOD2R

NDTARGR  [days]

WURTNF  [m3/m3]

Monthly data

OFLOWMX

OFLOWMN

STARG

WURESN

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	[10 <sup>4</sup> m3]
<input type="text" value="217.5"/>	<input type="text" value="241.4"/>	<input type="text" value="223.8"/>	<input type="text" value="212.4"/>	
May	Jun.	Jul.	Aug.	[10 <sup>4</sup> m3]
<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	
Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	[10 <sup>4</sup> m3]
<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	

Lake Water Quality

Help Cancel OK

FIGURA 8: Janela de entrada de dados referentes ao reservatório.

#### 4.2.6.5 PARÂMETROS DE USO

O modelo requer um PI de uso e ocupação do solo, como já foi dito anteriormente, porém ele requer uma reclassificação quanto às feições de uso encontradas na bacia, pois se pode encontrar mudanças quanto ao uso e ocupação, principalmente no que diz respeito ao ciclo de cultura, queimadas, desmatamentos, dentre outros. Neste caso, o modelo oferece em seu banco de dados, opções sobre os mais variados usos do solo e apresenta em seu *default* dados referentes aos respectivos usos.

Na Figura 9, são apresentados os tipos de usos do solo, do banco de dados dos EUA, e onde foram definidos os usos para adaptação da área de estudo.

FIGURA 9: Janela de escolha dos usos dos solos.

Como esse banco de dados de uso é referente aos diversos usos do solo dos Estados Unidos, foi necessário fazer adaptações aos usos encontrados na bacia. Os usos encontrados na bacia são expostos, no Quadro 5.

QUADRO 5: Adaptação dos usos do solo da BHRM

USO DO SOLO/ EUA	ADAPTAÇÃO/BHRM
<b>AGRC – Agriculture land close grown</b>	Solo nu
<b>AGRL – Agriculture land generic</b>	Agricultura
<b>WTR - Water</b>	Água
<b>FRSD – Forest decíduos</b>	Floresta decídua
<b>FRSE – Forest Evergreen</b>	Cerrado
<b>FRST – Forest Transition</b>	Floresta de Transição
<b>PAST - pasture</b>	Pastagem

O modelo pede a entrada do dado “grid de uso do solo” neste caso, o próprio modelo já fornece as percentagens de cada classe de uso existente dentro da bacia. Cabe ao usuário reclassificar essas percentagens de acordo com a área de cada classe existente dentro da bacia e associar tais percentagens às classes existentes no banco e dados (FRSE, FRSD, etc). Para a realização dessa reclassificação, foi utilizado o mapa de uso do solo da SEPLAN (2001). Nessa base de dados, foram somadas todas as feições de cada classe de uso existente dentro da bacia e por regra de três simples, a definição da percentagem de cada classe.

Muitos trabalhos utilizam a classe AGRC, existente no banco de dados do modelo como solo exposto, ou solo sem cobertura vegetal, devido o modelo não possuir essa opção em seu banco de dados. Portanto, o AGRC, foi adotado como solo nu.

Após a reclassificação do mapa de uso e ocupação do solo, o AVSWAT busca em seu banco de dados, valores de índices correspondentes às classes estabelecidas como, índice de área foliar, máximo, profundidade máxima das raízes da vegetação específica, altura máxima da cultura, energia para a conversão em biomassa, e temperaturas de base e ótimas para o crescimento da planta. (MACHADO, 2002).

Uma nova classe de uso e ocupação do solo pode ser criada no banco de dados do modelo, e nesse caso, poderia ter sido criada a classe de solo exposto. Porém, devido à falta de dados, e as dificuldades de aquisição dos dados citados acima, foi utilizado o AGRC para simular solo nu.

#### **4.2.7 SIMULAÇÕES**

Dentre as vantagens da utilização de modelos matemáticos, uma das mais importantes refere-se à elaboração de cenários, ou seja, a possibilidade de alterar as configurações dos parâmetros de entrada do modelo no intuito de gerar novos conjuntos de condições virtuais, as quais permitem, de antemão, a visualização das conseqüências geradas por determinado grupo de fatores hipotéticos.

De acordo com MACHADO (2002), o objetivo da simulação de cenários não é caracterizar, de maneira completa, a eficiência das alternativas de manejo ou uso do

solo, mas exemplificar as vantagens da utilização da integração de modelos matemáticos e sistemas de informações geográficas.

Sendo assim, foram modificados alguns parâmetros na intenção de visualizar as mudanças nos resultados obtidos e verificar a sensibilidade do modelo aos diferentes cenários.

Na definição dos canais hídricos gerados pelo modelo para a bacia, foram realizados inúmeros testes, a fim de definir a sensibilidade do modelo aos resultados obtidos no que diz respeito à quantidade de sub-bacias geradas. Primeiramente a simulação foi testada para 10 sub-bacias com a reclassificação dos usos do solo de acordo com as percentagens encontradas para cada classe. Outros testes foram realizados, para 8, 6, 4 e 3 sub-bacias para efeito de comparação dos resultados e escolha de uma subdivisão que melhor representasse a área escolhida. Foram feitas alterações também, nos usos do solo, como por exemplo, onde se encontrava solo exposto, foi utilizado agricultura. À medida que as simulações foram feitas, os resultados foram verificados, a fim de encontrar resultados mais satisfatórios e coerentes.

Visto que os resultados das simulações com as sub-bacias delimitadas eram parecidos em escala, foram realizadas novas simulações com valores mais diferenciados, com divisão da bacia em 24 e 42 sub-bacias.

A simulação foi realizada para o período de 1994 a 1998, porém, somente foram utilizados os resultados gerados pela simulação do primeiro ano. Os resultados dos demais anos, não foram considerados e coerentes com as hipóteses, gerando valores muito abaixo ou acima do esperado, ou muito acima do esperado.

#### **4.2.8 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS**

É importante ressaltar que, os cenários foram propostos com a finalidade de exemplificar o modelo e as possibilidades de uso do solo, e não definir a maneira correta do uso na bacia.

Os cenários desenvolvidos no presente trabalho, em relação à produção de sedimentos foram elaborados para a BHRM no AVSWAT com as seguintes configurações:

1. Cenário 1: Agricultura em estágio de crescimento (AGRC);
2. Cenário 2: Uso do solo com Agricultura Genérica (ocupação hipotética da bacia com Agricultura - AGRL);
3. Cenário 3: Uso do solo com Pastagem (ocupação hipotética da bacia com Pastagem - PAST);
4. Cenário 4: Uso original do solo (ocupação hipotética da bacia com Vegetação Nativa – FRST/FRSE);
5. Cenário 5: Uso do solo atual – Cenário atual – AGRC/AGRL/FRSE/FRST/FRSD/PAST.

### **4.3 ESTIMATIVA DA SUSCETIBILIDADE A EROSÃO**

Após as simulações, foi realizada a análise da suscetibilidade à erosão na bacia, a fim de validar a simulação da produção espacial de sedimentos, verificando a coincidência entre áreas mais críticas na produção, e as áreas com maior potencial à erosão.

A suscetibilidade a erosão laminar, ou em lençol, pode ser representada cartograficamente determinada com base na análise dos fatores naturais influentes no desenvolvimento dos processos erosivos (erosividade, erodibilidade, declividade e comprimento de encosta) (IPT, 1990). Inicialmente, consideram-se a erodibilidade dos solos e a declividade das encostas como fatores determinantes na definição das classes de suscetibilidade. Os fatores como erosividade e comprimento das encostas podem ser utilizados em complementação à avaliação final das classes de suscetibilidade, de acordo com SALOMÃO (1999). Porém, esses dois últimos não foram utilizados neste trabalho, devido à falta de dados e pelo fato de serem os índices de erodibilidade e declividade satisfatórios na representação cartográfica da suscetibilidade à erosão (SALOMÃO, 1999). A Figura 10 ilustra as etapas do trabalho.

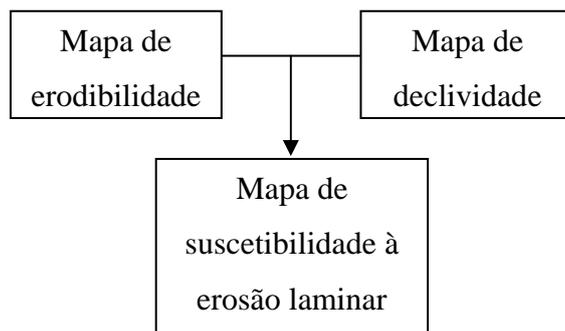


FIGURA 10: Etapas do procedimento metodológico para a definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar.

Para tal interação entre a erodibilidade e declividade, foi necessário associar as classes de solos às respectivas classes de erodibilidade, e para isso, foi utilizada a Tabela 5 de índices de erodibilidade para alguns solos do estado de São Paulo, utilizados também por SALOMÃO (1999).

Uma nova tabela para classes de erodibilidade dos solos foi gerada, baseada na metodologia de SALOMÃO (1999) e de ROSS (2005), melhor adaptadas aos solos da área de estudo. As classes destacadas em negrito são as existentes na área de estudo.

Desta forma, na tabela 9 pode-se observar como ficou a adaptação:

TABELA 9: Classes de erodibilidade – importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos.

<b>Grau de erodibilidade</b>	<b>Unidades pedológicas</b>
<b>I – Muito fraco</b>	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho Amarelo de textura argilosa; solos hidromórficos em relevo plano; <b>Gleissolos</b> , Planossolos, <b>Organossolos</b> , Neossolos Quartzarênico em relevo plano.
<b>II – Fraco</b>	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de textura média argilosa; Terra Roxa estruturada; <b>Latossolo Vermelho escuro</b> .
<b>III – Médio</b>	Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho escuro, textura argilosa. Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa e média; <b>Latossolo Vermelho Amarelo</b> ; Terra Bruna.

---

<b>IV - Forte</b>	Argissolo Vermelho Amarelo não abrúptico, textura média-argilosa e média; <b>Cambissolos</b> ; Argissolos Vermelho Amarelo de textura médio-arenosa. <b>Plintossolos</b> .
<b>V – Muito forte</b>	Cambissolos, <b>Neossolos Litólicos</b> , Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho escuro abrúpticos, textura arenosa-média; <b>Neossolos Quartzarênicos</b> em relevos suave-ondulado e ondulado.

---

Fonte: Adaptado de SALOMÃO (1999) e ROSS (2005)

Definidas as respectivas classes de erodibilidade para os tipos de solos encontrados na área de estudo, foram elaborados os mapas parciais dos fatores relacionados à erosão laminar.

O mapa de erodibilidade foi elaborado com base nos índices de erodibilidade já descritos anteriormente. O mapa de declividade foi realizado, extraindo-se as curvas de nível das imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*, e a partir da união das 4 cartas de curvas, SD-21-Z-A; SD-21-Z-B; SD-21-Z-C e SD-21-Z-D, foi gerado o Modelo Digital de Elevação e em seguida, a declividade. As classes de declividade foram apresentadas na Tabela 2, no capítulo 4, e à elas, foi associada uma coluna com os respectivos graus de potencialidade erosiva, como pode ser visto na tabela 10 a seguir.

TABELA 10: Classes de declividade

<b>Declividade (%)</b>	<b>Grau de potencialidade erosiva</b>
<b>0-3</b>	Muito fraca
<b>3-8</b>	Fraca
<b>8-12</b>	Média
<b>12-20</b>	Forte
<b>&gt;20</b>	Muito forte

O mapa de classes de erodibilidade (solos) foi integrado com o mapa de classes de declividade, tomando-se como critério de definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar e sua compatibilização com a classe de capacidade de uso das terras. A partir desse cruzamento de dados, foi gerada uma nova tabela,

relacionando-se cinco classes de declividade com cinco classes de suscetibilidade à erosão laminar. Desse modo, foram definidas cinco classes:

- I - Extremamente suscetível;
- II – Muito suscetível;
- III – Moderadamente suscetível;
- IV – Pouco suscetível;
- V – Pouco a não suscetível.

Após a definição do mapa de suscetibilidade à erosão laminar, foi realizada a integração do mesmo, com o uso e ocupação do solo, e, a partir daí, elaborado o mapa final de potencialidade à erosão laminar, que reflete a suscetibilidade atual à erosão laminar.

De acordo com SALOMÃO (1999), o mapa de suscetibilidade à erosão laminar reflete as características naturais dos terrenos, em face do desenvolvimento dos processos erosivos. No entanto, a erosão laminar é fortemente condicionada pela ação do homem, por meio das formas de uso e ocupação do solo. Áreas com um mesmo nível de suscetibilidade ocupado de maneira diferente apresentam variados potenciais ao desenvolvimento da erosão laminar. O potencial à erosão laminar pode assim ser definido como o resultado da integração entre a suscetibilidade dos terrenos em desenvolver erosão e a ocupação atual das terras.

O método baseia-se no cruzamento matricial do mapa de suscetibilidade com o mapa de uso e ocupação do solo, sendo que, este último deve contemplar as diferentes formas de ocupação agrícola, diferenciadas em função do recobrimento vegetal. O critério adotado, de acordo com SALOMÃO (1999), para o estabelecimento das classes de ocupação deverá ser o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo da terra. O porte da cobertura vegetal reflete, de forma indireta, o nível de cobertura vegetal sobre o solo e, conseqüentemente, a proteção deste solo quanto aos processos erosivos. Por outro lado, a atividade antrópica indica diretamente as áreas mais sujeitas à erosão laminar, uma vez que o uso intensivo aumenta o potencial de perdas de solo. Como pode ser visto na Figura 11, o cruzamento matricial para o mapa final de potencial à erosão laminar.

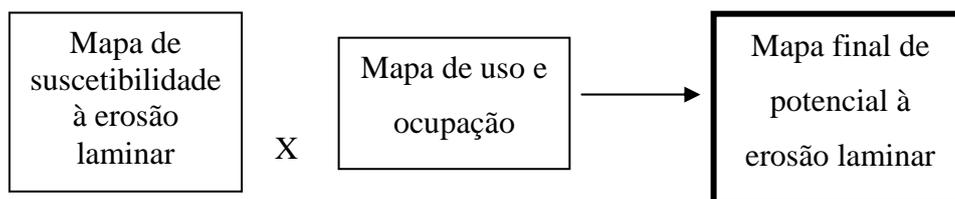


FIGURA 11: Cruzamento matricial para elaboração do mapa final de potencial à erosão laminar

A ocorrência de processos erosivos a partir das classes de uso e cobertura do solo obedece à classificação estabelecida conforme critérios de ROSS (2005) e SALOMÃO (1999), e pode ser vista no Quadro 6:

QUADRO 6: Classes de uso do solo e os respectivos graus de suscetibilidade

Classes	Uso e ocupação
<b>1-Muito forte</b>	Áreas desmatadas, solo exposto, agricultura não-conservacionista; cobertura vegetal de baixo e médio porte, com intensa atividade antrópica;
<b>2- Forte</b>	Culturas de ciclo longo com baixa densidade, culturas de ciclo curto; cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica moderada;
<b>3- Médio</b>	Cultivos de ciclos longos, pastagens com baixo pisoteio de gado, silvicultura; cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica muito reduzida;
<b>4- Fraco</b>	Formações arbustivas naturais, matas secundárias, cerrados e capoeiras; Cobertura vegetal de porte alto a médio, com atividade antrópica muito reduzida.
<b>5- Muito fraco</b>	Florestas e matas naturais com biodiversidade; espelhos d'água e várzeas, cujo potencial erosivo pode ser considerado nulo.

Por meio do cruzamento matricial das classes de suscetibilidade preliminar com as classes de uso e ocupação do solo, foram determinadas três classes de potencial à erosão laminar, seguindo a metodologia proposta por IPT (1990), conforme é apresentado a seguir:

I – Alto potencial;

II – Médio potencial;

III – Baixo potencial.

Definidas as classes finais de potencial à erosão laminar na área de estudo, foi elaborado o mapa final de potencial à erosão.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo visa apresentar e discutir os resultados obtidos no desenvolvimento da pesquisa. Primeiramente serão apresentados os resultados referentes à caracterização ambiental da área de estudo envolvendo: rede hidrográfica, localização das sub-bacias dos principais contribuintes do rio Manso, o mapa de solos, o mapa de uso e ocupação do solo, declividade e o modelo numérico de terreno.

Para efeito comparativo em relação à quantidade de sedimentos produzida, e levando em consideração o uso e tipos de solos, algumas sub-bacias dentro da BHRM foram selecionadas para um estudo mais específico.

Serão apresentados os resultados produzidos pela aplicação do modelo AVSWAT, relacionados à produção dos mapas, caracterização ambiental, às simulações da produção de sedimentos no cenário atual, a elaboração de cenários hipotéticos e a comparação entre eles.

Após as simulações, são apresentados os resultados referentes à análise de suscetibilidade à erosão laminar, com o mapa final de potencial à erosão laminar.

Será apresentada uma discussão sobre o modelo AVSWAT 2000, suas limitações e sua utilização na elaboração de informações que possam ser utilizadas como indicadores ambientais de bacias hidrográficas.

Em seguida, **seguem** as considerações finais.

### **5.2 DADOS DE ENTRADA - PTS – PLANOS DE INFORMAÇÃO**

### 5.2.1 HIDROGRAFIA

Á área de estudo possui os seguintes cursos de água principais: rio Manso, rio Roncador, rio Casca e rio Quilombo, além da represa do rio Manso, como se pode observar na Figura 12.

Os rios Casca e Quilombo são afluentes do rio Roncador, que nasce no leste da bacia, no município de Campo Verde, Mato Grosso.

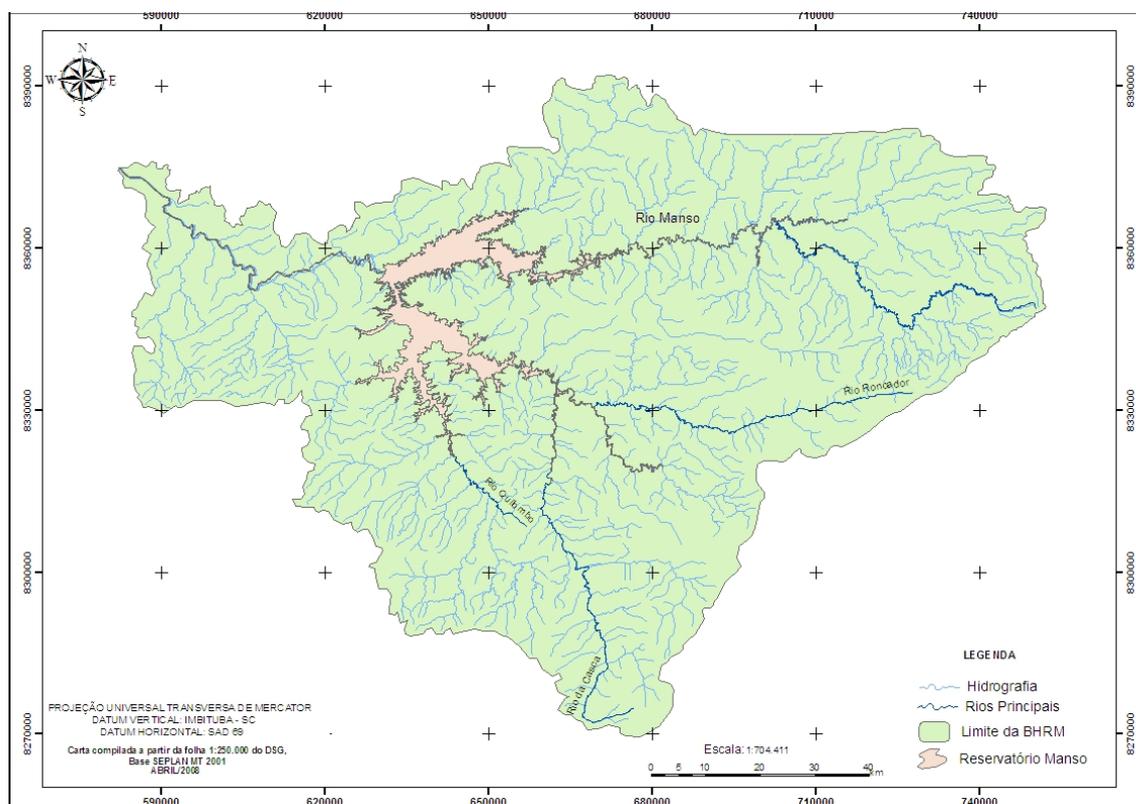


FIGURA 12: Hidrografia da área de estudo e o reservatório APM Manso

### 5.2.2 SUBDIVISÕES DA BACIA

Para efeito de discussão, e comparação, a BHRM foi subdividida de duas formas diferentes considerando que a primeira delas, diz respeito à subdivisão em 24 sub-bacias. O modelo gera resultados diferentes dependendo da quantidade de sub-bacias em que a bacia principal foi dividida. No segundo caso, a BHRM foi subdividida em 42 sub-bacias a fim de se discutir a diferença entre as subdivisões.

Essas diferenças são discutidas no item “simulação”, e neste item, são mostradas as 24 sub-bacias escolhidas para realizar a simulação com o uso atual do solo na BHRM, com suas cinco subunidades de estudo, que englobam os rios contribuintes do reservatório de Manso, sendo elas:

- SBC – Sub-bacia do rio Casca;
- SBR – Sub-bacia do rio Roncador;
- SBQ - Sub-bacia do rio Quilombo;
- SBAM- Sub-bacia do Alto rio Manso e
- SBBR - Sub-bacia do baixo Roncador.

Na Figura 13, estão representadas as subdivisões utilizadas com suas subunidades de estudo.

As principais subunidades apresentadas na figura 13 foram escolhidas por representarem os principais cursos de água dentro da bacia e principais contribuintes do APM – Manso. O Reservatório foi criado no ano de 2000, e as simulações foram feitas para os anos de 1994 a 1999. Portanto, foram escolhidas essas subunidades, a fim de se ter idéia aproximada da descarga de sedimentos no ponto onde seria implantado o reservatório. A parte a jusante não foi considerada como subunidade, visto que, representa uma área subsequente ao reservatório. Além de que, supõe-se que a SBR e a SBC contribuam em maior quantidade para a produção de sedimentos dentro da BHRM, sobretudo a Sub-bacia do Rio Roncador, devido trabalho anteriormente realizado por SILVA (2008)<sup>21</sup>, que realizou estudos de análise quantitativa da produção de sedimentos e encontrou resultados mais significativos para a bacia do rio Roncador.

---

<sup>21</sup> SILVA, V.J. da. Comunicação pessoal, 2008

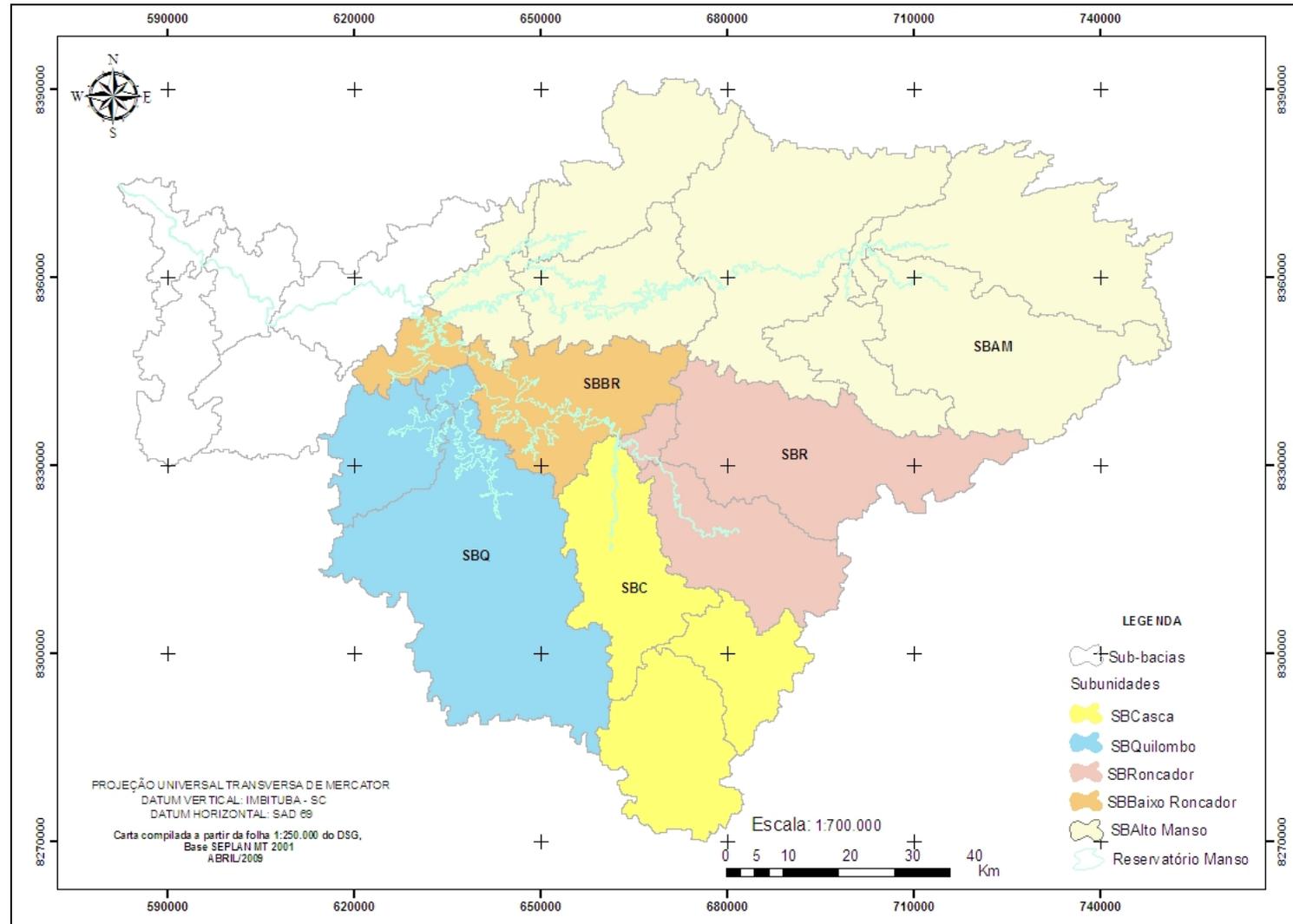


FIGURA 13: Principais sub-bacias e subunidades da BHRM.

### 5.2.3 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO - MNT

A área de estudo foi dividida ao todo, em oito classes hipsométricas de 100 em 100 metros, sendo que as equidistâncias das curvas geradas a partir de imagens SRTM foram de 20 em 20 metros. Somente a Sub-bacia do rio Roncador e a Sub-bacia do rio Casca, estão inseridas na maior classe entre 800-900 m. Nas Figuras 14 e 15 pode-se visualizar a distribuição das classes altimétricas da BHRM.

O Modelo Numérico de Terreno da BHRM possui altitudes variando de 220 metros na foz do rio Manso até 860 metros de altitude na cabeceira, em Campo Verde, e em Nova Brasilândia. Identifica uma elevação média na bacia de 540 metros. Observa-se que uma altitude mais acentuada é encontrada nas bordas da bacia, onde se encontra o Planalto da Chapada dos Guimarães.

Com base no MNT, foram obtidos os valores mínimos, máximos e médios de altitude, em relação ao nível do mar para as subunidades (sub-bacias).

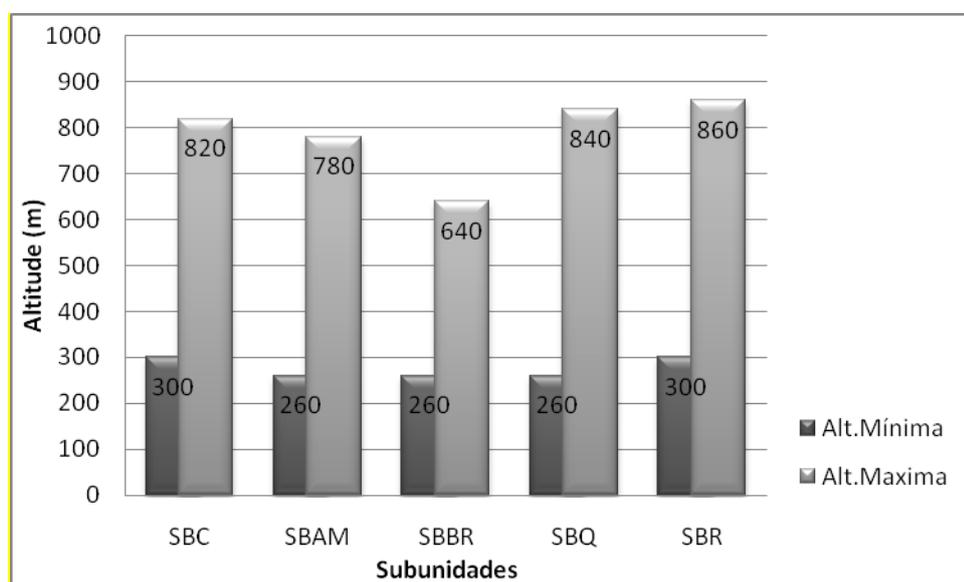


FIGURA 14: Altimetria mínima e máxima para as subunidades de estudo

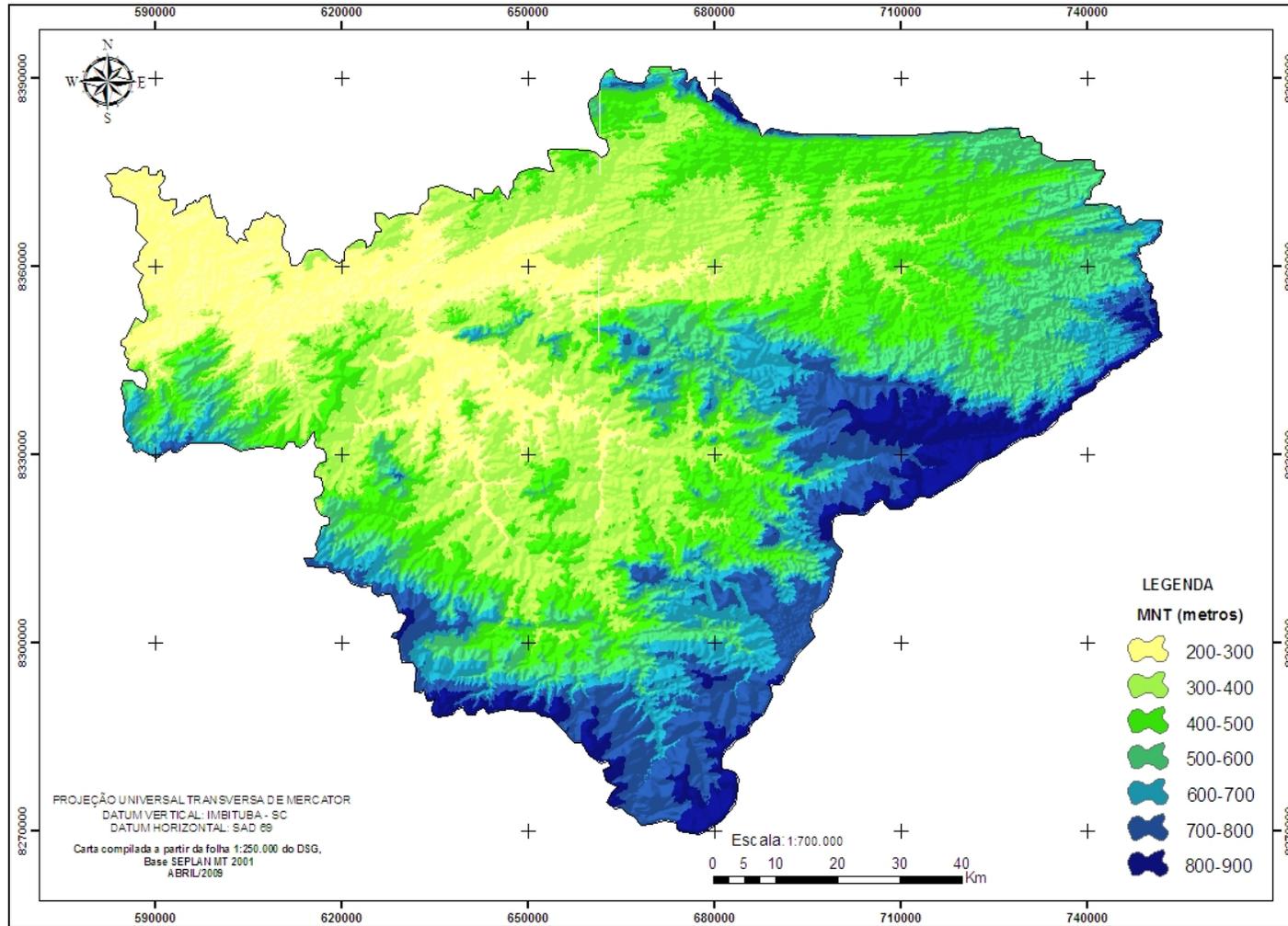


FIGURA 15: Modelo Numérico de Terreno - MNT

Pode-se observar que a SBR apresenta a maior altitude de toda a área de estudo. A SBBR e a SBAM apresentaram os mais baixos valores altimétricos máximos e a SBBR, a menor variação entre altitudes mínimas e máximas.

Na Tabela 11, podem-se observar as áreas e respectivas percentagens referentes às classes hipsométricas para a área de estudo.

TABELA 11: Classes hipsométricas em função das áreas da BHRM

<b>CLASSE HIPSOMÉTRICA</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>220 a 300 m</b>	1.085	10,25%
<b>300 a 400 m</b>	3.330	31,66%
<b>400 a 500 m</b>	2.540	24,56%
<b>500 a 600 m</b>	1.410	13,05%
<b>600 a 700 m</b>	1.088	10,03%
<b>700 a 800 m</b>	861	8,05%
<b>800 a 860 m</b>	239	2,37%
<b>TOTAL</b>	<b>10.553</b>	<b>100%</b>

Nota-se que a maior porcentagem da BHRM está situada sob altimetria entre 300 a 400 metros, seguida pelos valores entre 400 a 500 metros. E que somente 2,37% esta situada no valor máximo de altimetria, entre 800 e 860 metros de altitude.

Porém, mesmo que a maior porcentagem da área da bacia esteja sob altitude relativamente baixa, percebe-se um desnível significativo de 640 metros.

Logo, pode-se ressaltar que a BHRM em geral apresenta característica de planalto nas bordas. O perfil topográfico longitudinal do rio Manso pode ser visto na Figura 16. Observando que o reservatório do rio Manso está localizado entre os valores de 240 a 300 metros de altitude.

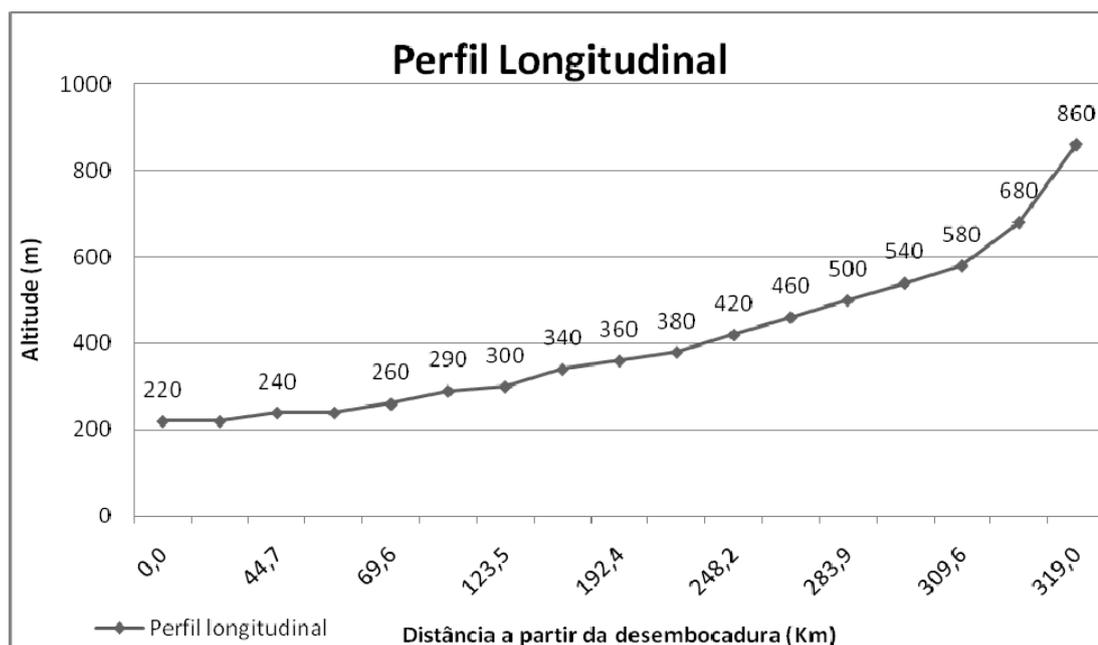


FIGURA 16: Perfil topográfico longitudinal do rio Manso

Observa-se que o rio possui seu trecho basicamente, sem grandes acidentes abruptos. Somente na região próxima à cabeceira, no trecho correspondente entre aproximadamente 540 e 860 metros, é que se nota uma variação mais abrupta de altimetria. E essa variação, está resumida em apenas 19,63 Km de distância, o que representa parcela relativamente pequena diante do desnível longitudinal de todo o restante do rio, dentro da BHRM.

Os dados da altimetria indicam que o rio funciona parte como rio de planalto até as proximidades do exutório, ou até desembocar no rio Cuiabá, que assume mais características de menor altimetria

#### 5.2.4 DECLIVIDADE

Com base no MNT, foram obtidos os valores máximos e médios de declividade da área de estudo:

Declividade máxima = 29,02%

Declividade média = 9,97%

Os valores máximos e médios de declividade das subunidades podem ser vistas na Figura 17 e representam a inclinação da vertente.

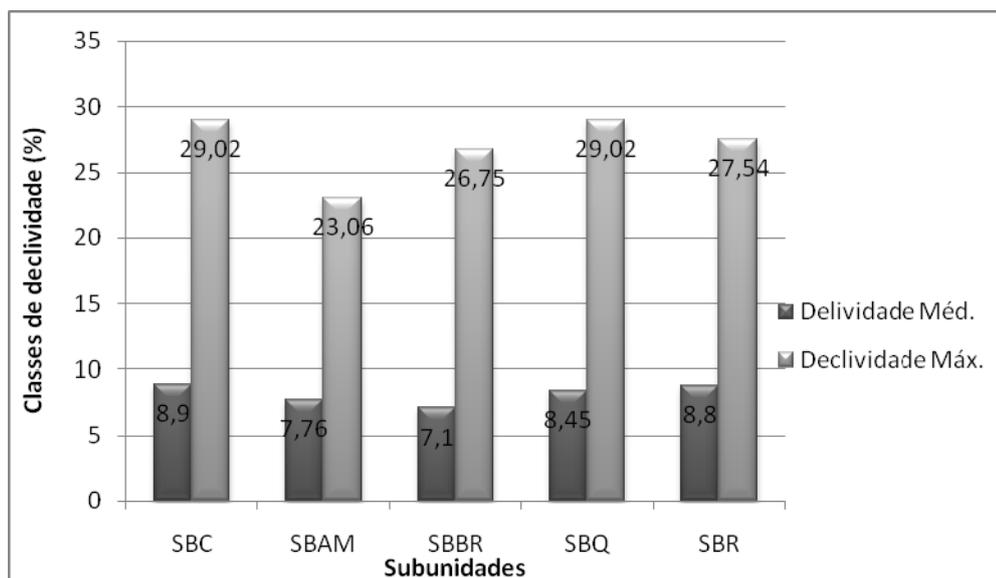


FIGURA 17: Gráfico dos valores máximos e médios das classes de declividade da BHRM

Com base no mapa de declividade, foram obtidas as áreas e as respectivas porcentagens referentes às classes de declividade para a área de estudo.

TABELA 12: Áreas correspondentes às classes de declividade na BHRM

CLASSE DE DECLIVIDADE	RELEVO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
0-3%	Plano/praticamente plano	7.302,67	69,20%
3-8%	Suave ondulado	2.091,60	19,82%
8-12%	Moderadamente ondulado	794,64	7,53%
12-20%	Ondulado	270,15	2,56%
>20%	Forte ondulado	93,92	0,89%
<b>TOTAL</b>		<b>10.553</b>	<b>100%</b>

A área de estudo foi dividida ao todo em cinco (5) classes, visto que a região não varia muito em relação à declividade. Nota-se que a maior parte da BHRM está contida na primeira classe (Plano/praticamente plano), e apenas 0,89% da bacia esta contida na classe “Ondulado/Forte ondulado”.

Na Figura 18 pode-se visualizar a conformação do relevo da área de estudo em função das classes de declividade, e as subunidades de estudo.

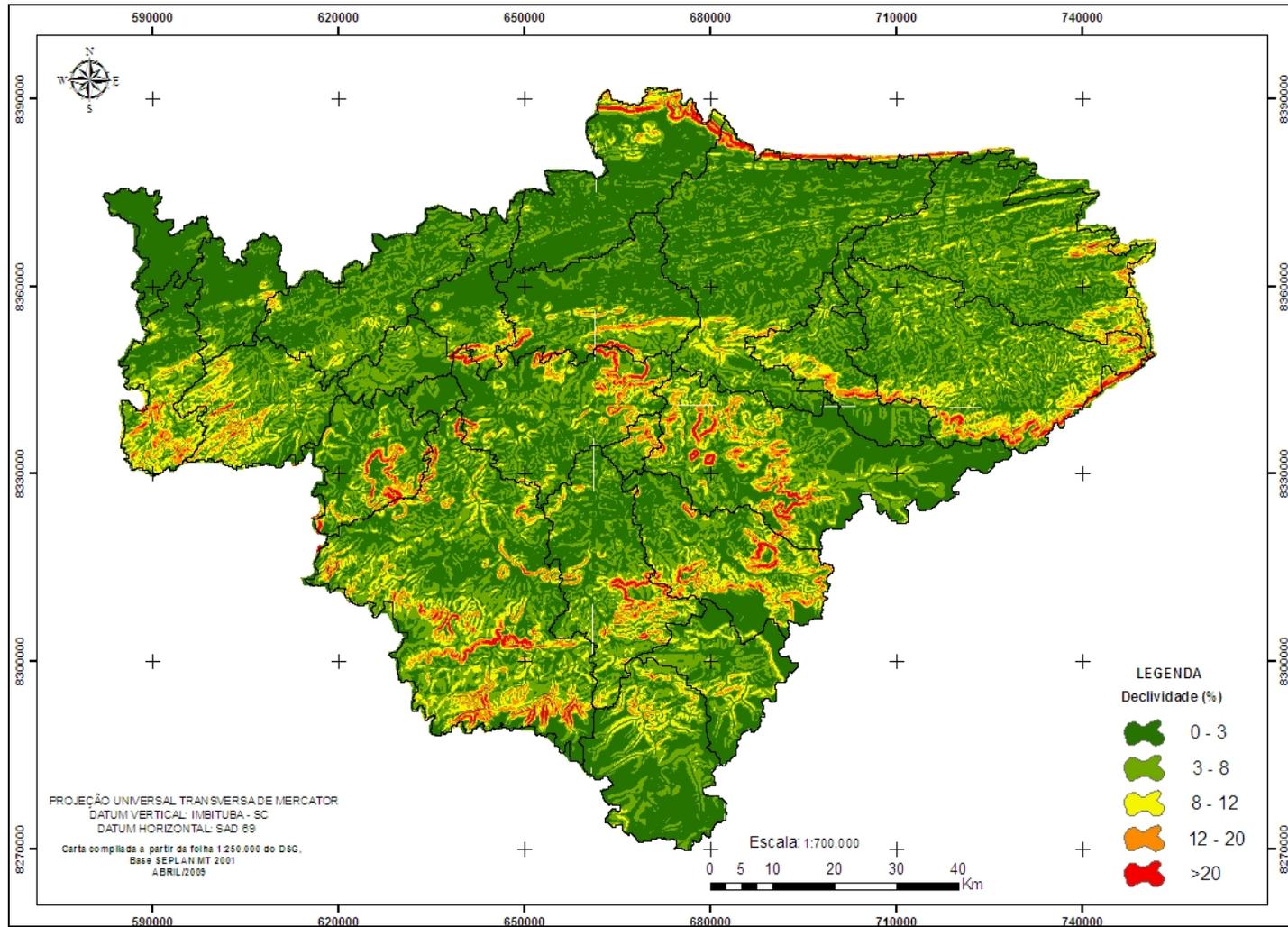


FIGURA18: Classes de declividade da BHRM.

### 5.2.5 SOLOS

Depois de realizada a união das cartas pedológicas do ZSEE da SEPLAN, e com base na classificação atual de solos da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2007), na bacia estudada foi encontrada oito classes de solos. Houve simplificações e as características distróficas, eutróficas e álicas foram desconsideradas. Essas são características que se referem à fertilidade dos solos, que no caso do presente trabalho não precisaram ser consideradas, como já especificado no capítulo “Materiais e Métodos”.

O mapeamento de solos da SEPLAN representou cartograficamente as associações de solos, e não as classes de solos. Na Tabela 13, podem-se observar as áreas e respectivas porcentagens referentes às classes predominantes de solo identificadas na área de estudo. Os resultados para as subunidades de estudo podem ser vistas na Figura 19 e na Tabela 14.

Nota-se pelo mapa de solos (Figura 18), que a BHRM basicamente é dividida em dois grupos predominantes de solos: o Cambissolo ao norte da bacia e o Neossolo Quartzarênico ao sul. Em seguida, após estes, os mais representativos dentro da bacia são os Neossolos Litólicos, os Plintossolos e os Latossolos Vermelho-Amarelos respectivamente.

A SBR apresenta a maior área de Neossolo Litólico e a segunda maior área de Neossolo Quartzarênico dentro da bacia, o que eleva o seu potencial a erosão, de acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), devido ao tipo de solos.

TABELA 13: Classes de solos na BHRM

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIÇÃO ATUAL</b>	<b>DESCRIÇÃO ANTIGA</b>	<b>ÁREA%</b>	<b>ÁREA (Km<sup>2</sup>)</b>
<b>Cx</b>	Cambissolo	Cambissolo	38,47	4.060
<b>FF</b>	Plintossolos	Solos Concrecionários	7,30	770,58
<b>Gj</b>	Gleissolos	Glei	0,20	21,00
<b>LVA</b>	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	6,95	733,98

<b>LVe</b>	Latossolo Vermelho Escuro	Latossolo Vermelho Escuro	4,68	494,35
<b>Ox</b>	Organossolos	Solos Orgânicos	0,93	98,20
<b>RL</b>	Neossolos Litólicos	Solos Litólicos	7,6	802,06
<b>Rq</b>	Neossolo Quartzarênico	Areia Quartzosa	33,84	3.572
<b>Área Total</b>			<b>100%</b>	<b>10.553</b>

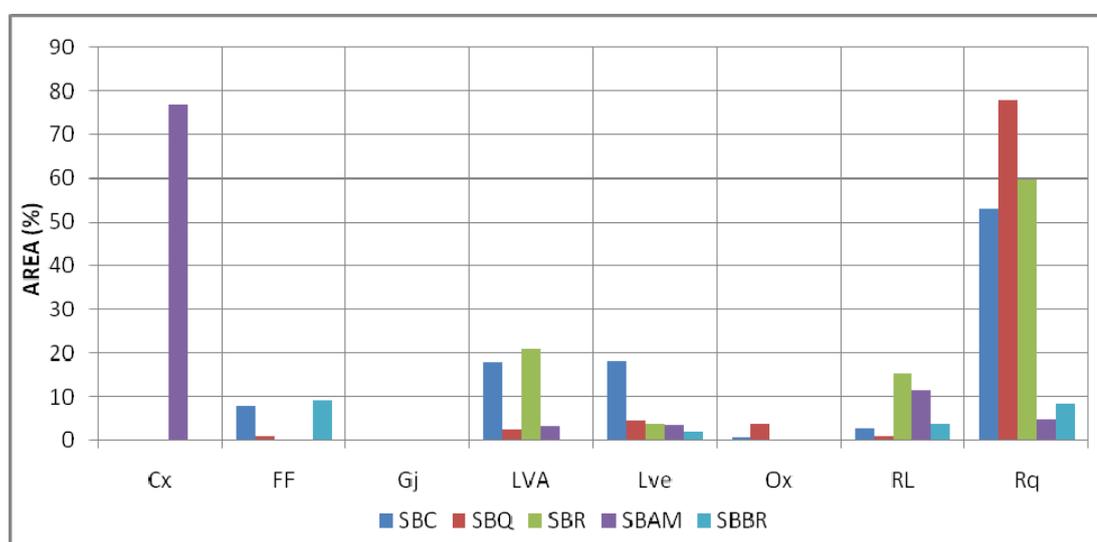


FIGURA 19: Tipos de solos e respectivas porcentagens em relação às áreas das subunidades

TABELA 14: Tipos de solos e respectivas porcentagens em relação às áreas das subunidades

NOME	Cx	FF	Gj	LVA	Lve	Ox	RL	Rq
<b>SBC</b>	0	7,81%	0	17,83%	18,15%	0,63%	2,60%	52,95%
<b>SBQ</b>	0	0,89%	0	2,45%	4,24%	3,83%	0,89%	78,00%
<b>SBR</b>	0	0,14%	0	20,92%	3,81%	0	15,34%	59,76%
<b>SBAM</b>	77%	0	0	3,36%	3,43%	0	11,39%	4,74%
<b>SBBR</b>	8,96%	0	0	1,79%	0	3,73%	8,37%	77,13%

A maior variação em relação à classe de solo pode ser observada na SBC e na SBQ (seis classes de solos predominantes). A SBQ possui seis classes, porém, 78% são somente Neossolo Quartzarênico, enquanto a Sub-bacia do rio Casca apresenta uma distribuição percentual de classes de solos mais homogênea.

A Sub-bacia do rio Roncador apresenta 20,92% de Latossolo Vermelho amarelo predominante em sua cabeceira, em local de baixa declividade e 59,76% de Neossolo Quartzarênico predominante, localizado em área de maior declividade.

A distribuição das classes de solos na área de estudo, com as subunidades pode ser visualizada na Figura 20.

#### ***5.2.5.1 BANCO DE DADOS DE SOLOS***

Para o banco de dados de solos, foi necessário adicionar as características físicas dos solos exigidas pelo modelo, dentre elas, o enquadramento das atuais classes gerais de solo nos grupos hidrológicos, que foram adaptadas do mapa pedológico do Estado de São Paulo, de acordo com a classificação hidrológica de LOMBARDI NETO et.al (1975).

Os parâmetros exigidos pelo modelo podem ser vistos no anexo A e são inseridos direto no banco de dados do modelo, como exigência para a simulação e reclassificação das classes de solos.

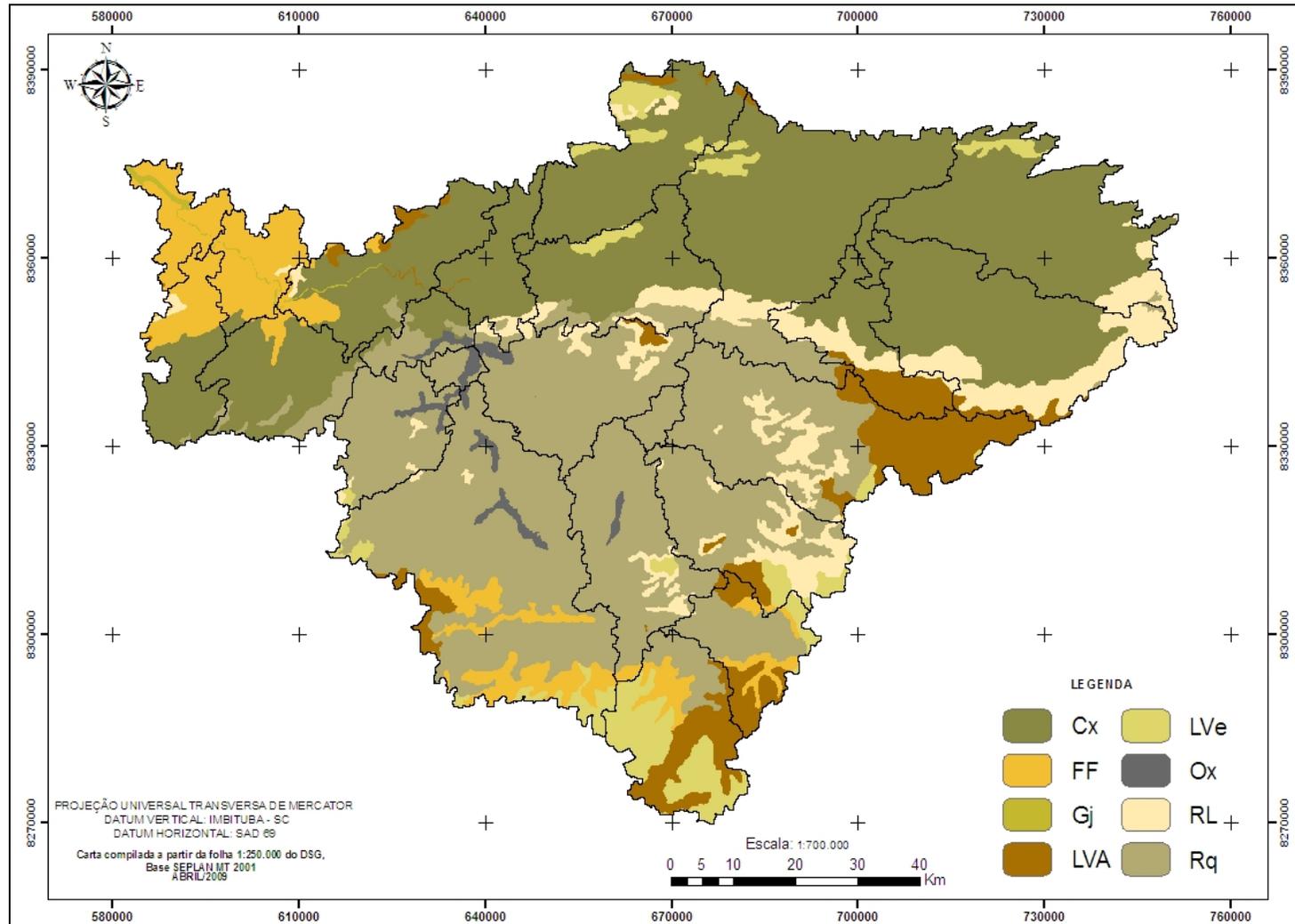


FIGURA 20: Classes de solo na BHRM

### 5.2.6 USO E OCUPAÇÃO

Com o levantamento realizado por LIBOS (2002) em classificação de imagem de satélite, foram identificadas na área de estudo seis classes principais de uso do solo. A substituição de uma classe por outra no mapa de uso e ocupação, foi realizada diretamente no programa utilizando a ferramenta de reclassificação. (Tabela 15).

TABELA 15: Área das classes de uso do solo para a BHRM

<b>Uso do solo</b>	<b>Área %</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>
<b>Pastagem (PAST)</b>	18,78	1.096
<b>Cerrado (FRSE)</b>	53,17	5.795,9
<b>Água (WTR)</b>	1,75	184,67
<b>Floresta de transição (FRST)</b>	9,40	992,21
<b>Floresta Tropical (FRSD)</b>	0,56	59,41
<b>Agricultura (AGRL)</b>	5,96	628,83
<b>Solo nu (AGRC)</b>	10,39	1.981
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10.553, Km<sup>2</sup></b>

O modelo possui em seu banco de dados, valores preestabelecidos referentes a cada tipo de uso do solo, e para encaixar as classes de uso da área de estudo, às exigências do modelo, foram feitas algumas adaptações.

Foi reclassificada como “água” a área do reservatório, que anteriormente à inundação, era representada por cerrado. As áreas urbanas, pouco representativas dentro da bacia, foram reclassificadas como solo nu.

As áreas e respectivas percentagens referentes às classes de uso do solo para as subunidades podem ser observadas na Tabela 16, sendo que as maiores percentagens de uso do solo estão entre as classes: Cerrado, Pastagem, Agricultura e Solo exposto. Este último apresentou grande representatividade também graças à época do ano a qual a classificação da imagem foi realizada, em julho de 2000. Esse período representa um período de estiagem no Mato Grosso, onde as culturas ainda não estão sendo plantadas e o solo se encontra nu. Ocorrem também, faixas de

queimada, sobretudo em regiões de cerrado, o que diminui ainda mais a vegetação nos locais.

Foi considerada neste trabalho, a combinação de Floresta de Transição e Cerrado, como vegetação nativa, ou vegetação natural, a fim de gerar simulação de cenários. Essa vegetação nativa inclui também os segmentos representados por vegetação de cerrado em diferentes estágios de desenvolvimento, e, as vegetações de mata ciliar encontradas ao longo dos cursos de água, além de outros tipos de vegetação nativa encontradas na área de estudo.

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), embora alguns solos sejam mais erodíveis que outros, é oportuno lembrar que a quantidade de solo perdida pela erosão, que ocorre em dadas condições, é influenciada não somente pelo próprio solo, mas pelo tratamento ou manejo que recebe; um solo pode perder, por exemplo, 200 toneladas por Hectare e por ano quando usado com culturas anuais plantadas morro abaixo em terreno com grande declividade, enquanto o mesmo solo, com uma pastagem bem manejada, perderia somente alguns quilogramas por hectare. A diferença em erosão por diferentes sistemas de manejo para o mesmo solo é muito maior que a diferença de erosão de diferentes solos com o mesmo manejo. Realmente, a erodibilidade é influenciada muito mais pelo manejo que por qualquer outro fator.

Em alguns locais na imagem foram classificadas feições como sendo pastagem, porém, geralmente, estas não ocorrem em planalto como mostra a Figura 21. Logo, isto pode ter ocorrido, devido a erros de classificação de imagem.

Neste trabalho, os dados utilizados para uso do solo, assim como do manejo recebido, foram do próprio banco de dados do modelo, utilizando a classe AGRL – Agricultura Genérica, sem especificar os tipos de cultura existentes no local.

As classes referentes ao uso do solo podem ser vistas na Figura 21.

TABELA 16: Área das classes de uso do solo das subunidades e respectivas porcentagens.

CLASSE	SBC		SBQ		SBR		SBAM		SBBR	
	ÁREA (ha)	(%)	ÁREA (ha)	(%)	ÁREA (ha)	(%)	ÁREA (ha)	(%)	ÁREA (ha)	(%)
<b>AGRL</b>	23604,02	18,6	8273,24	4,94	20079,86	15,33	8538,92	2,06	1885,5	2,81
<b>FRSD</b>	410,21	0,32	1059,86	0,63	1108,29	0,84	1947,4	0,47	785,55	1,17
<b>FRSE</b>	43420,74	34,16	87483,12	42,78	61756,81	47,12	237805,6	33,89	33320,34	34,08
<b>WTR</b>	47,3	0,1	3879,67	11,78	6,76	0,04	7296,46	25,42	6461,08	25,28
<b>FRST</b>	13308,66	10,49	15081,31	9,01	18263,63	13,92	34155,76	8,26	5329,47	7,95
<b>AGRC</b>	4111,75	32,41	40612,64	24,26	26058,5	19,92	56074,61	13,56	10429,57	15,56
<b>PAST</b>	4988,22	3,93	10911,08	6,51	3734,58	2,85	67486,65	16,33	8822,67	13,16
<b>TOTAL</b>	<b>126890,97</b>	<b>100%</b>	<b>167300,98</b>	<b>100%</b>	<b>131008</b>	<b>100%</b>	<b>413304,71</b>	<b>100%</b>	<b>67034,24</b>	<b>100%</b>

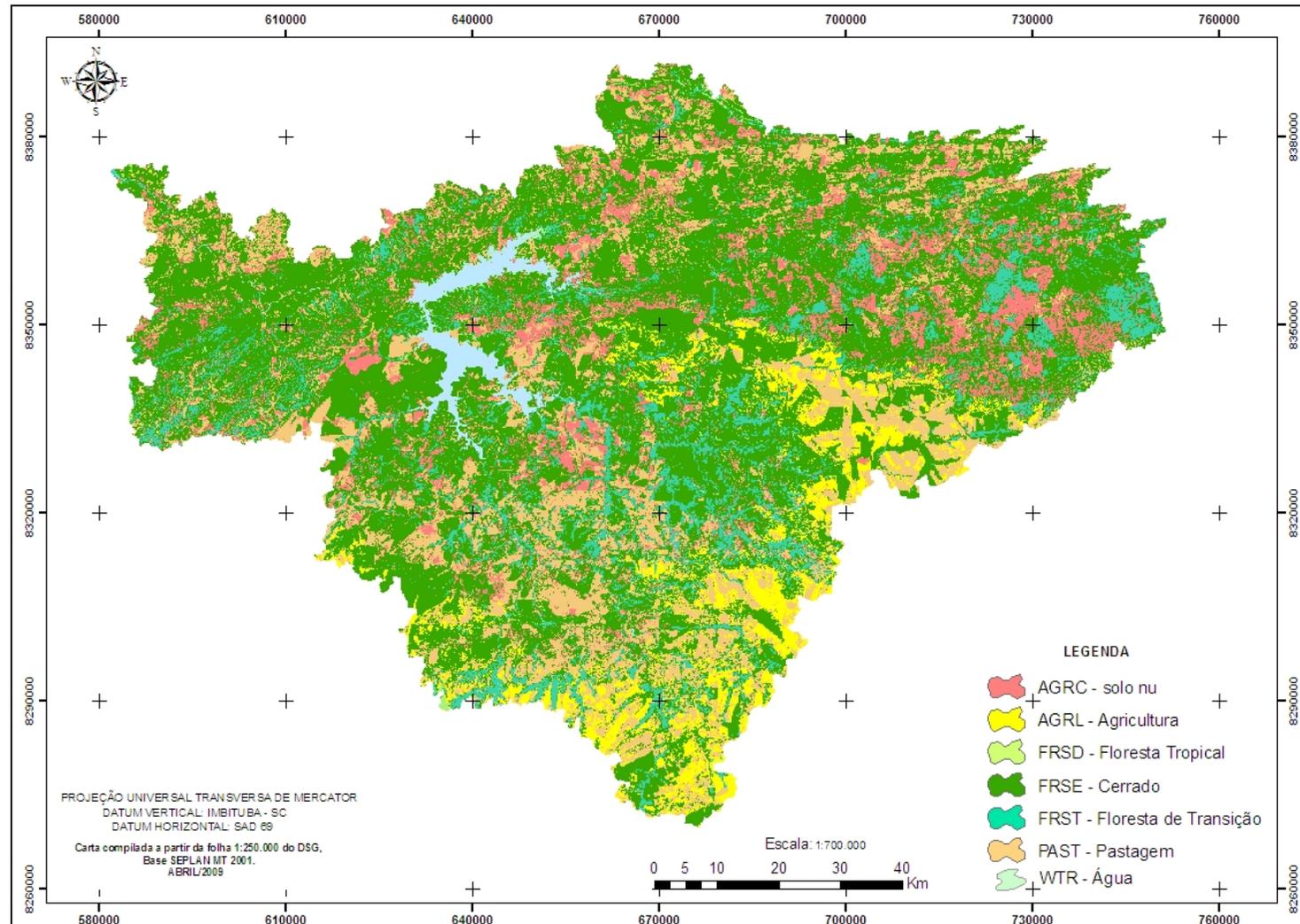


FIGURA 21: Classes de uso e ocupação solo para a BHRM, cenário reservatório (2000).

### 5.2.7 DADOS TABULARES – PARÂMETROS CLIMÁTICOS

No SWAT foi atribuída a cada sub-bacia a série temporal diária de dados climáticos (1994-1999) de uma das sete (7) estações pluviométricas mais as duas (2) estações meteorológicas, de acordo com a proximidade das coordenadas.

No caso dos parâmetros necessários para o banco de dados do gerador climáticos WXGEN, foram utilizados dados da estação meteorológica do INMET, em Cuiabá e como resultado dos cálculos realizados por BALDISSERA (2005) para a estimativa dos parâmetros de entrada no banco de dados. A Tabela 17 apresenta a média de cada mês para todos os anos da série temporal utilizada, seguindo os parâmetros exigidos pelo modelo, já citados no capítulo 3. Na figura 22, pode-se visualizar a localização das estações utilizadas.

Estas estações não caracterizam bem a bacia, pois estão localizadas na depressão cuiabana com elevação entre 140,00 e 185,00 metros, e a bacia possui condições bem distintas, com regiões de planalto, com variações acentuadas no que se referem principalmente às condições pluviométricas e de temperatura do ar.

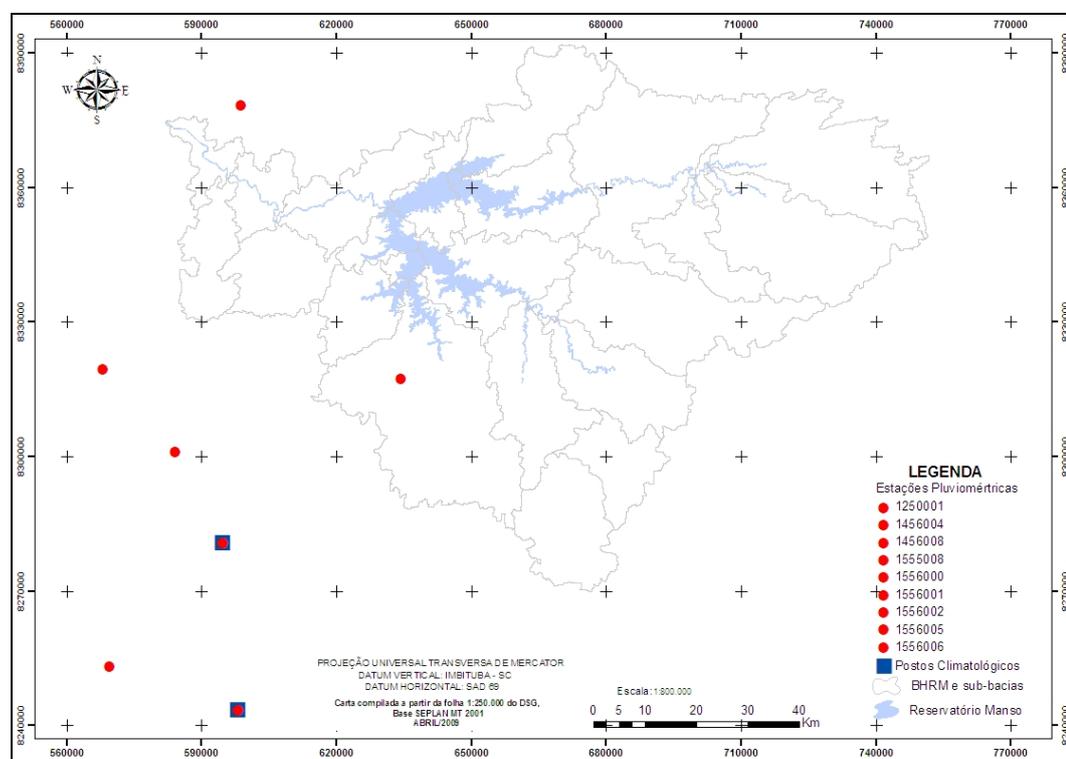


FIGURA 22: Postos pluviométricos e estações meteorológicas utilizadas para a simulação

TABELA 17: Parâmetros climáticos de entrada exigidos pelo modelo.

<b>CUIABÁ</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAIO</b>	<b>JUN.</b>	<b>JULH.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OUT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DEZ.</b>
<b>TMPMX</b>	33.10	32.80	32.90	33.00	31.70	31.20	32.20	34.30	34.60	34.90	33.80	33.00
<b>TMPMN</b>	23.80	23.58	23.60	23.11	20.90	19.04	16.40	18.50	21.29	23.65	23.83	23.98
<b>TMPSTDMX</b>	0.19	0.16	0.22	0.23	0.30	0.30	0.36	0.39	0.58	0.26	0.29	0.22
<b>TMPSTDMN</b>	0.16	0.18	0.15	0.21	0.33	0.38	0.30	0.37	0.33	0.19	0.17	0.18
<b>PCPMM</b>	8.48	8.56	6.19	5.22	1.76	1.33	0.54	0.88	2.93	3.75	6.82	5.98
<b>PCPSTD</b>	18.42	16.85	16.00	12.00	6.00	3.28	1.71	3.14	5.71	10.00	12.14	17.42
<b>PCPSKW</b>	0.10	0.12	0.10	0.06	0.13	0.03	0.35	0.22	0.03	-0,05	-0,13	0.26
<b>PR_W1</b>	0.54	0.60	0.58	0.34	0.16	0.09	0.04	0.08	0.16	0.30	0.32	0.54
<b>PR_W2</b>	0.60	0.58	0.47	0.47	0.36	0.15	0.07	0.20	0.24	0.35	0.50	0.57
<b>PCPD</b>	18.42	16.85	16.00	12.00	6.00	3.28	1.71	3.14	5.71	10.00	12.14	17.42
<b>RAINHHMX</b>	22.50	21.00	18.00	22.00	11.60	12.00	2.25	4.15	15.00	17.50	25.00	19.10
<b>SOLARAV</b>	82.43	83.72	81.90	81.59	80.30	77.40	70.71	66.73	68.62	71.30	74.96	78.26
<b>DEWPT</b>	25.00	25.00	25.00	25.00	23.74	15.14	17.58	19.87	25.00	25.00	25.00	25.00
<b>WDAV</b>	17.53	16.51	14.77	14.47	14.53	14.35	16.30	15.00	16.94	17.62	17.78	18.20

## **5.3 SIMULAÇÕES DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS**

### **5.3.1 RESULTADOS GERADOS PELO MODELO AVSWAT**

Os resultados obtidos pela aplicação do modelo AVSWAT, demonstrados a seguir, são referentes à produção de sedimentos na BHRM e nas subunidades de estudo. Também são apresentados simulações de cenários propostos para exemplificar o modelo e verificar a produção de sedimentos, comparando os resultados obtidos com o cenário atual.

### **5.3.2 SUBDIVISÕES DA BACIA**

O modelo AVSWAT não possui um método para determinar o número de sub-bacias. Na aplicação do modelo, foram realizadas simulações para vários níveis de discretização da BHRM, considerando áreas limites de 50 ha (10 sub-bacias), 100 ha (6 sub-bacias), 180 ha (3 sub-bacias), 25 ha (24 sub-bacias) e 15 ha (42 sub-bacias). Esses valores determinam a área limite para formar o canal e quanto menor o valor da área limite, maior é a discretização, ou seja, maior é o número de sub-bacias geradas pelo modelo.

Todas as simulações realizadas com intuito de observar os resultados da produção de sedimentos foram realizadas alternando-se as percentagens dos usos: solo nu, agricultura e pastagem, a fim de verificar as mudanças nos resultados.

A simulação realizada para 3 sub-bacias, não se mostrou satisfatória, ou seja, não foi muito sensível à diferenças dentro da bacia. O modelo generalizou e distribuiu quase igualmente o total da produção entre as três sub-bacias. Por mais que se modificassem alguns parâmetros, somente a grandeza de valores mudava, mantendo a proporção. Na simulação para 6 sub-bacias, notou-se que o modelo subestimou a primeira e a última sub-bacias simuladas para valores menores do que o restante da bacia em todas as simulações com alterações nos parâmetros. Na simulação para 10 sub-bacias o modelo distribuiu melhor os resultados dentro da bacia, porém mostrou que os resultados ainda não foram satisfatórios.

Após os testes realizados para as discretizações, a subdivisão utilizada para a BHRM, foi de 24 sub-bacias. Em seguida, a simulação foi realizada subdividindo a BHRM em 42 subunidades, a fim de comparação entre os resultados gerados pelas duas simulações. Desta vez os resultados foram mais satisfatórios, podendo-se afirmar que uma subdivisão maior de sub-bacias, possui maior reconhecimento de sensibilidade do modelo.

Com a integração entre SIG e modelos de parâmetros distribuídos, a bacia hidrográfica pode ser dividida em muitas sub-bacias. Entretanto, o efeito da discretização na qualidade das respostas do modelo não tem sido muito estudado.

Também foram verificadas as duas situações possíveis de simulação. Para Múltiplas Unidades de Resposta Hidrológica e para as HRU's dominantes.

Na primeira opção, o modelo simula resultados baseados nos cruzamentos de vários tipos de solos com várias classes de uso. A quantidade de solos e uso, é atribuído pelo usuário, associando níveis de sensibilidade às classes.

Na segunda opção, o modelo simula automaticamente resultados baseados no cruzamento da classe dominante de solo com a classe dominante de uso, sendo desconsiderados os demais tipos de solos e usos menos representativos.

Foram escolhidas para todas as simulações, as HRU's Múltiplas, pois, existem outras classes de solos e usos, que não devem ser desconsideradas, já que os dados referentes a todas as classes foram inseridas no modelo, e desta forma, evitou-se a perda de informações relevantes para o trabalho.

De acordo com NIETSCH et.al (2002), para incorporar uma maior complexidade de uso do solo e tipos de solos dentro de uma bacia, ou seja, para o modelo incorporar mais informações, é melhor definir uma quantidade maior número de sub-bacias do que muitas HRU's. Porém, existem exceções, como é o caso do presente trabalho. Mesmo que haja uma delimitação maior de sub-bacias na BHRM, ela não conseguirá capturar a diversidade de uso do solo sem a incorporação de muitas HRU's, pois se trata de uma bacia relativamente grande, e suas características relativas aos usos, devido a escala pequena, tornam-se bastante misturadas como se pode observar na Figura 21. Seria necessário, pelo tamanho da bacia, gerar uma infinidade de sub-bacias, a fim de captar devidamente todas as características de uso do solo na bacia.

Concluiu-se desta forma, que a melhor combinação seria uma simulação com múltiplas HRU's com área limite de 25 ha para gerar 24 sub-bacias e de 15 ha para gerar 42 sub-bacias, pois apresentaram melhores resultados mais coniventes com as hipóteses, depois de observados os resultados de todas as simulações para a produção de sedimentos.

### **5.3.3 SIMULAÇÃO PARA 24 SUB-BACIAS**

#### ***5.3.3.1 SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL***

Os maiores valores do escoamento são encontrados nas bordas e na porção central da bacia, devido ao relevo ondulado a forte ondulado e a presença em maior parte dos Neossolos Litólico. O menor valor de escoamento foi obtido na porção ao norte da bacia, onde o uso encontrado predomina em grande parte vegetação nativa (Floresta de Transição e Cerrado) em baixa declividade. Deve-se observar que o relevo das SBR, SBC e SBQ, com cerca 800 a 860 metros de altimetria e locais de elevada declividade, favorecendo o escoamento superficial.

Conforme esperado, os valores mais altos de escoamento superficial e de produção de sedimentos foram obtidos nas sub-bacias que apresentam maior variação de declividade com solos mais suscetíveis a erosão, com usos do solo mais críticos como agricultura e solo nu em Neossolos Quartzarênicos e Litólicos.

A simulação da distribuição espacial do volume de escoamento superficial para o ano de 1994 na BHRM é apresentada na Figura 23.

Com a distribuição espacial do volume de escoamento superficial constata-se a importância da cobertura do solo combinada com o tipo de relevo na bacia.

Dependendo da época do ano, alguns locais onde se encontram agricultura podem ser solo nu. Então foram feitas combinações em relação às áreas de uso do solo, alternando agricultura, com solos nu.

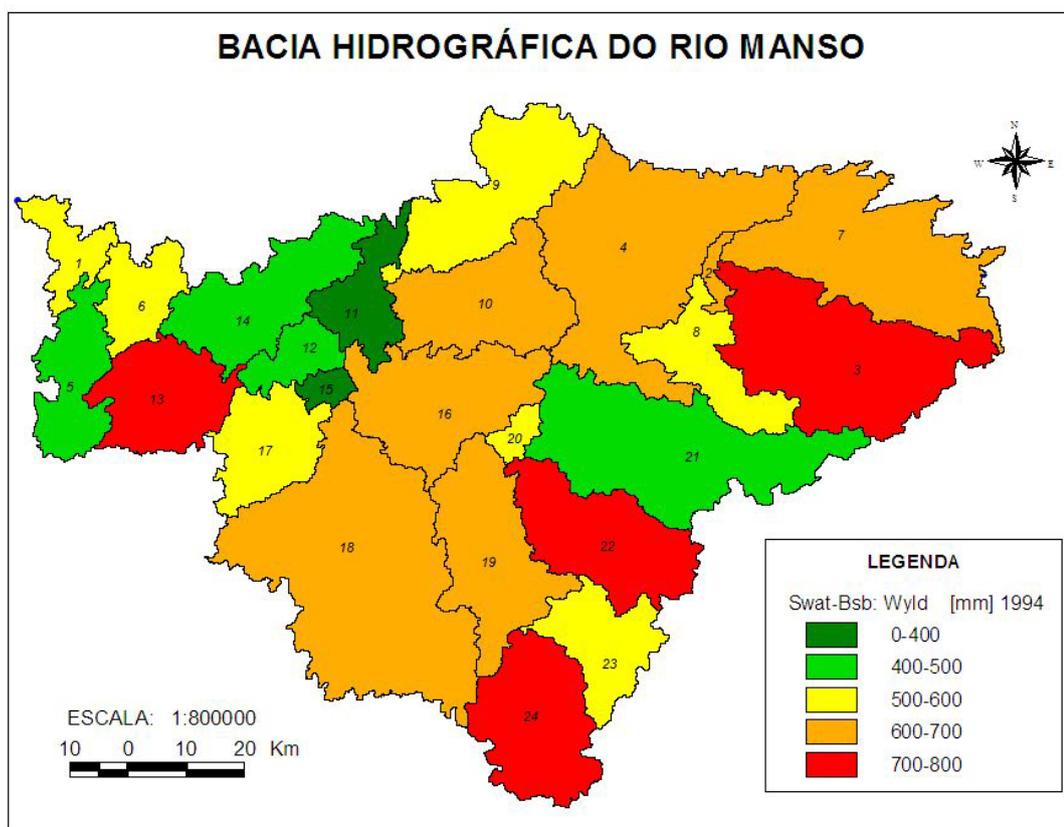


FIGURA 23: Distribuição espacial do escoamento superficial na BHRM.

Um fator importante a ser considerado tanto na produção de sedimentos como no escoamento superficial, é a intensidade, duração e frequência da chuva. Dados de chuva em totais ou médias mensais ou anuais pouco significam em relação do à erosão. Em duas regiões pode cair em um ano, a mesma quantidade de chuva, isso não significa que a situação de ambas seja semelhante, pois, em uma delas podem ter caído grande número de chuvas leves e, na outra, de duas a três chuvas pesadas que tenham contribuído com 60 ou 80% do total. E é provável que neste último caso, se as demais condições são semelhantes, possa-se esperar uma erosão mais severa (BERTONI & LOMBARD NETO, 1990).

A incapacidade do modelo de interpretar chuvas intensas em curtos períodos é uma grande limitação do mesmo, o que impede avaliar picos de descarga, que podem ser de maior interesse do que volumes de escoamento superficial.

É importante ressaltar que fatores, como histórico dos eventos erosivos, a variação espacial dos solos na paisagem e a morfologia do sistema de drenagem, podem influenciar as diferenças entre a produção simulada e a observada, o que no

caso, não foi objetivo deste trabalho. Além de que, para diferentes condições locais (uso do solo, clima, solos e relevo) e em diferentes escalas, os processos dominantes que influenciam o transporte de sedimentos não são os mesmos.

Pode-se notar de acordo com a Figura 24, que em maior parte de BHRM predomina o escoamento superficial sobre a percolação. Isso pode se dar devido à existência de solos rasos presentes em abundância nas áreas com maiores valores. Em alguns pontos, na sub-bacia 11 e na sub-bacia 24, os níveis de percolação foram mais altos que os de escoamento superficial. Essas duas sub-bacias representam exemplos diferentes de produção de sedimentos e isso pode ser explicado devido a outros fatores como tipo de solo, altimetria, declividade e usos existentes para a simulação do cenário atual.

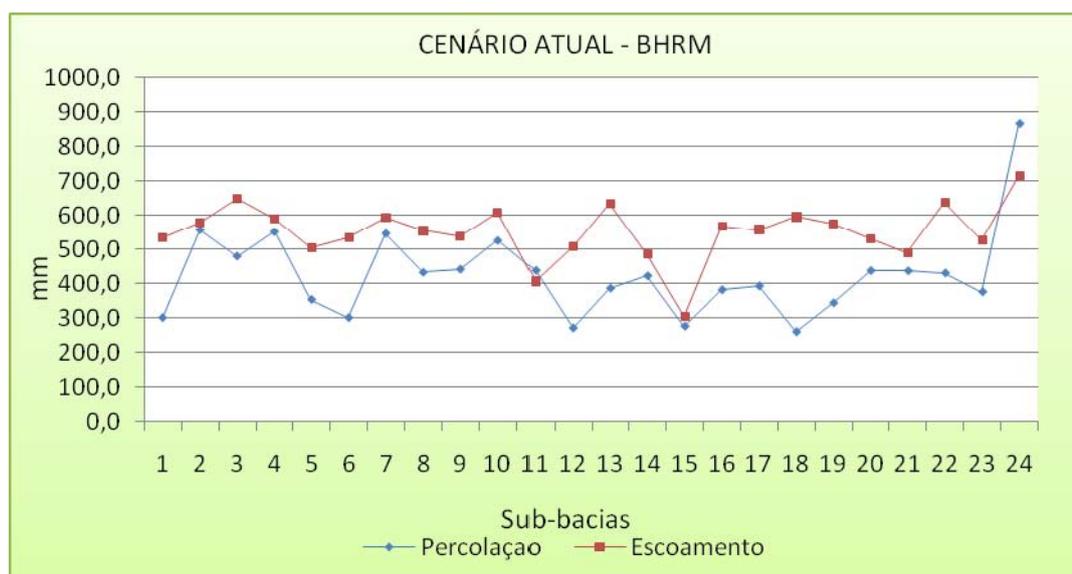


FIGURA 24: Resultados dos valores simulados de percolação e escoamento superficial para o uso atual da BHRM.

### 5.3.3.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

De modo geral, os maiores valores da produção de sedimentos ocorrem na porção sul da bacia (braço inferior do reservatório de Manso) com relevos variando de ondulado a forte ondulado, predominância de Neossolo Quartzarênico e os maiores valores altimétricos da bacia. Além de ser a parte onde se encontram as

maiores classes de declividade. No exutório da bacia, são encontrados os menores valores de produção de sedimentos, isto pode ser explicado pela barragem de Manso, localizada na sub-bacia 12, pois a mesma impede que parte dos sedimentos ultrapasse para as sub-bacias seguintes. Essas sub-bacias seguintes à barragem apresentam os menores valores na produção de sedimentos. Além disso, essa área representa a área mais baixa da BHRM, com valores entre 220 e 300 metros de altitude, declividade baixa, primeira e segunda classes, valores entre 0-3 e 3-8% de declividade, (relevo plano/praticamente plano a suave ondulado) o que também não permite uma erosão muito intensa. A predominância de uso desta região é de Cerrados.

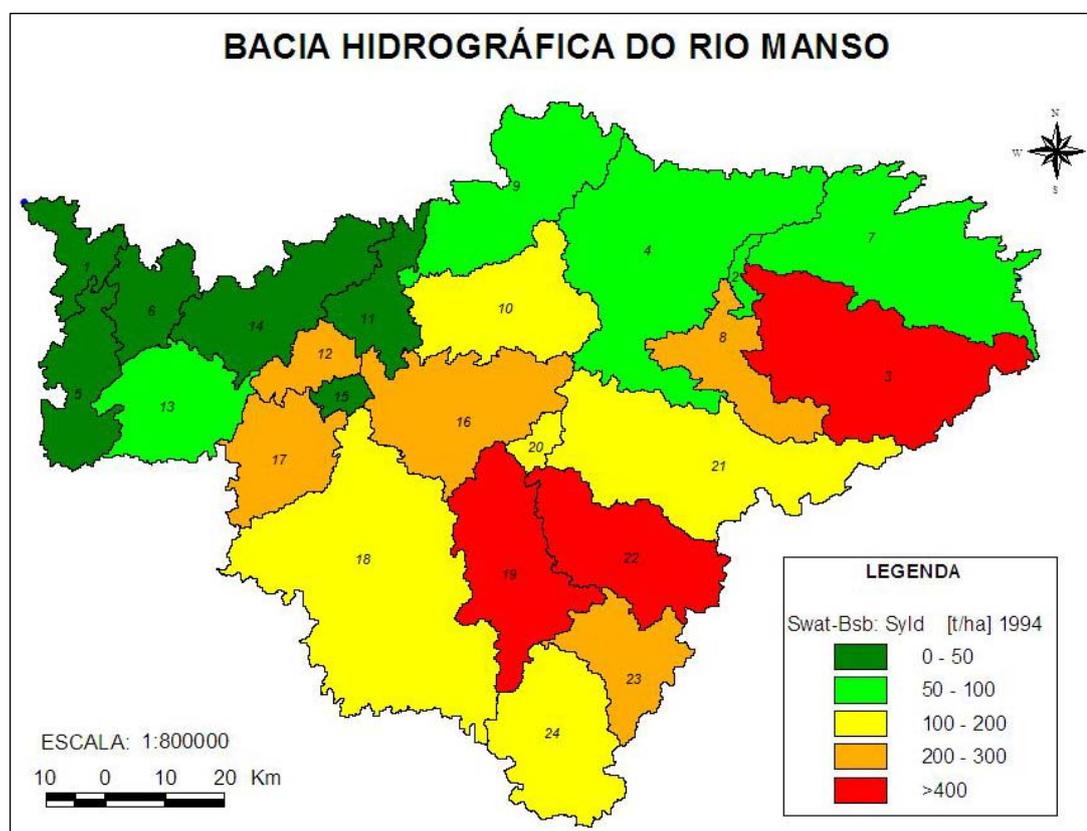


FIGURA 25: Distribuição espacial anual da produção de sedimentos para a BHRM.

Em geral verificou-se um valor maior na produção de sedimentos em locais concentrados, mais especificamente na porção sul da bacia devido a ocorrência de relevo mais acidentado e devido aos tipos de solos encontrados, (Neossolos Litólicos e Quartzarênicos) agravando o processo, e também m algumas das áreas de planalto

onde se verifica o uso de agricultura, como nas sub-bacias 22 e 23, conforme observado na Figura 25.

Entretanto, a conexão entre a geração, o transporte e a produção de sedimentos é complexa pela combinação de fatores citados acima e também pela variação temporal da capacidade de rede de drenagem em transportar sedimentos.

Segundo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990), conforme o tipo de cultura instalada e o manejo de solo pode haver grande exposição da superfície do solo à força erosiva de gotas de chuva. Ainda, com a formação de enxurradas e o solo exposto, há o carreamento de grandes quantidades de sedimentos para os cursos de água, e em maior ou menor intensidade de acordo com as características do solo, topografia, chuva, entre outras.

A FAO (1980)<sup>22</sup> apud OKA-FIORI et.al (2004) propôs uma classificação do grau de erosão hídrica para perda de solo:

TABELA 18: Classificação do grau de erosão hídrica.

<b>PERDA DE SOLO (t/ha. ano)</b>	<b>GRAU DE EROSÃO</b>
<b>&lt; 10</b>	Nenhuma ou ligeira
<b>10 - 50</b>	Moderada
<b>50 - 200</b>	Alta
<b>&gt; 200</b>	Muito alta

Fonte: adaptado de FAO (1980)

As sub-bacias 3, 19 e 22, apresentaram os maiores valores da produção de sedimentos em relação ao restante da bacia. Esse resultado pode ser explicado pelo tipo de solo encontrado na região, os Neossolos Litólicos e Quartzarênicos, que de acordo com SALOMÃO (1999), são classificados como de erodibilidade muito alta, além de o local estar situado sob a maior classe de declividade (>20%). Além disso, o escoamento superficial para essas sub-bacias apresentou valores altos mesmo a sub-bacia 24 apresentando um valor de percolação maior que escoamento. As sub-bacias 22 e 23 estão em área de agricultura (soja e algodão), o que pode ter ocasionado grande perda de solos. As sub-bacias 8 e 3, estão localizadas em uma

<sup>22</sup> FAO – FOOD AND AGRICULTURE. **Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos**. Roma: FAO/PNUMA: UNEP: UNESCO. 1980. 86 p. il

área na qual está situada uma faixa contínua bastante significativa de Neossolo Litólico, em alta declividade, e isso acarretará em grau de erosão elevado nessas sub-bacias para todas as simulações de cenários.

Os menores valores podem ser vistos em verde escuro, na porção norte, próximo ao exutório da bacia, região de Cambissolo, de baixa declividade, com ocorrência de Cerrado mais intacto, que no restante da bacia.

Observando a Figura 25 e a Tabela 18, pode-se concluir que aproximadamente 29,16% da BHRM apresentaram grau de erosão moderado; 50% das sub-bacias simuladas apresentaram grau de erosão considerado alto e 20,83% dos resultados da produção de sedimentos das sub-bacias apresentaram grau de erosão considerado muito alto para os padrões de perdas de solo, de acordo com a FAO (1980). Em relação à sub-bacia 21, pertencente à SBR (21 e 22), houve diferença em relação à produção de sedimentos. Ela apresentou valor mediano de produção em relação às demais sub-bacias adjacentes. Esse valor pode ser explicado pelo baixo escoamento superficial apresentado, de acordo com a Figura 24, e o valor de percolação foi bem próximo ao escoamento. O uso característico encontrado nessa sub-bacia é a agricultura (basicamente soja e algodão), pastagem e cerrado. Porém essa agricultura está situada sobre Latossolo Vermelho-Amarelo, que é considerado erodível em alta declividade, o que não ocorre no local do uso, pois está situado sobre planalto de Chapada As declividades referentes a esse uso estão sob classes I e II, consideradas muito baixa. Essa agricultura está situada sobre chapada, e plana, mesmo que com altimetria elevada, (800-900 m) o Latossolo Vermelho – Amarelo se comporta bem em domínios planos no que diz respeito a perdas de solos.

Analisando os resultados, em algumas sub-bacias pode ocorrer o processo de deposição de sedimentos ao invés de transporte, ou seja, nem todo o sedimento removido pelo processo de erosão foi transportado pela rede de drenagem e como por exemplo, na sub-bacia número 12, onde está localizado o reservatório. As sub-bacias a jusante apresentaram os menores resultados na produção de sedimentos para todas as simulações, pois o modelo, reconhecendo que ali existe um reservatório, gerou os resultados de deposição.

De posse dos resultados foi possível verificar, uma maior produção de sedimentos na porção sul da BHRM, atribuído ao relevo mais movimentado que a

parte norte e aos tipos de solos considerados frágeis com alto índice de suscetibilidade a erosão.

### 5.3.4 SIMULAÇÃO PARA 42 SUB-BACIAS

#### 5.3.4.1 SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial para o cenário atual de 42 sub-bacias varia, em relação ao cenário de 24 sub-bacias, somente no que diz respeito à grandeza de cada sub-bacia, pois em relação às características físicas como declividade, altitude, tipos de solos e uso dos solos, elas são as mesmas para as duas simulações. Na Figura 26 pode-se observar o escoamento superficial para a área de estudo com subdivisões de 42 sub-bacias.

Nota-se os maiores valores de escoamento superficial, concentrados nas bordas da bacia. No interior da bacia predominam valores mais baixos de escoamento. Isso se deve a fatores físicos já descritos anteriormente, na simulação para 24 sub-bacias, como declividade, tipos de solos dentre outros.

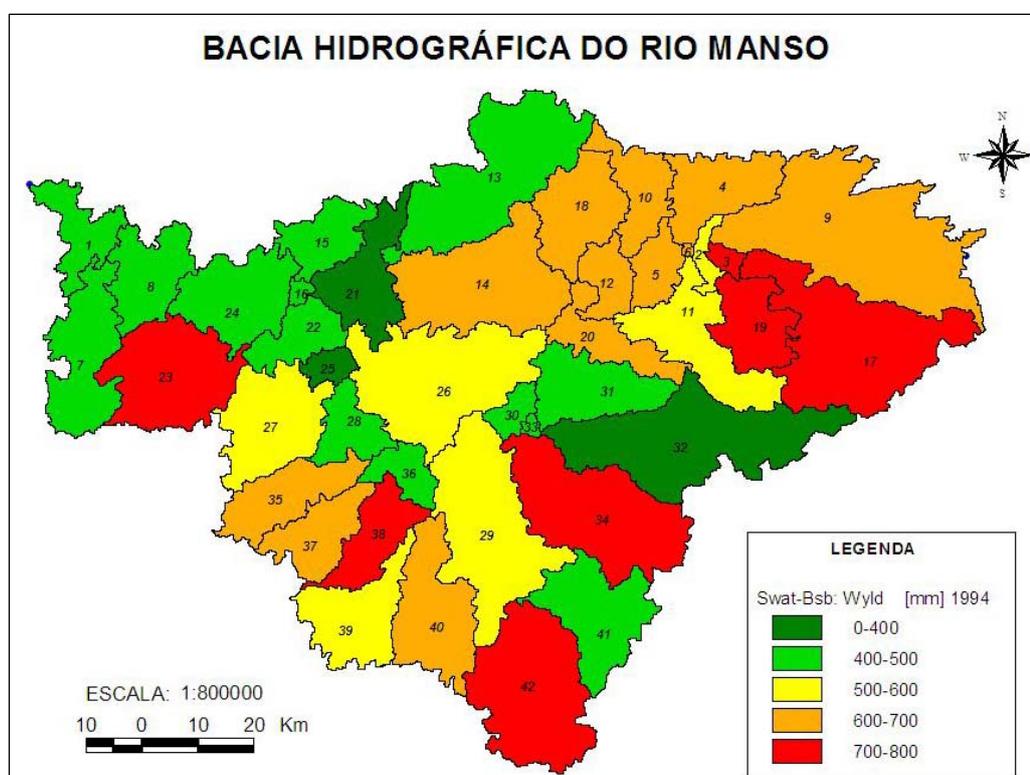


FIGURA 26: Distribuição espacial do escoamento superficial na BHRM.

Pode-se observar de acordo com a Figura 27, que o escoamento superficial predomina sobre a percolação na maior parte das sub-bacias, cerca de 33 sub-bacias, (78,57%), apresentam esse resultado. 4 sub-bacias, possuem valores bem aproximados entre escoamento e percolação, e 5 sub-bacias apresentam valores de escoamento abaixo dos valores de percolação. Novamente, observa-se os maiores escoamentos nas bordas da bacia, geralmente em locais mais acidentados.



FIGURA 27: Resultados dos valores simulados de percolação e escoamento superficial para o uso atual da BHRM.

#### 5.3.4.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

De um modo geral, a simulação para 42 sub-bacias apresentou valores como esperado, ou seja, maior produção de sedimentos na porção sul, e menor produção na porção norte.

O modelo reconheceu também nesta simulação, a barragem de Manso, gerando resultados de menor produção de sedimentos para as sub-bacias localizadas após a barragem, como pode ser observado na Figura 28.

Pode-se notar a variação nas cores dentro da bacia, isso permite concluir que o modelo foi mais sensível, aos diferentes usos do solo e ocupação na simulação.

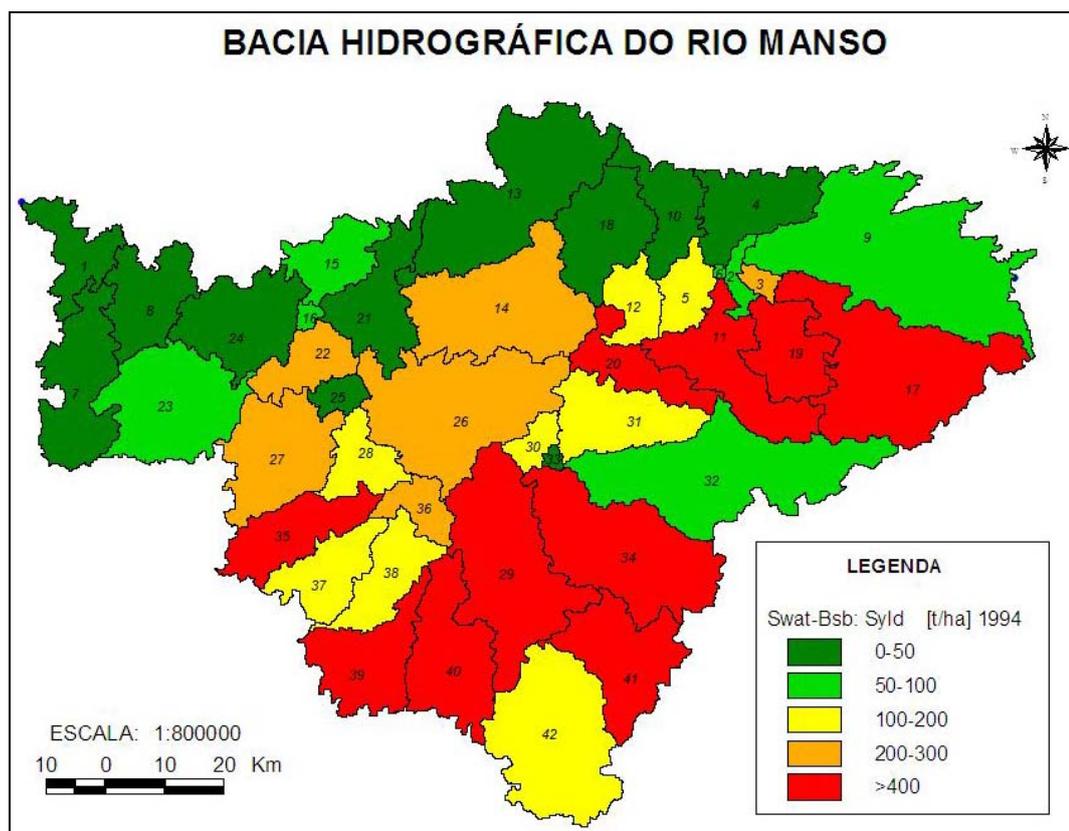


FIGURA 28: Distribuição espacial anual da produção de sedimentos para a BHRM.

As sub-bacias 11, 17, 19, 20, 29, 34, 35, 39, 40 e 41, apresentaram os maiores valores na produção de sedimentos para esta simulação. Isto pode ser explicado, além das características físicas da bacia, já definidos anteriormente, pela baixa percolação que essas unidades apresentam, de acordo com a Figura 27.

Os menores valores podem ser observados em 28,57% do total das sub-bacias, em verde escuro na porção norte da bacia, sendo que aproximadamente 23,80% do total, apresentam grau de erosão moderada de acordo com a Tabela 18.

Cerca de 52,38% do total, apresentam grau de erosão considerado alto e 23,80%, grau de erosão considerada pela FAO (1980) como muito alto.

A simulação realizada para 42 sub-bacias apresentou um total da produção de sedimentos igual a 6.670 ton/ha, para o ano de 1994.

Comparando a produção de sedimentos entre os dois cenários atuais, com subdivisões diferentes, pode-se concluir uma melhor sensibilidade do modelo em reconhecer diferentes usos do solo, e gerar resultados mais específicos, na simulação para 42 sub-bacias. Na simulação para 24 sub-bacias, o modelo generalizou os resultados, muitas vezes omitindo informações que poderiam ser pertinentes ao

trabalho. De acordo com a Figura 29, pode-se observar a diferença do total de sedimentos produzido para as duas subdivisões.

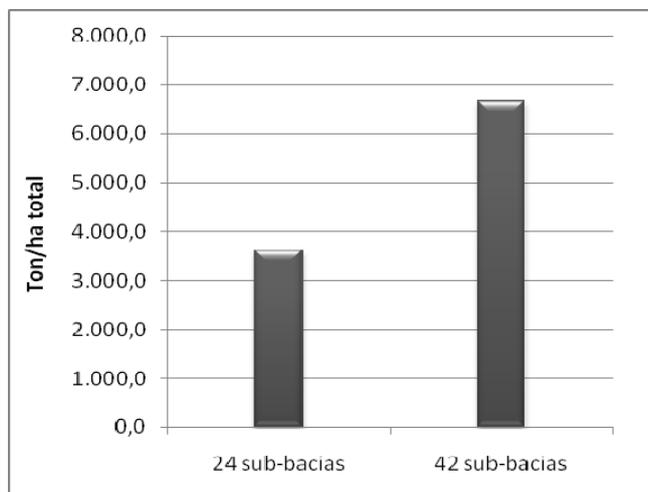


FIGURA 29: Totais da produção de sedimentos entre as duas simulações.

Como o modelo detalhou melhor a simulação para 42 sub-bacias, conclui-se que, provavelmente, havendo uma maior sensibilidade do modelo em reconhecer as características da bacia, resultou em uma maior produção de sedimentos, porém não se pode dizer que a simulação para 42 sub-bacias apresentou resultado mais compatível com a realidade.

Na SBC, da SBR e na SBBR, em ambas as simulações, os resultados foram aproximados. Este fato não foi verificado na SBQ e na SBAM, como pode ser observado na Figura 30. Em relação à quantidade de subdivisões da SBQ, o modelo definiu apenas 3 sub-bacias na simulação de 24, e na simulação de 42, o modelo definiu 9 sub-bacias para a SBQ. Isso pode explicar a diferença nos resultados da produção de sedimentos, pois, quanto maior o número de sub-bacias, maior a diferença nos resultados. O mesmo ocorreu para a SBAM, que na simulação de 24, o modelo gerou apenas 8 sub-bacias, enquanto na simulação de 42, gerou 15 sub-bacias. Isso permite concluir que, uma maior divisão de sub-bacias na simulação, gera maior detalhamento de resultados, e conseqüentemente, maiores valores na produção. De acordo com a Figura 25 e a Figura 28, observa-se que a divisão em ambas as simulações, foi de 3 sub-bacias para a SBC ou seja, não houve aumento de divisões para a simulação de 42. Isso permite concluir que a não alteração das divisões de sub-bacias, não alterou significativamente a estimativa de produção de

sedimentos da subunidade SBC. O mesmo ocorre para a SBBR, que em ambas as simulações, permaneceu com duas sub-bacias, e desta forma, com resultados totais da produção de sedimentos aproximados.

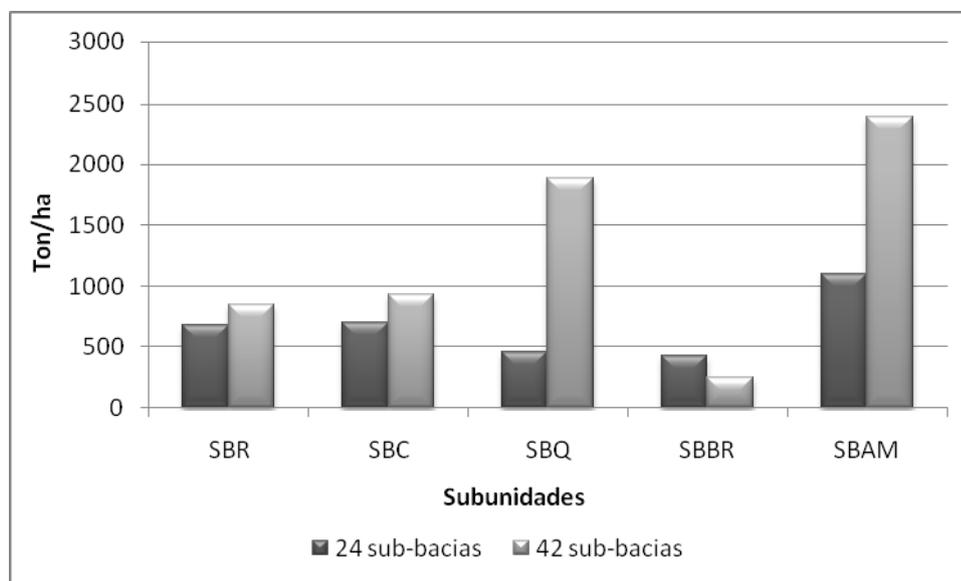


FIGURA 30: Totais da produção de sedimentos das subunidades de estudo para as duas subdivisões.

## 5.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

O objetivo da simulação de cenários nesse estudo não é caracterizar, de maneira completa, a eficiência das alternativas de manejo do uso do solo, mas sim, exemplificar a aplicação e as vantagens da utilização da integração de modelos em ambientes SIG. Essa integração basicamente permite que se varie somente o PI de uso e ocupação do solo. Os efeitos da variação no uso do solo sobre a produção de sedimentos foram calculados fazendo as simulações para quatro (4) cenários, comparando-os com o cenário atual e foram gerados com base nas características físicas da bacia.

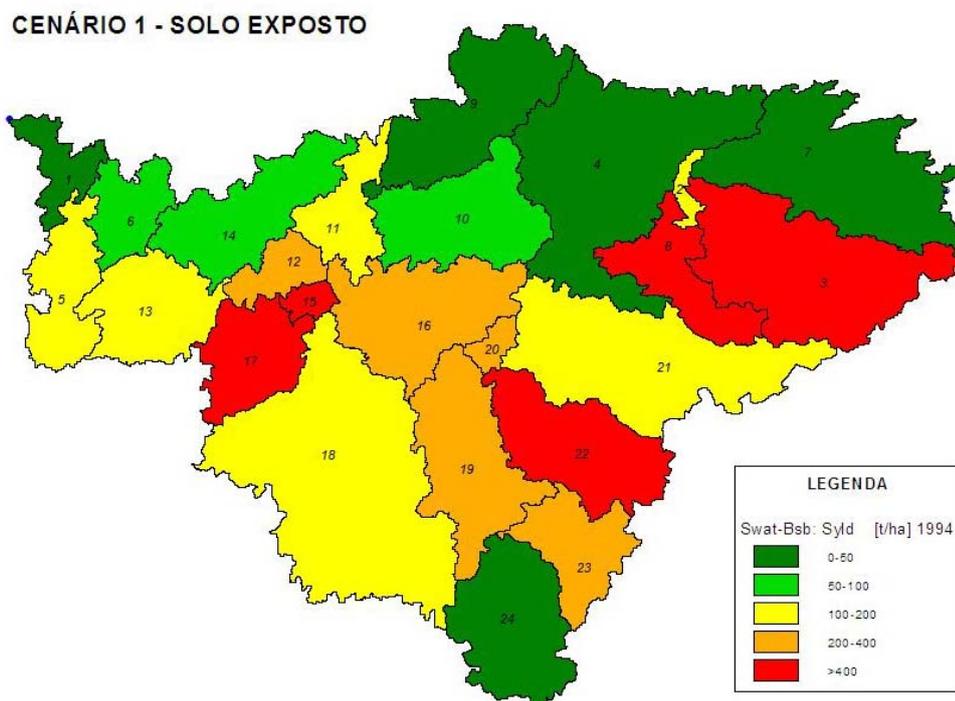
Na tabela 19 são apresentadas as áreas relativas correspondentes, de cada uso do solo, no cenário atual e nos cenários simulados.

TABELA 19: Uso do solo para simulação de cenários alternativos

(%)	AGRC	AGRL	FRSD	FRSE	WATR	FRST	PAST
<b>Cenário atual</b>	10,39	5,96	0,56	53,17	1,75	9,40	18,78
<b>Cenário 1</b>	100	-	-	-	-	-	-
<b>Cenário 2</b>	-	100	-	-	-	-	-
<b>Cenário 3</b>	-	-	-	-	-	-	100
<b>Cenário 4</b>	-	-	-	54,92	-	45,08	-

O cenário 1 (Figura 31) representa o uso do solo como sendo solo nu, o cenário 2 (Figura 32) representa o uso como sendo agricultura genérica, o cenário 3 (Figura 33) representa o uso como sendo pastagem e o cenário 4 (Figura 34) representa a vegetação nativa da bacia, como sendo constituído de Cerrado e Floresta de Transição.

Para o cenário 1, os maiores valores dizem respeito à sub-bacias encontradas na área com Neossolo Litólico e/ou Neossolo Quartzarênico, 8, 3, 17 e 22 com alta declividade (geralmente nas bordas) exceto na sub-bacia 15, o que pode ser explicado pela quantidade de sedimentos que chegam até ela, assim como na sub-bacia 12, onde existe o reservatório com a barragem de Manso. Cerca de 50% dos valores encontrados para as sub-bacias estão dentro da classe de perda de solo considerada alta no grau de erosão estabelecido pela FAO (Tabela 18). 37,5% estão dentro da classe considerada muito alta para os padrões de erosão e somente 12,5% estão na classe considerada moderada para os padrões de erosão.



**FIGURA 31:** Distribuição espacial da produção de sedimentos para o CENÁRIO 1.

Para o cenário 2, de acordo com as Figuras 32, das 24 sub-bacias simuladas, 15 delas apresentaram valores de produção de sedimentos entre 0-200 ton/ha, somente 3 apresentaram produção de sedimentos entre 200-400 ton/ha, e somente 4 apresentaram valores muito elevados de produção, >400 ton/ha. Concluiu-se que essas 7 sub-bacias com maiores produções, tenha elevado o valor total da produção de sedimentos em relação aos demais cenários. Essas sub-bacias estão em área com Neossolo Litólico e Quartzarênico, considerados solos de alta suscetibilidade a erosão, em locais com alta declividade. Para a classificação do grau de erosão, 50% das sub-bacias simuladas apresentaram graus de perda considerados altos e 50% muito altos.

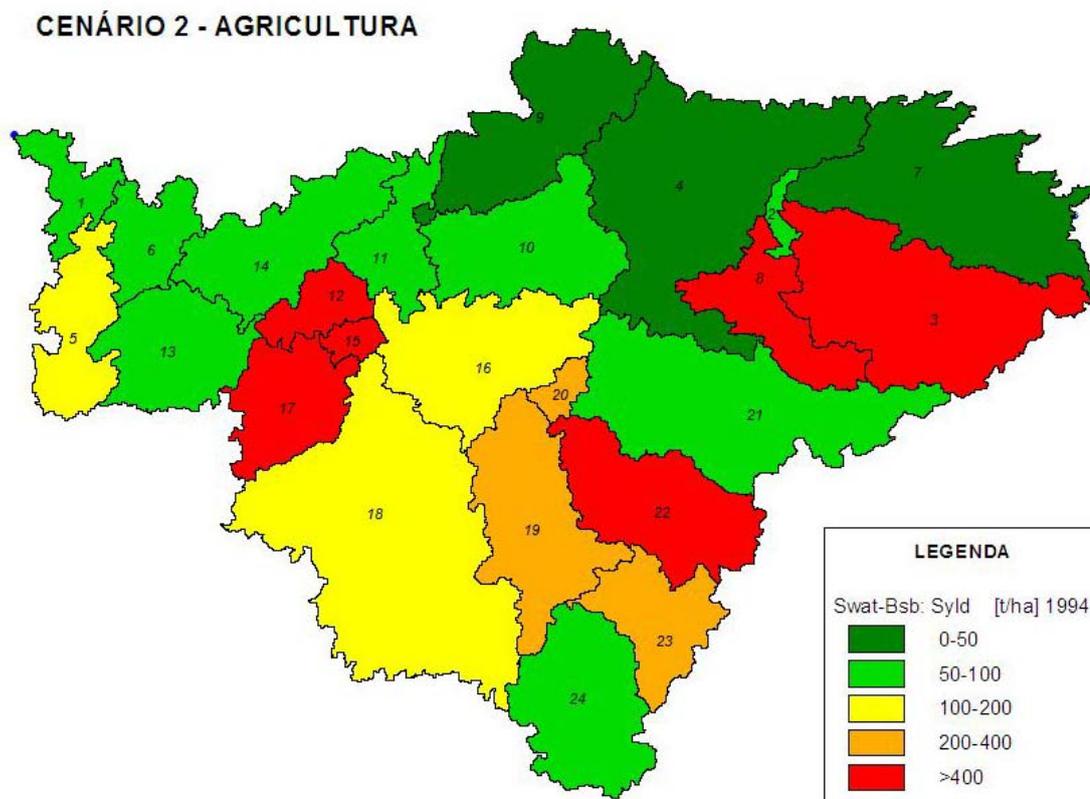


FIGURA 32: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o CENÁRIO 2.

Para o cenário 3, de acordo com as Figuras 33, das 24 sub-bacias simuladas, 6 apresentaram valores da produção de sedimentos entre 0-50 ton/ha; 4 delas apresentaram valores entre 50-100 ton/ha; 4 sub-bacias apresentaram valores entre 100-200 ton/ha; 5 das 24 sub-bacias apresentaram valores entre 200-400 ton/ha, e, por fim, com os mais altos valores na produção de sedimentos, 5 sub-bacias apresentaram resultados >400 ton/ha. Desta forma, pode-se concluir, que houve uma homogeneidade maior na distribuição de sedimentos entre as sub-bacias, apesar de possuir valor total de produção, ainda elevado, cerca de 3.824 ton/ha/ano de sedimentos.

Cerca de 50% das sub-bacias apresentaram grau de erosão considerado alto segundo padrões de perdas de solo; 37,5%, consideradas muito altas, e 12,5% consideradas moderada.

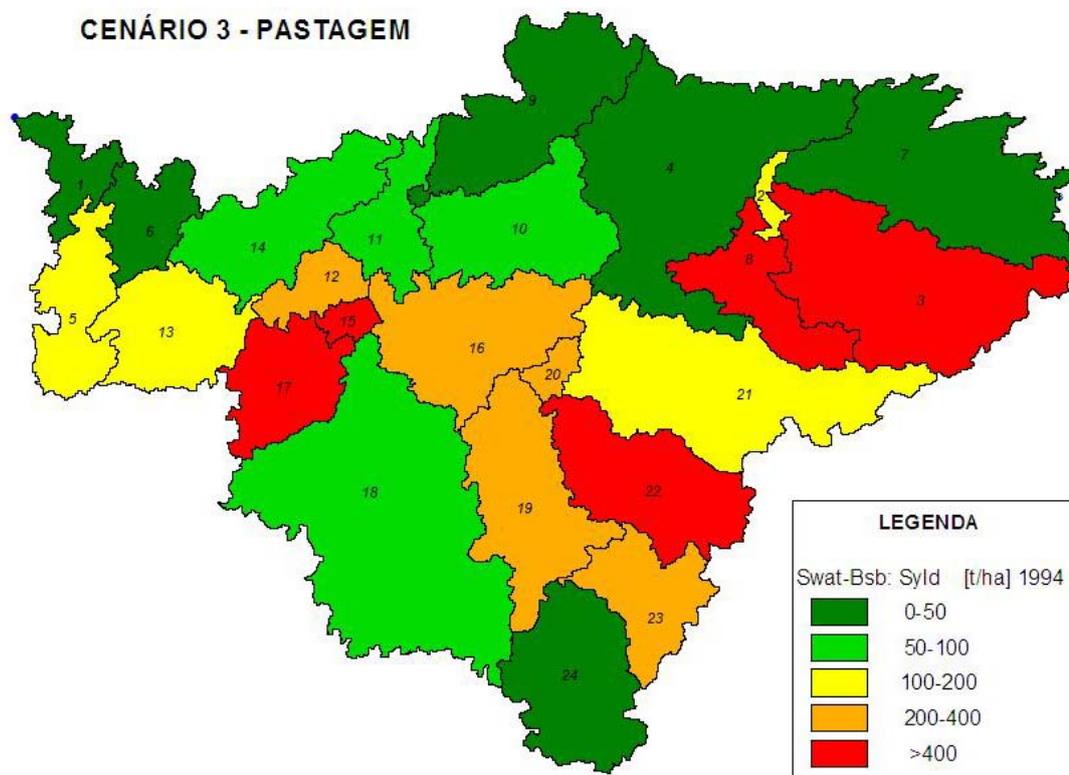


FIGURA 33: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o CENÁRIO 3.

No cenário 4, os valores em geral apresentaram redução significativa de perda de solos em relação aos demais cenários simulados, visto que o total da produção foi equivalente a 1.397,09 ton/ha. Das 24 sub-bacias simuladas, 17 delas, apresentaram resultados na produção de sedimentos entre 0-200 ton/ha, ou seja, 70,83% das sub-bacias apresentaram valores considerados neste trabalho, como muito baixos em relação às demais simulações.

Em geral todas as sub-bacias apresentaram diminuição nos valores de produção, sendo que 54,16% apresentaram grau de erosão considerado moderado, 4,1% com nenhum ou pouco grau de erosão; 41,6% considerado com alto grau de erosão e 0% da classe considerada como “muito alto” no grau de erosão.

Nas Figuras 34, pode-se observar essa diminuição nas taxas de produção de sedimentos.

## CENÁRIO 4 - VEGETAÇÃO NATIVA

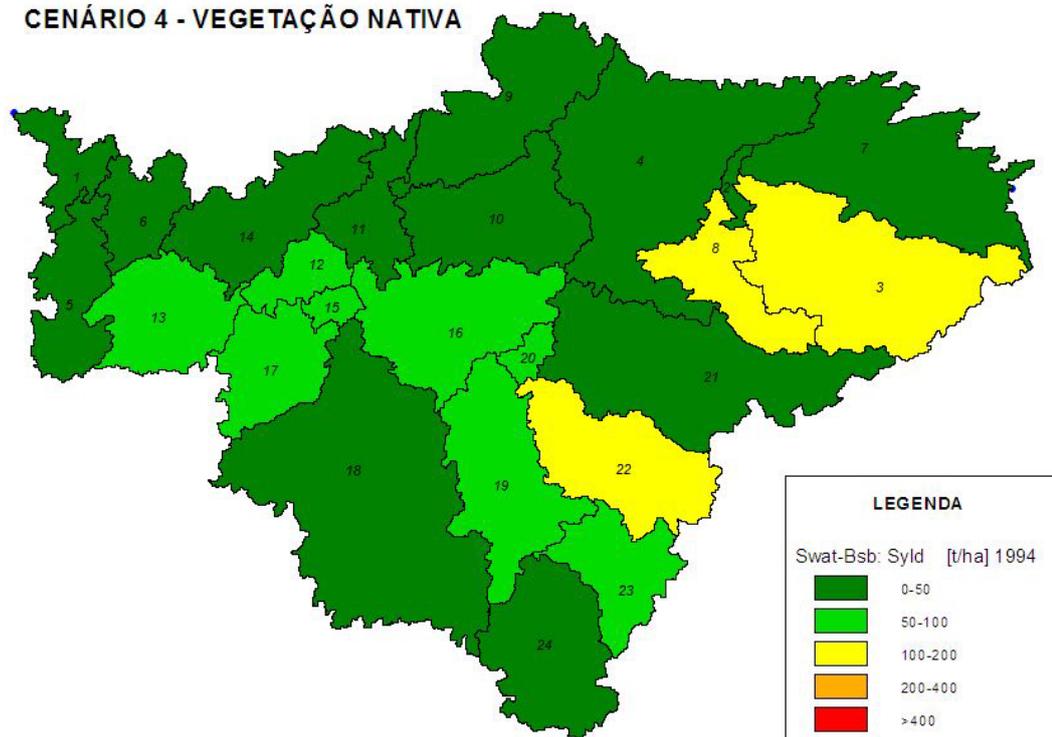


FIGURA 34: Distribuição espacial da produção de sedimentos para o CENÁRIO 4.

Na Figura 35 são apresentados os resultados totais, referentes aos cenários, para toda a área da bacia.

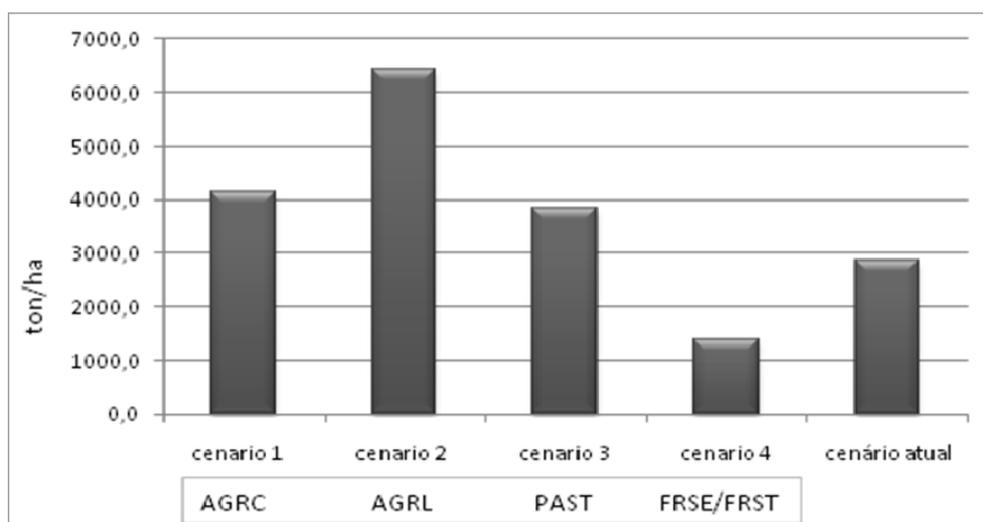


FIGURA 35: Valores totais da produção de sedimentos (ton/ha/ano), referente ao ano de 1994, relacionados aos cenários simulados pelo AVSWAT para a BHRM.

A variação no uso do solo do cenário 2, para o cenário 3, permitiu a diminuição da exposição dos solos mais suscetíveis à erosão, por pastagem. Segundo BROOKS et.al (1991)<sup>23</sup> apud MACHADO (2002), o pastoreio em condições adequadas normalmente não aumenta a quantidade de sedimentos nos corpos d'água após as chuvas intensas. Mas o pastoreio intensivo, em terrenos inclinados e solos frágeis, podem causar sérios problemas erosivos, porém é importante ressaltar que uma pastagem em boas condições de manejo não aumenta a quantidade de sedimentos nos corpos d'água após as chuvas intensas, mas uma pastagem com uso excessivo sem manejo, em terrenos com declividade alta e solos frágeis, pode causar processos erosivos.

No caso do presente trabalho, não se tem os dados do manejo utilizado na área de estudo. Os dados utilizados foram os do banco de dados do próprio modelo, que considera a pastagem, como sendo de boas condições de manejo.

Segundo USDA (1991)<sup>24</sup> apud MACHADO (2002), a agricultura é mais responsável pela produção de sedimentos do que o pastoreio, pois a erosão proveniente das áreas cultivadas responde por cerca de 38% e a erosão proveniente de pastagens por cerca de 26% dos sedimentos que atingem os corpos d'água nos Estados Unidos.

O impacto total do cenário 2 no aumento de sedimentos é muito maior do que o cenário 1, considerado solo nu. Geralmente, deveria ser o contrário, mas como houve uma adaptação da área de estudo ao banco de dados do modelo, devido à inexistência da classe “solo exposto” ou “solo nu”, o modelo gerou resultados coniventes com os dados existentes na sua base de dados. Talvez, isso tenha sido a causa do resultado incoerente com a realidade, em relação à agricultura. Porém coerente com os demais cenários.

Comparando o cenário de uso atual com o cenário 4, de vegetação nativa, é esperado que a vegetação nativa possa diminuir a erosão uma vez que, diretamente, altere os parâmetros de infiltração e especificamente a proteção dada ao solo contra o

---

<sup>23</sup> BROOKS, K.N.; FOLLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M.; THAMES, J.L. **Hydrology and the management of Watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991.392p.

<sup>24</sup> U.S.DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. **Riparian Forest Buffers: function and design for protection and enhancement of water resources**. Pennsylvania: USDA, 1991. 24p.

impacto direto das gotas de chuva e o aumento da rugosidade superficial. Esta última é um fator importante na redução do escoamento superficial e, conseqüentemente no transporte de sedimentos, além de que, essa diminuição não é uniforme por toda a bacia, mostrando uma importante relação com o declive.

Os menores valores da produção de sedimentos são encontrados nas sub-bacias com Cambissolo para a maioria dos cenários, ou seja, na porção norte da bacia, onde a vegetação é predominantemente Cerrado, e onde não se encontra muito uso agrícola. Também pode ser explicado pela baixa declividade existente nessa área.

Comparando os resultados das simulações dos 4 cenários de uso do solo, houve um aumento em relação ao uso atual das perdas de solo sobre a maioria das sub-bacias no cenário 1. Para o cenário 2, o resultado das produções de sedimentos foi ainda maior. No cenário de uso atual do solo, a produção de sedimentos simulada variou a partir de 26,45 a 398,40 t/ha para o ano de 1994. No cenário 2, variou de 70,00 t/ha a 680,10 t/ha, um valor muito elevado em relação ao uso atual. No cenário 3, quando a pastagem foi considerada para toda a bacia, a produção de sedimentos variou entre 31,8 t/ha a 442,6 t/ha. No cenário 4, com a substituição por vegetação nativa considerada para toda a área da bacia, a produção de sedimentos variou de 0,4 t/ha a 183,6 t/ha, representando o menor valor de todos os cenários simulados. Nas Figuras 36 e 37, pode-se visualizar a distribuição espacial da produção de sedimentos para os 4 cenários simulados.

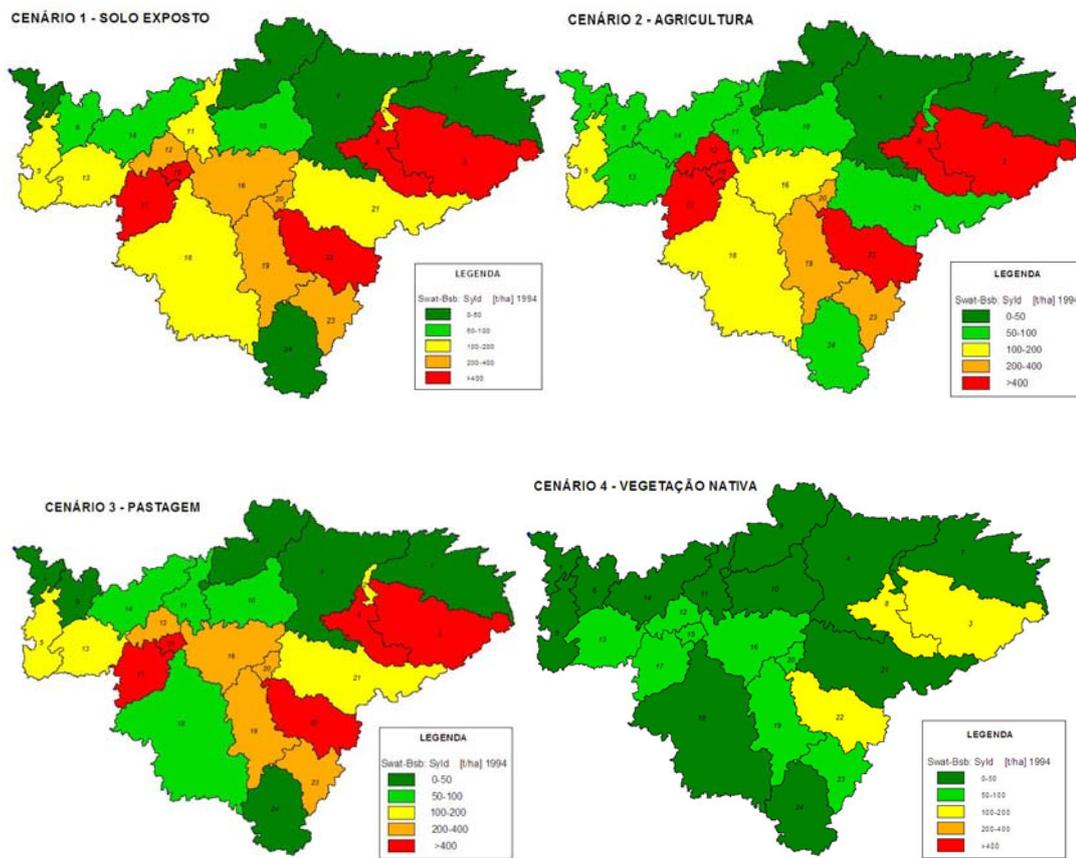


FIGURA 36: Distribuição espacial da produção de sedimentos para os quatro cenários simulados.

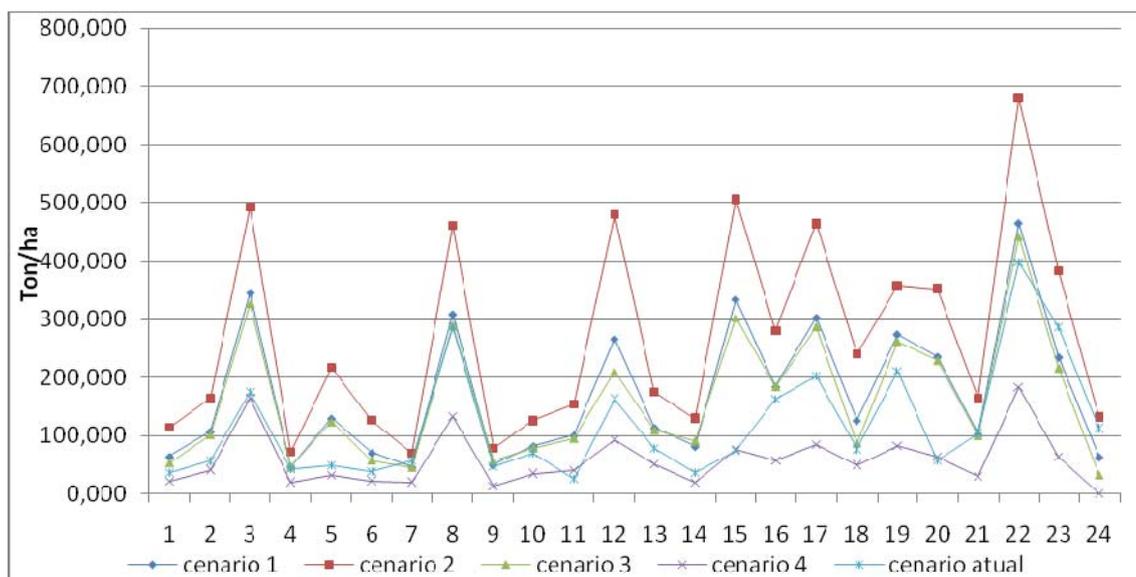


FIGURA 37: Variação da produção de sedimentos das sub-bacias para todos os cenários

Pela Figura 37, pode-se observar que houve certa tendência na produção de sedimentos das mesmas sub-bacias para todos os cenários, exceto, para o cenário atual e o cenário 4. Isso talvez possa ser explicado, pela variação no uso do solo, que ocorreu nestes dois cenários, e que não ocorreu nos outros. A diferença nos resultados da produção de sedimentos ocorreu, porém, de acordo com a Figura 37 percebe-se que, a variação do uso do solo, permitiu gerar melhores resultados no que diz respeito à leitura do modelo. Porém não foram encontrados trabalhos realizados com o objetivo de analisar a influência da quantidade de classes de uso do solo, na eficiência dos resultados do modelo.

## 5.5 ANÁLISE DO POTENCIAL À EROSÃO LAMINAR NA BHRM

De acordo com as classes de erodibilidade estabelecidas na Tabela 10, os solos encontrados na área de estudo podem ser vistos de acordo com suas respectivas classes de grau de erodibilidade, na Tabela 20:

TABELA 20: Classes de solos encontradas na BHRM com os respectivos graus de erodibilidade.

<b>Grau de erodibilidade</b>	<b>Classes de solos da BHRM</b>
<b>I</b> – Muito fraco	Gleissolos, Organossolos
<b>II</b> - Fraco	Latossolo Vermelho escuro
<b>III</b> - Médio	Latossolo Vermelho Amarelo
<b>IV</b> - Forte	Cambissolos, Plintossolos
<b>V</b> – Muito forte	Neossolos Quartzarênicos Neossolos Litólicos

O mapa de solos foi previamente realizado, para dar entrada como plano de informação ao modelo AVSWAT, como descrito neste capítulo, no item 4.2.5.

Realizando o cruzamento matricial, relacionando cinco classes de declividade com cinco classes de erodibilidade, foi gerado o resultado preliminar de suscetibilidade à erosão laminar, com cinco novas classes, como pode ser visto na Tabela 21.

TABELA 21: Critério adotado na definição das classes preliminares de suscetibilidade à erosão laminar

<b>Declividade</b>	<b>Classes de erodibilidade (solos)</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1 - Muito fraco</b>	V	V	V	IV	IV
<b>2 - Fraco</b>	V	V	IV	IV	III
<b>3 - Médio</b>	V	IV	IV	III	II
<b>4 - Forte</b>	-	-	III	II	I
<b>5 - Muito forte</b>	-	-	-	I	I

I – Extremamente suscetível: compreende os Neossolos Quartzarênicos e Litólicos em classes de declividade forte e muito forte (entre 12 a 20% e > 20%) e os Cambissolos e Plintossolos em declividade muito forte (>20%);

II – Muito suscetível: compreende Neossolos Quartzarênicos e Litólicos em declividade média de 8 a 12%, Cambissolos e Plintossolos em declividade forte.

III – Moderadamente suscetível: compreendem os Neossolos Litólicos e os Quartzarênicos em declividade fraca, os Cambissolos, Plintossolos em declividade Média (8-12%), Latossolos Vermelho-amarelos em declividade forte (12 a 20%).

IV – Pouco suscetível: compreende os Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, os Cambissolos e os Plintossolos em classe de declividade muito fraco (0-3%), os Cambissolos, Plintossolos e os Latossolos Vermelho amarelos em declividade fraca (3-8%) e os latossolos Vermelho escuros e Vermelho-amarelos em declividade média (8-12%).

V – Pouco a não suscetível: compreende os Latossolos Vermelho amarelos, Vermelho escuros, Organossolos e Gleissolos em classe de declividade muito fraca (0-3%), e os Latossolos Vermelho escuros, Organossolos e Gleissolos em declividade fraca (3-8%), e Gleissolos e Organossolos em declividade média.

Esses dados gerados do cruzamento deram origem a um mapa preliminar de suscetibilidade a erosão que foi cruzado posteriormente com os dados do uso e ocupação do solo.

As classes de uso e ocupação do solo da BHRM foram adaptadas às classes de graus de suscetibilidade propostas por ROSS (2005) e SALOMÃO (1999), e podem ser visualizadas na Tabela 22 a seguir:

TABELA 22: Classes de uso e ocupação do solo encontradas na BHRM com os respectivos graus de ação erosiva

<b>Grau de ação erosiva</b>	<b>Uso e ocupação da BHRM</b>
1 - Muito forte	AGRC - Agricultura em estágio inicial;
2 - Forte	AGRL - Agricultura Genérica
3 - Médio	PAST - Pastagem
4 - Fraco	FRSE - Cerrado
5 - Muito fraco	FRST - Floresta de Transição FRSD - Floresta Tropical WTR - Água

SALOMÃO (1999) adotou como critério para o estabelecimento das classes de uso e ocupação, o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo da terra, e os usos da BHRM foram adaptados a essas classes para melhor representar a área em estudo. Para o mesmo autor, o porte da cobertura vegetal reflete, de forma indireta, o nível de cobertura vegetal sobre o solo e, conseqüentemente, a proteção deste solo quanto aos processos erosivos.

Após a adaptação dos tipos de usos encontrados na bacia em estudo, foi realizado o cruzamento matricial das classes preliminares de suscetibilidade com as classes de uso e ocupação definidas anteriormente, e a partir desse cruzamento, foram definidas as três classes finais de potencial à erosão laminar na BHRM.

TABELA 23: Matriz de definição das classes de potencial à erosão laminar.

Suscetibilidade Preliminar	Uso e ocupação do solo				
	1.Muito forte	2.Forte	3.Médio	4.Fraco	5.Muito fraco
1.Extremamente suscetível	I	I	I	I	II
2.Muito suscetível	I	I	I	II	III
3.Moderadamente suscetível	I	I	II	II	III
4.Pouco suscetível	II	II	II	III	III
5.Pouco a não suscetível	II	III	III	III	III

I - **Alto potencial:** compreende solo exposto (AGRC), agricultura genérica (AGRL) em declividade fraca (3-8%), média (8-12%), forte (12-20%) e muito forte (>20%), em todos os tipos de solos exceto Organossolos e Gleissolos; Pastagem (PAST) em declividade forte e muito forte, em Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, Cambissolos, Plintossolos, Latossolos vermelho amarelos e a classe Cerrado (FRSE) em declividade forte e muito forte em Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, Cambissolos e Plintossolos.

II - **Médio potencial:** compreende as classes de Floresta de Transição (FRST) e Floresta Tropical (FRSD) em declividade forte e muito forte em Neossolos Quartzarênicos, Litólicos, Cambissolos e Plintossolos; a classe Cerrado (FRSE) em declividade fraca, média, forte e muito forte sobre Neossolos Quartzarênicos e Litólicos, Cambissolos, Plintossolos, Latossolos Vermelho; a classe Pastagem (PAST) em declividade fraca, muito fraca e média, sobre todos os tipos de solos, e forte e muito forte em todos as classes de solos, exceto Organossolos e Gleissolos. Por fim, o solo exposto (AGRC) e agricultura genérica (AGRL), em declividades fraca, muito fraca e média, sobre todos os tipos de solos.

III – **Baixo potencial:** Compreende as classes Floresta de Transição (FRST) e Floresta Tropical (FRSD) em todas as classes de declividade e em todos os tipos de solos; a classe Cerrado (FRSE) em declividade muito fraca, fraca e média em todos os tipos de solos, e a classe pastagem (PAST), em declividade muito fraca e fraca em latossolos Vermelho amarelos, Vermelho escuros, Organossolos e Gleissolos.

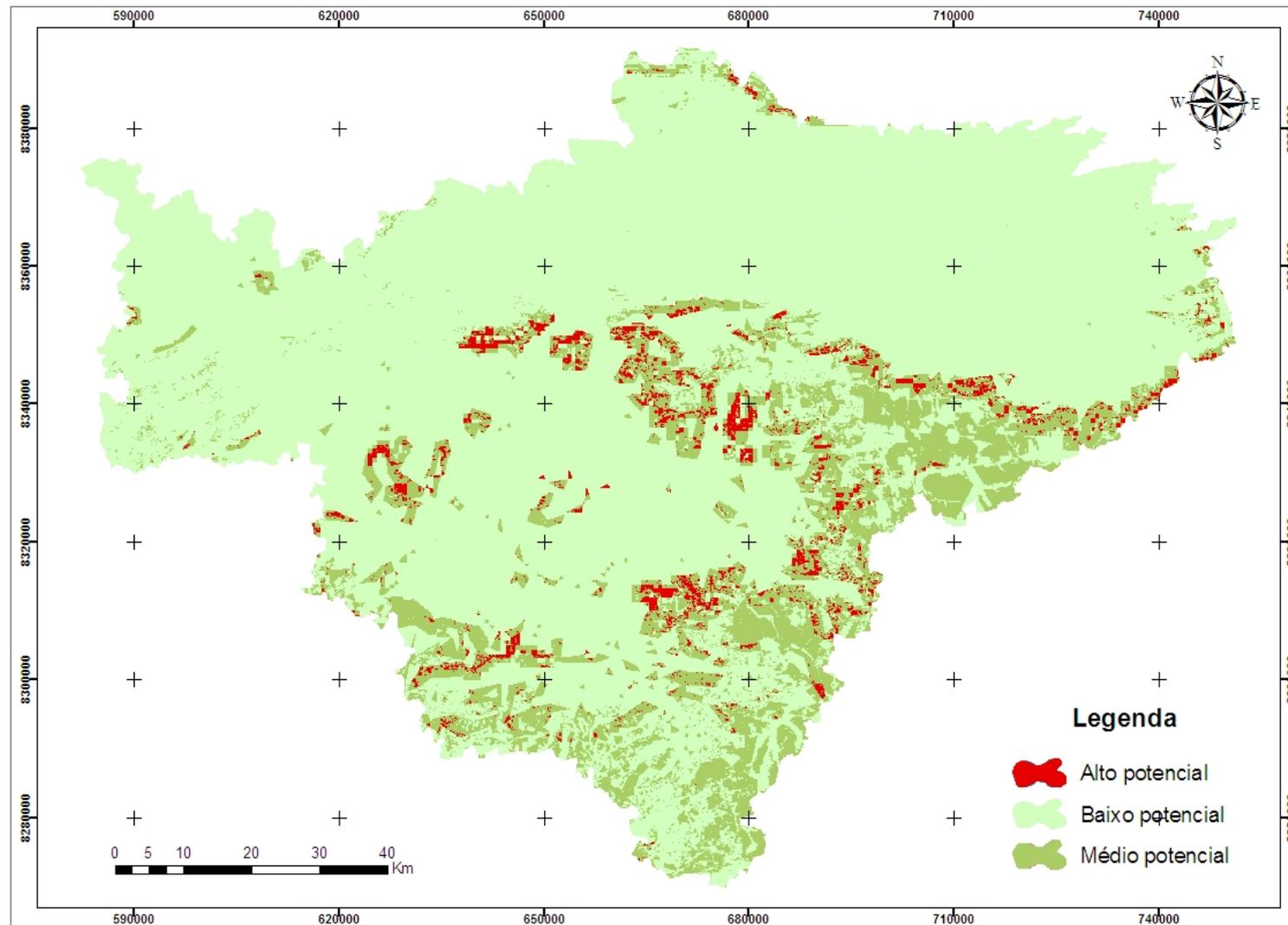


FIGURA 38: Mapa final de potencial à erosão laminar para a BHRM.

De acordo com os resultados gerados no cruzamento matricial das classes de declividade, solos (erodibilidade) e dos tipos de uso e ocupação do solo, pode-se fazer algumas considerações acerca da área de estudo.

Pelo mapa final, pode-se notar que grande parte da área classificada como sendo de baixo potencial à erosão está localizada na porção norte e central da bacia, onde se apresentam também, valores baixos de declividade. Aproximadamente 80,81% da área total da bacia, estão situadas nesta classe de baixo potencial, e isto pode ser explicado, além das baixas declividades encontradas nessas regiões, o fato de que o baixo potencial coincide em algumas partes dessa área, com a vegetação nativa e áreas remanescentes naturais.

O percentual aproximado para as áreas com médio potencial à erosão gira em torno de 16,68%, e apresentam o segundo maior valor. Essa classe coincide com áreas principalmente ocupadas por agricultura em bordas da bacia, em classes média, forte e muito fortes de declividades em solos considerados muito suscetíveis e extremamente suscetíveis. Pode-se observar pela Figura 38, que as áreas mais suscetíveis a erosão, estão localizadas próximo às nascentes, nas bordas da bacia, o que gera uma preocupação ainda maior.

Aproximadamente 2,51% da área da bacia, apresenta alto potencial à erosão. Observando a Figura 38 e a Figura 18 (mapa declividade), nota-se que essas áreas, situam-se geralmente nos relevos mais escarpados encontrados dentro da bacia, mais íngremes, com classes de declividade forte e muito fortes (>20%), em solos considerados extremamente suscetíveis a erosão. Concentra-se basicamente na porção sul da bacia, principalmente nas bordas, onde as encostas são mais íngremes.

## **5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após a realização das simulações e da análise de suscetibilidade foi possível verificar a influência que cada solo exerce sobre os processos erosivos. A erosão não é a mesma em todos os solos. Para BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), as propriedades físicas, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade,

assim como as características químicas e biológicas do solo exercem diferentes influências na erosão.

Portanto pode-se concluir que esta bacia não é considerada adequada para o cultivo intensivo, por apresentar solos considerados frágeis com alto índice de erodibilidade, o que futuramente poderá causar déficit de produção, assoreamento dos rios entre outros. A vegetação nativa seria a cobertura do solo ideal do ponto de vista hidrológico.

Um fator a ressaltar para a avaliação da produção de sedimentos e do escoamento superficial é a intensidade da precipitação, característica relevante que o modelo desconsidera. O total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração. Esse fator auxiliaria num melhor entendimento dos fenômenos ocorridos na bacia em estudo, entretanto o mesmo não impediu que o modelo obtivesse bons resultados nas simulações.

Outra questão que deve ser analisada é a sensibilidade do modelo em relação às áreas de cultura encontradas na bacia. As simulações de cenários indicaram que as variações no uso do solo podem diminuir ou aumentar a produção de sedimentos na BHRM. Nesse estudo foram modelados os possíveis efeitos da vegetação nativa na produção de sedimentos, e a qualidade de futuras simulações pode ser melhorada se os usos forem mais detalhados, englobando um maior espectro dos tipos de culturas, por exemplo.

### **5.6.1 AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO AVSWAT NA ÁREA DE ESTUDO**

Complementando a discussão relacionada à aplicação do modelo SWAT na área de estudo, vale enfatizar alguns aspectos relativos aos benefícios e, também, às dificuldades referentes à utilização desse modelo na estimação dos variados parâmetros.

A variação das condições hidrológicas é decorrente da combinação de vários fatores como: condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, relevo, geologia, geomorfologia e solos, cobertura vegetal e uso do solo.

Nesse sentido, além da disponibilidade dos dados, um dos critérios mais importantes no processo de modelagem refere-se às escalas de dados de entrada, o quão representativo são os dados e em como as escalas podem indicar os enfoques dos trabalhos.

No presente trabalho, em função da base de dados cartográficos utilizada, da carência de dados relacionados à bacia (não instrumentada), e das séries de dados regionais ou de literatura utilizadas na simulação do SWAT, considerou-se que o estudo foi realizado em escala de reconhecimento, de primeira aproximação em relação à quantificação dos processos erosivos e à produção de sedimentos.

Uma parte dos dados, que poderiam ser utilizados no refinamento das respostas geradas pelo modelo, é inexistente na área de estudo. As variáveis hidrológicas, sedimentológicas e meteorológicas não são monitoradas satisfatoriamente nas bacias estudadas.

Vale ressaltar que os dados climáticos utilizados no presente trabalho, devido à falta de monitoramento na bacia estudada, foram obtidos em estações climáticas fora da área de estudo. Este fator pode ter prejudicado a precisão da simulação dos processos na área em questão.

Um fator importante na aplicação do SWAT relaciona-se aos dados de entrada de cobertura e desenvolvimento vegetal, e, também, aos dados de preparo e manejo do solo. Esses dados, extremamente numerosos, não foram alterados, tendo sido utilizada a própria base de dados do modelo.

O SWAT mostrou-se como uma ferramenta promissora, nessa primeira aproximação relacionada à bacia e à subunidades da área de estudo, com ressalvas aos dados quantitativos. Deve-se considerar que nenhum modelo apresentara 100% de acuracidade (SILVA & OLIVEIRA 1999)<sup>25</sup> apud MINOTI (2006). No entanto, mesmo com a complexidade para levantamento dos dados necessários aos processos de validação e calibração, o processo de modelagem deve caminhar no sentido de melhorar a qualidade da simulação aproximando-se do real.

Outras partes do modelo não foram aplicadas para a área de estudo nessa primeira aproximação por não fazerem parte do escopo do estudo. A quantificação

---

<sup>25</sup> SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A.S. **Runoff measurement and prediction for a Watershed under natural vegetation in central Brazil**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.23, p.695-701, 1999.

dos químicos, a simulação da qualidade da água nos corpos aquáticos, entre outras partes, poderão contribuir com informações de grande utilidade para o conhecimento dos sistemas.

Em função da escassez de uma série de dados da área de estudo, algumas etapas do processo de modelagem como validação, calibração e análise de sensibilidade não foram realizadas. Esses são os passos finais quando a modelagem é utilizada como ferramenta no processo de gerenciamento ambiental. Vale ressaltar que são necessários 10 a 20 anos de dados coletados para calibrar o modelo SWAT de maneira acurada (FITZHUGH & MACKAY, 2000)<sup>26</sup> apud MINOTI, (2006). Recomenda-se desta forma, para trabalhos futuros, a realização dessas etapas também importantes para pesquisas dessa natureza.

Existem poucos trabalhos na literatura relacionados ao modelo SWAT no Brasil. Dessa forma, os trabalhos com esse modelo devem ser estimulados no país. Além disso, tendo em vista as mudanças climáticas regionais e globais, torna-se fundamental a quantificação dos processos relacionados aos ciclos hidrossedimentológico em ambientes carentes de estudo e, também, o acompanhamento das alterações em ambientes onde os processos são conhecidos.

---

<sup>26</sup> FITZHUGH, T.W.; MACKAY, D.S. Impacts of Input parameter spatial aggregation on an agricultural nonpoint source pollution model. **Journal of Hydrology**, v.236, p.35-53, 2000.

## 6 CONCLUSÕES

A simulação utilizando o modelo AVSWAT, foi considerada uma primeira aproximação para a previsão do risco a erosão, da produção de sedimentos, porém, dado o enfoque do trabalho, a aplicação desse modelo foi considerada satisfatória gerando informações importantes para a área de estudo e para o aprofundamento do conhecimento relacionado aos solos, usos, reservatório nas subunidades.

O modelo se mostrou sensível às diferentes discretizações de áreas limites e concluiu-se que os melhores valores foram de 25 ha e 42 ha de área limite com subdivisão de 24 e 42 sub-bacias, pois gerou resultados mais coniventes com a hipótese.

Constatou-se que a discretização para 42 sub-bacias, apresentou maior nível de detalhamentos, e deste modo, foi possível um melhor reconhecimento do modelo para as características físicas da bacia;

Estimou-se a perda de solo por erosão para a bacia estudada, através da simulação de diferentes cenários para vários usos e ocupação do solo.

Foram identificadas áreas com vulnerabilidade ambiental em função da combinação de elementos de tipos de solos, diferentes usos do solo, altimetria e declividade.

Conforme esperado, a simulação apresentou resultados de perda de solos na bacia do rio Roncador, relativamente elevados em relação às demais subunidades;

O modelo foi sensível às mudanças de cenário de uso do solo e possibilitou identificar áreas de maior vulnerabilidade ambiental, como áreas com declividade média e altas e áreas com classes de solos consideradas suscetíveis a erosão, como Neossolos Quartzarênicos e Litólicos.

Nos cenários 1 e 2, ocorreram grande parte das perdas de solo demonstrando que os tipos de solos encontrados nas sub-bacias mais críticas fisicamente como a SBQ, SBC e a SBR, associados a estes tipos de uso, formam um ambiente frágil no que diz respeito a erosão.

Os cenários 3 e 4, foram os que apresentaram menores valores da produção de sedimentos, e desta forma, conclui-se que a pastagem e a vegetação nativa formam bons protetores do solo contra a erosão.

Os resultados confirmaram que a bacia do rio Roncador é um potencial contribuinte de sedimentos para o reservatório de Manso, de acordo com a simulação para 24 sub-bacias.

Foi possível gerar o mapa final de potencial à erosão, através dos cruzamentos matriciais e comparar os resultados obtidos com os resultados obtidos pelas simulações.

Através da análise de suscetibilidade, foi possível identificar áreas mais suscetíveis à erosão, como áreas pertencentes a todas as classes de solos, em classes de declividade (3-8%, 8-12%, 12-20% e >20%) com solos nu, agricultura, e pastagem.

A análise de suscetibilidade à erosão permitiu validar a simulação do modelo AVSWAT, pois as áreas mais suscetíveis à erosão correspondem às que mais produziram sedimentos nas simulações.

Os resultados obtidos possibilitaram observar a necessidade de reconhecer nas bacias hidrográficas as áreas sensíveis aos processos erosivos, onde são necessárias práticas de controle a erosão, ou mudança na cobertura do solo.

Os resultados permitiram concluir que a carência de dados referentes aos processos hidrossedimentológicos constituiu uma limitação ao refinamento dos dados produzidos gerados pelo modelo.

O modelo se mostrou eficiente para as simulações, porém, poucos trabalhos foram realizados utilizando o AVSWAT, o que impossibilita um maior aprofundamento no tema, além de existirem ainda muitas dúvidas acerca do manuseio da ferramenta.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ABRAHAM, L. Z.; ROEHRIG, J.; CHEKOL, D. A. Calibration and Validation of SWAT Hydrological Model for Meki Watershed, Ethiopia In: **CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURE RESEARCH FOR DEVELOPMENT – TROPENTAG**. Witzenhausen, Germany, 2007.

ANDRADE, N, L de; XAVIER, F.V.; ALVES, E.C.R.F.; SILVEIRA, A.; OLIVEIRA, C.U.R de.: Caracterização Morfométrica e Pluviométrica da Bacia do Rio Manso, MT, **Geociências UNESP**, São Paulo v.27, n.2, p. 237-248, 2008.

ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S. WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model Development, **JAWRA**, EUA, v.34, n.1, p.73 – 89, 1998.

BALDISSERA, G.C: **Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. 2005. 144f. Dissertação (mestrado em física e Meio Ambiente)- Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2005.

BENITES, E.T.; MOTA, J.L.O.; REYNOSO, D.S.F. Aplicación del modelo SWAT en la Cuenca “El Tejocote”, Atlacomulco, estado de Mexico In: **X CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN & SIMPOSIO 4: MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROLOGICAS**. 2000, Chihuahua, México.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. 5ª Ed. São Paulo: Coleção Brasil Agrícola, Ícone Editora. 2005. 355p.

CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; de SOUZA, N. M.; SILVA, M. T. (orgs): **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília, FINATEC, 2006. 464p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p..

CHILETTO, C., 2005. **Caracterização climática da região do lago de Manso: um estudo comparativo com a área urbana de Cuiabá/MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiaba.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COELHO NETTO, A.L Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia In: GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B (orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: Guerra A. J. T.; Cunha S. B (orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. **ArcView Interface for SWAT2000 – User’s Guide**. Texas, EUA: Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2001. 337p.

DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. 2000. AVSWAT: An ArcView GIS Extension as a tool for the watershed control of point and nonpoint sources In: **PROCEEDINGS OF 2000 ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE**. 2000. San Diego, EUA, p. 26-30.

DUTRA, K de R.; TEIXEIRA, E. C.; MENDONÇA, A. S. F.: Determinação da estimativa de perda de solo por erosão superficial em bacia hidrográfica utilizando Sistema de Informações Geográficas – SIG. In: **XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL- ABES**. 1997. Foz do Iguaçu, RJ. V – 025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE. **Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos**. Roma: FAO/PNUMA: UNEP: UNESCO. 1980. 86 p. il.

FOHRER, K.; ECKHARDT, K.; HAVERKAMP, S.; FREDE, H.G. Applying the SWAT model as decision support tool for land use concepts in peripheral regions in Germany In: **10<sup>TH</sup> INTERNACIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION MEETING**. 1999, EUA, Purdue University an USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. p. 24-29.

GARCEZ, L. N E ALVAREZ, G. B. **Hidrologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: CUNHA, S.B. da & GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4ª edição Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B.(orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUERRA, A.T. Experimentos e Monitoramento em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n.16. p 32-37. 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia/IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – 2ed.** Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 323p.

LIBOS, M.I.P.C., 2002. **Modelagem da Poluição não pontual na Bacia do Rio Cuiabá baseada em geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 269p.

LIMA, W.P. Importância das Florestas para produção de água. **Simpósio sobre Recuperação da Cobertura Florestal da Bacia do Rio Corumbataí**, 3, Piracicaba: IPEF/ESALQ, 2000.p-13.

LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B.: **Engenharia de Recursos Hídricos**. São Paulo: McGraw do Brasil, Editora da USP, 1978;

MACEDO, I. K. SOUZA, N. M. CAMPAGNOLI, F. Utilização de Modelo de Previsão de Erosão/Assoreamento para Avaliação do Balanço de Massas numa Bacia Hidrográfica. In: CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; de SOUZA, N. M.; MELO, T. M. S. (orgs): **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília, Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. 464p.

MACHADO, R.E.: **Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento**. 2002. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Vol.27. n<sup>o</sup> 4. 2003.

MCCULLOCH, J.S.G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology**, 150:189-216, 1993.

MINOTI, R. T. **Abordagem qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi- Superior**, 2006. 247f. Tese (doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2006.

MIRANDA, E.E. (coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 10 fev.2009.

MOLINA, L. A. U. Validación del modelo hidrológico SWAT, com interfaz ArcView, em La Cuenca alta del rio Chama, estado Mérida. **Revista Venezolana**, 49(1), 2005.

MORO, M. 2005. **O uso da modelagem e geoprocessamento no monitoramento de uma microbacia hidrográfica**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, L.G. KINIRY, J.R. WILLIAMS, J.R. KING, K.W. **Soil and Water Assessment Tool – User’s Manual**: Version 2000. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2002a, 458p.

NEVES, F. F. **Análise prospectiva das áreas de risco à erosão na Microbacia Hidrográfica do Rio Bonito (Descalvado – SP), potencialmente poluidoras por dejetos de granjas**. 2005. 183f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

OKA-FIORI, C.; FIORI, A.P.; HASUI, Y.: Tolerância de perdas de solo na bacia do rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: editora UFPR. n. 54,. P 83-99. 2004.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Orgs: GUERRA, A.J.T; SILVA, A.S; BOTELHO, R.G.M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

OLIVEIRA, M.Q.C. **Impactos de mudanças no uso do solo na características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira**. 1999. 90p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 1999.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres,1981. 440p.

PAIVA, J. B de; PAIVA, E. M. C. D. de.(orgs). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. (Ed. Rev) Porto Alegre: ABRH, 2003.

PANDEY, V. K. . PANDA, S. N. PANDEY, A. and SUDHAKAR S. : Evaluation of effective management plan for an agricultural watershed using AVSWAT model, remote sensing and GIS. **Journal: Environmental Geology**. Springer Berlin / Heidelberg; Volume 56, Number 5, January, 2009.

PAPAGALLO, G.; LO PORTO, A.; LEONE, A. Use of the SWAT model for evaluation of anthropic impacts on water resources quality and availability in the Celon Creek basin (Apulia – Italy). **2ND INTERNATIONAL SWAT CONFERENCE**. 2003, Baria/Italy. TWRI Technical Report, 2003. p266.

PARANHOS FILHO, A.C.; FIORI, A.P.; DISPERATTI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A. LASTORIA, G.: Avaliação Multitemporal das perdas de solo na bacia do Rio Taquarizinho – MS. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: editora UFPR. n. 52., P. 49-59, 2003.

PENTEADO, E.F.A.; **Estudo em modelo reduzido das características hidráulicas do vertedor da barragem da usina hidrelétrica APM Manso**. 2001. Monografia de conclusão do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT, 2001.

PINTO, L. F. G.; CRESTANA, S. Digitalização e processamento de imagens aplicados ao estudo prospectivo de um agroecossistema In: CRUVIENI, P. S. et.al (Eds). **ANAIS do I SIAGRO**. São Carlos, 1996. Brasília, EMBRAPA – SPI. 1997, p 416-421.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 210p.,

ROSS, J. L.S **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 8ed. São Paulo: Contexto, 2005. (Repensando a Geografia). 85p.

SALOMÃO, F. X. T. **Plano de controle dos processos erosivos em escarpa, no perímetro urbano e Peri urbano da cidade de Primavera do Leste, MT.** FAPEMAT – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, 2002.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos Processos Erosivos. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Bulletin of Geological Society of America.** 1956, n.67, p 598-646.

SEPLAN – **Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Zoneamento Sócio Econômico Ecológico - ZSEE** – Servidor de Mapas. Disponível em:

<http://www.seplan.mt.gov.br/html/internas.php?tabela=paginas&codigoPagina=139&PHPSESSID=5100841896a3b0f109933030d08549d9>>. Último acesso em 21/03/2009.

SILVA, A.M da.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B de. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RiMa, 2007, 2ed.158p.

SILVA, F.G.B; CRESTANA, S. Determinações iniciais de Correlação entre Transporte de sedimentos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas. In: VIII **SIBESA**, 2006. Fortaleza. Anais do VIII SIBESA. Resumos expandidos, 2006.

SILVA, F.G.B; MINOTI, R. T.; NETTO, A.A.; REIS, J.A.T.; TSUHAKO, E.M.; CRESTANA, S. Simulação da produção de sedimentos em uma sub-bacia Hidrográfica Experimental com o modelo SWAT. **VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos.** Livro de resumos Expandidos, 2005.

SILVA, J. X da. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001, 228p.

**SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO**. Brasília, DF: EMBRAPA, Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006.

**SONDOTECNICA S.A. M.** Emprego de modelo matemático de qualidade de água para avaliação do impacto ambiental da UHE Manso – MT, Rio de Janeiro, RJ. Relatório final, 1987.

SOUZA, N.M de. & SILVA, M.T de. **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília, Universidade Federal de Brasília: FINATEC, 2006. 464p.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Bulletin**, Nevada, EUA. V.30, n.03, p. 453-462, 1994.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFGRS: Edups, ABRH, 2001. 943p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ABRH, 1998. 652p. V.1.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE: Soil Conservation Service. **Hydrology**. National engineering handbooks. Washington: USDA, 1986.

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M.; **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1997. 524p.

VILLELA, S.M. & MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil. 1975, 245p.

YAYA, S.: Assessing and Quantifying Sediment Loading in the South of the Root River Watershed. In: **RESOURCE ANALYSIS**. 2007, Winona, MN, EUA - Department of Resource Analysis, Saint Mary's University of Minnesota: Central Service Press. volume 9. 13p.

ZAKIA, M.J.B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de matas nativas**. 1998. 113f. (Doutorado) Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. SP. 1998.

## **ANEXO A**

<b>CLASSES</b>	<b>Rq</b>	<b>Cx</b>	<b>Gj</b>	<b>Ox</b>	<b>Lve</b>	<b>LVA</b>	<b>RL</b>	<b>FF</b>
<b>NLAYERS</b>	4.00	5.00	4.00	4.00	5.00	4.00	3.00	3.00
<b>HYDGRP</b>	B	C	D	D	A	B	D	C
<b>SOL_ZMX</b>	1500.00	1100.00	1300.00	800.00	940.00	1500.00	800.00	1200.00
<b>ANION_EXCL</b>	0.37	0,47	0.39	0.40	0.30	0.38	0.40	0.33
<b>SOL_Z1</b>	180.00	300.00	80.00	100.00	110.00	360.00	50.00	250.00
SOL_BD1	1.70	1,6	1.40	1.60	1.60	1.50	1.60	1.60
SOL_AWC1	0.00	0,15	1.00	0.18	0.00	0.30	0.15	0.80
SOL_K1	90.00	12,5	12.50	12.50	90.00	12.50	12.50	12.50
SOL_CBN1	0.50	1,4	2.80	8.14	0.80	1.10	0.40	2.40
CLAY1	7.20	40.0	26.40	26.00	12.60	30.30	17.20	16.20
SILT1	14.90	40.0	71.50	31.00	9.40	16.00	29.40	32.10
SAND1	77.90	20.0	2.10	43.00	78.00	53.70	53.40	51.70
ROCK1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB1	0.16	0,15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
USLE_K1	0,45	0,05	0.31	0.13	0.17	0.13	0.17	0.13
SOL_EC1	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SOL_Z2</b>	340.00	600	450.00	300.00	290.00	760.00	300.00	530.00
SOL_BD2	1.60	1.40	1.50	1.70	1.50	1.70	1.60	1.70
SOL_AWC2	0.10	0.18	0.10	0.15	0.10	0.30	0.15	1.00
SOL_K2	90.00	12.50	5.00	12.50	90.00	12.50	12.50	12.50
SOL_CBN2	0.40	0.60	0.70	13.95	0.50	0.20	0.60	1.50
CLAY2	10.80	34.00	37.80	22.36	14.50	29.80	24.70	33.30
SILT2	8.60	35.70	56.30	26.42	5.60	14.30	25.60	33.30
SAND2	80.60	30.3	5.90	51.22	79.90	55.90	49.70	33.40
ROCK2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB2	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
USLE_K2	0.25	0.16	0.30	0.12	0.10	0.35	0.16	0.13
SOL_EC2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SOL_Z3</b>	670.00	800	750	500.00	670.00	1210.00	300.00	1200.00
SOL_BD3	1.60	1.40	1.60	1.70	1.70	1.70	1.60	1.80
SOL_AWC3	0.20	0.18	0.70	0.15	0.00	0.40	0.15	0.50
SOL_K3	90.00	12.50	40.00	12.50	90.00	12.50	12.50	90.00
SOL_CBN3	0.30	0.40	0.30	15.70	0.30	0.50	0.60	0.60
CLAY3	10.30	28.40	25.60	22.38	19.80	29.50	24.70	15.50
SILT3	15.60	37.70	62.40	21.36	9.40	13.80	25.60	24.60

SAND3	74.10	33.90	12.00	56.26	70.80	56.70	49.70	59.90
ROCK3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB3	0.16	0.00	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15
USLE_K3	0.15	0.17	0.26	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17
SOL_EC3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SOL_Z4</b>	1500.00	1100.00	1300.00	800.00	940.00	1500.00	800.00	0.00
SOL_BD4	1.60	1.80	1.70	1.50	1.40	1.60	1.30	0.00
SOL_AWC4	0.20	0.18	0.50	0.18	0.00	0.40	0.18	0.00
SOL_K4	90.00	40.00	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	0.00
SOL_CBN4	0.20	0.40	0.30	3.14	0.30	0.40	0.76	0.00
CLAY4	13.20	26.80	21.50	55.27	24.00	35.60	32.00	0.00
SILT4	15.20	43.70	57.30	24.56	11.10	15.90	35.00	0.00
SAND4	71.60	29.50	21.20	20.16	64.90	48.50	33.00	0.00
ROCK4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB4	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00
USLE_K4	0.15	0.18	0.21	0.11	0.14	0.14	0.16	0.00
SOL_EC4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>SOL_Z5</b>	0.00	1170.00	0.00	0.00	1500.00	0.00	0.00	0.00
SOL_BD5	0.00	1.40	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00
SOL_AWC5	0.00	0.18	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
SOL_K5	0.00	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00
SOL_CBN5	0.00	0.30	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
CLAY5	0.00	27.00	0.00	0.00	23.80	0.00	0.00	0.00
SILT5	0.00	39.30	0.00	0.00	9.80	0.00	0.00	0.00
SAND5	0.00	33.70	0.00	0.00	66.40	0.00	0.00	0.00

## **APÊNDICE I**

SWAT model simulation		Mon May 11 17:16:18 2009				
MULTIPLE HRUS LandUse/Soil OPTION		THRESHOLDS : 10 / 20 [%]				
Number of HRUS: 98						
Number of Subbasins: 24						
WATERSHED:		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area		
		1055387.2444	2607914.6503			
LANDUSE:						
Pasture-->PAST		212327.5901	524672.0916	20.12		
Forest-Evergreen-->FRSE		647881.8855	1600948.5332	61.39		
Forest-Mixed-->FRST		63773.8279	157588.3175	6.04		
Agricultural Land-Close-grown-->AGRC		83240.3845	205691.1521	7.89		
Agricultural Land-Generi-->AGRL		48163.5563	119014.5559	4.56		
SOIL:						
OX		1287.6629	3181.8794	0.12		
Cx		477252.3715	1179314.4725	45.22		
RL		42145.6159	104143.9242	3.99		
FF		47765.5502	118031.0628	4.53		
Rq		400243.8088	989022.4636	37.92		
LVA		54542.6536	134777.6241	5.17		
Lve		32149.5816	79443.2236	3.05		
SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
1		14701.5008	36328.1436	1.39		
LANDUSE:						
Pasture-->PAST		4229.9323	10452.3743	0.40	28.77	
Forest-Evergreen-->FRSE		10471.5685	25875.7693	0.99	71.23	
SOIL:						
FF		14701.5008	36328.1436	1.39	100.00	
HRUS:						
1	Pasture-->PAST/FF	4229.9323	10452.3743	0.40	28.77	1
2	Forest-Evergreen-->FRSE/FF	10471.5685	25875.7693	0.99	71.23	2
SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
2		3906.0000	9651.9213	0.37		
LANDUSE:						
Forest-Evergreen-->FRSE		2365.6732	5845.6968	0.22	60.57	
Forest-Mixed-->FRST		986.0971	2436.6951	0.09	25.25	
Agricultural Land-Close-grown-->AGRC		554.2297	1369.5294	0.05	14.19	
SOIL:						
Cx		3906.0000	9651.9213	0.37	100.00	
HRUS:						
3	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	2365.6732	5845.6968	0.22	60.57	1
4	Forest-Mixed-->FRST/Cx	986.0971	2436.6951	0.09	25.25	2
5	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Cx	554.2297	1369.5294	0.05	14.19	3
SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
3		81240.7488	200749.9523	7.70		
LANDUSE:						
Forest-Evergreen-->FRSE		43930.6314	108554.7867	4.16	54.07	
Forest-Mixed-->FRST		12115.3135	29937.5453	1.15	14.91	
Agricultural Land-Close-grown-->AGRC		25194.8039	62257.6203	2.39	31.01	
SOIL:						
RL		15968.1976	39458.2147	1.51	19.66	
Cx		65272.5512	161291.7376	6.18	80.34	
HRUS:						
6	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	32484.7046	80271.3293	3.08	39.99	1
7	Forest-Evergreen-->FRSE/RL	11445.9268	28283.4574	1.08	14.09	2
8	Forest-Mixed-->FRST/Cx	7593.0427	18762.7881	0.72	9.35	3
9	Forest-Mixed-->FRST/RL	4522.2708	11174.7573	0.43	5.57	4
10	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Cx	25194.8039	62257.6203	2.39	31.01	5

		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area		
SUBBASIN #	4	100563.7504	248498.0554	9.53			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	18737.9091	46302.3102	1.78	18.63		
	Forest-Evergreen-->FRSE	69865.1126	172640.1865	6.62	69.47		
	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC	11960.7287	29555.5588	1.13	11.89		
SOIL:							
	Cx	100563.7504	248498.0554	9.53	100.00		
HRUs:							
11	Pasture-->PAST/Cx	18737.9091	46302.3102	1.78	18.63	1	
12	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	69865.1126	172640.1865	6.62	69.47	2	
13	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Cx	11960.7287	29555.5588	1.13	11.89	3	
-----							
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area		
SUBBASIN #	5	28680.7488	70871.5643	2.72			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	3398.4190	8397.6633	0.32	11.85		
	Forest-Evergreen-->FRSE	21683.1180	53580.0686	2.05	75.60		
	Forest-Mixed-->FRST	3599.2118	8893.8324	0.34	12.55		
SOIL:							
	Cx	18285.8560	45185.2644	1.73	63.76		
	FF	10394.8928	25686.3000	0.98	36.24		
HRUs:							
14	Pasture-->PAST/Cx	2195.3680	5424.8641	0.21	7.65	1	
15	Pasture-->PAST/FF	1203.0510	2972.7992	0.11	4.19	2	
16	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	12491.2761	30866.5678	1.18	43.55	3	
17	Forest-Evergreen-->FRSE/FF	9191.8418	22713.5008	0.87	32.05	4	
18	Forest-Mixed-->FRST/Cx	3599.2118	8893.8324	0.34	12.55	5	
-----							
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area		
SUBBASIN #	6	20175.7504	49855.2880	1.91			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	5737.3989	14177.3996	0.54	28.44		
	Forest-Evergreen-->FRSE	14438.3515	35677.8885	1.37	71.56		
SOIL:							
	FF	20175.7504	49855.2880	1.91	100.00		
HRUs:							
19	Pasture-->PAST/FF	5737.3989	14177.3996	0.54	28.44	1	
20	Forest-Evergreen-->FRSE/FF	14438.3515	35677.8885	1.37	71.56	2	
-----							
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area		
SUBBASIN #	7	76810.5024	189802.5920	7.28			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	9627.2106	23789.3187	0.91	12.53		
	Forest-Evergreen-->FRSE	44758.0842	110599.4639	4.24	58.27		
	Forest-Mixed-->FRST	9942.4876	24568.3841	0.94	12.94		
	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC	12482.7200	30845.4253	1.18	16.25		
SOIL:							
	RL	2886.3824	7132.3952	0.27	3.76		
	Cx	73924.1200	182670.1968	7.00	96.24		
HRUs:							
21	Pasture-->PAST/Cx	9627.2106	23789.3187	0.91	12.53	1	
22	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	44758.0842	110599.4639	4.24	58.27	2	
23	Forest-Mixed-->FRST/Cx	7056.1052	17435.9889	0.67	9.19	3	
24	Forest-Mixed-->FRST/RL	2886.3824	7132.3952	0.27	3.76	4	
25	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Cx	12482.7200	30845.4253	1.18	16.25	5	

SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
8		29454.7488	72784.1570	2.79		
LANDUSE:						
	Pasture-->PAST	4219.1387	10425.7027	0.40	14.32	
	Forest-Evergreen-->FRSE	15190.2574	37535.8855	1.44	51.57	
	Forest-Mixed-->FRST	3008.1735	7433.3470	0.29	10.21	
	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC	3605.7339	8909.9487	0.34	12.24	
	Agricultural Land-Generic-->AGRL	3431.4454	8479.2732	0.33	11.65	
SOIL:						
	LVA	9831.1873	24293.3553	0.93	33.38	
	RL	7800.8817	19276.3688	0.74	26.48	
	CX	11822.6798	29214.4329	1.12	40.14	
HRUS:						
26	Pasture-->PAST/LVA	4219.1387	10425.7027	0.40	14.32	1
27	Forest-Evergreen-->FRSE/CX	7384.6959	18247.9528	0.70	25.07	2
28	Forest-Evergreen-->FRSE/LVA	3619.9039	8944.9635	0.34	12.29	3
29	Forest-Evergreen-->FRSE/RL	4185.6576	10342.9692	0.40	14.21	4
30	Forest-Mixed-->FRST/CX	1761.3490	4352.3814	0.17	5.98	5
31	Forest-Mixed-->FRST/RL	1246.8245	3080.9656	0.12	4.23	6
32	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/CX	2676.6349	6614.0987	0.25	9.09	7
33	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/RL	929.0989	2295.8499	0.09	3.15	8
34	Agricultural Land-Generic-->AGRL/LVA	1992.1447	4922.6892	0.19	6.76	9
35	Agricultural Land-Generic-->AGRL/RL	1439.3007	3556.5840	0.14	4.89	10

SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
9		52049.2512	128616.3022	4.93		
LANDUSE:						
	Pasture-->PAST	11295.1385	27910.8519	1.07	21.70	
	Forest-Evergreen-->FRSE	32957.4055	81439.3968	3.12	63.32	
	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC	7796.7073	19266.0535	0.74	14.98	
SOIL:						
	Lve	2661.4838	6576.6597	0.25	5.11	
	CX	49387.7674	122039.6425	4.68	94.89	
HRUS:						
36	Pasture-->PAST/CX	8633.6546	21334.1922	0.82	16.59	1
37	Pasture-->PAST/Lve	2661.4838	6576.6597	0.25	5.11	2
38	Forest-Evergreen-->FRSE/CX	32957.4055	81439.3968	3.12	63.32	3
39	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/CX	7796.7073	19266.0535	0.74	14.98	4

SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
10		46462.4992	114811.1586	4.40		
LANDUSE:						
	Pasture-->PAST	5623.8410	13896.7923	0.53	12.10	
	Forest-Evergreen-->FRSE	32680.4991	80755.1472	3.10	70.34	
	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC	8158.1591	20159.2192	0.77	17.56	
SOIL:						
	CX	46462.4992	114811.1586	4.40	100.00	
HRUS:						
40	Pasture-->PAST/CX	5623.8410	13896.7923	0.53	12.10	1
41	Forest-Evergreen-->FRSE/CX	32680.4991	80755.1472	3.10	70.34	2
42	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/CX	8158.1591	20159.2192	0.77	17.56	3

SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
11		22817.2496	56382.5646	2.16		
LANDUSE:						
	Forest-Evergreen-->FRSE	22817.2496	56382.5646	2.16	100.00	
SOIL:						
	CX	22817.2496	56382.5646	2.16	100.00	
HRUS:						
43	Forest-Evergreen-->FRSE/CX	22817.2496	56382.5646	2.16	100.00	1

SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area	
12		13590.0000	33581.5695	1.29		
LANDUSE:						
	Pasture-->PAST	2274.4770	5620.3464	0.22	16.74	
	Forest-Evergreen-->FRSE	9337.7169	23073.9654	0.88	68.71	
	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC	1977.8061	4887.2577	0.19	14.55	
SOIL:						
	CX	6382.2212	15770.7877	0.60	46.96	
	Rq	7207.7788	17810.7818	0.68	53.04	
HRUS:						
44	Pasture-->PAST/Rq	1764.6804	4360.6136	0.17	12.99	1
45	Pasture-->PAST/CX	509.7966	1259.7328	0.05	3.75	2
46	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	4096.7291	10123.2224	0.39	30.15	3
47	Forest-Evergreen-->FRSE/CX	5240.9879	12950.7431	0.50	38.57	4
48	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Rq	1346.3693	3326.9459	0.13	9.91	5
49	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/CX	631.4368	1560.3118	0.06	4.65	6

		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #	13	36985.5008	91393.0218	3.50	
LANDUSE:					
	Pasture-->PAST	6677.9721	16501.6029	0.63	18.06
	Forest-Evergreen-->FRSE	24673.5322	60969.5318	2.34	66.71
	Forest-Mixed-->FRST	5633.9965	13921.8871	0.53	15.23
SOIL:					
	Cx	34530.1759	85325.7913	3.27	93.36
	Rq	2455.3249	6067.2305	0.23	6.64
HRUS:					
50	Pasture-->PAST/Rq	2455.3249	6067.2305	0.23	6.64 1
51	Pasture-->PAST/Cx	4222.6472	10434.3724	0.40	11.42 2
52	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	24673.5322	60969.5318	2.34	66.71 3
53	Forest-Mixed-->FRST/Cx	5633.9965	13921.8871	0.53	15.23 4
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #	14	43897.5008	108472.9194	4.16	
LANDUSE:					
	Pasture-->PAST	6560.0486	16210.2080	0.62	14.94
	Forest-Evergreen-->FRSE	37337.4522	92262.7113	3.54	85.06
SOIL:					
	Cx	43897.5008	108472.9194	4.16	100.00
HRUS:					
54	Pasture-->PAST/Cx	6560.0486	16210.2080	0.62	14.94 1
55	Forest-Evergreen-->FRSE/Cx	37337.4522	92262.7113	3.54	85.06 2
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #	15	4914.0000	12142.7397	0.47	
LANDUSE:					
	Forest-Evergreen-->FRSE	4914.0000	12142.7397	0.47	100.00
SOIL:					
	Rq	3626.3371	8960.8603	0.34	73.80
	Ox	1287.6629	3181.8794	0.12	26.20
HRUS:					
56	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	3626.3371	8960.8603	0.34	73.80 1
57	Forest-Evergreen-->FRSE/Ox	1287.6629	3181.8794	0.12	26.20 2

		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #	16	53444.2496	132063.4130	5.06	
LANDUSE:					
	Pasture-->PAST	9574.1821	23658.2826	0.91	17.91
	Agricultural Forest-Evergreen-->FRSE	35827.1359	88530.6441	3.39	67.04
	Land-Close-grown-->AGRC	8042.9316	19874.4862	0.76	15.05
SOIL:					
	Rq	53444.2496	132063.4130	5.06	100.00
HRUS:					
58	Pasture-->PAST/Rq	9574.1821	23658.2826	0.91	17.91 1
59	Agricultural Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	35827.1359	88530.6441	3.39	67.04 2
60	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Rq	8042.9316	19874.4862	0.76	15.05 3
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #	17	30588.7488	75586.3277	2.90	
LANDUSE:					
	Pasture-->PAST	5213.1141	12881.8655	0.49	17.04
	Agricultural Forest-Evergreen-->FRSE	21909.0707	54138.4092	2.08	71.62
	Land-Close-grown-->AGRC	3466.5640	8566.0531	0.33	11.33
SOIL:					
	Rq	30588.7488	75586.3277	2.90	100.00
HRUS:					
61	Pasture-->PAST/Rq	5213.1141	12881.8655	0.49	17.04 1
62	Agricultural Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	21909.0707	54138.4092	2.08	71.62 2
63	Agricultural Land-Close-grown-->AGRC/Rq	3466.5640	8566.0531	0.33	11.33 3
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #	18	131798.2464	325680.0568	12.49	
LANDUSE:					
	Pasture-->PAST	46151.8197	114043.4542	4.37	35.02
	Forest-Evergreen-->FRSE	85646.4267	211636.6026	8.12	64.98
SOIL:					
	Rq	131798.2464	325680.0568	12.49	100.00
HRUS:					
64	Pasture-->PAST/Rq	46151.8197	114043.4542	4.37	35.02 1
65	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	85646.4267	211636.6026	8.12	64.98 2

SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%Wat.Area	%Sub.Area		
19		50762.2496	125436.0569	4.81			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	18987.9042	46920.0607	1.80	37.41		
	Forest-Evergreen-->FRSE	23548.3407	58189.1273	2.23	46.39		
	Forest-Mixed-->FRST	8226.0047	20326.8689	0.78	16.20		
SOIL:							
	Rq	50762.2496	125436.0569	4.81	100.00		
HRUs:							
66	Pasture-->PAST/Rq	18987.9042	46920.0607	1.80	37.41	1	
67	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	23548.3407	58189.1273	2.23	46.39	2	
68	Forest-Mixed-->FRST/Rq	8226.0047	20326.8689	0.78	16.20	3	
-----							
SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%Wat.Area	%Sub.Area		
20		5406.7500	13360.3496	0.51			
LANDUSE:							
	Forest-Evergreen-->FRSE	4212.1326	10408.3902	0.40	77.91		
	Forest-Mixed-->FRST	1194.6174	2951.9594	0.11	22.09		
SOIL:							
	Rq	5406.7500	13360.3496	0.51	100.00		
HRUs:							
69	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	4212.1326	10408.3902	0.40	77.91	1	
70	Forest-Mixed-->FRST/Rq	1194.6174	2951.9594	0.11	22.09	2	
-----							
SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%Wat.Area	%Sub.Area		
21		82777.4976	204547.3354	7.84			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	17404.4283	43007.2125	1.65	21.03		
	Forest-Evergreen-->FRSE	42481.1544	104973.0566	4.03	51.32		
	Forest-Mixed-->FRST	8667.4979	21417.8206	0.82	10.47		
	Agricultural Land-Generic-->AGRL	14224.4171	35149.2458	1.35	17.18		
SOIL:							
	LVA	18747.9762	46327.1866	1.78	22.65		
	RL	1925.5431	4758.1134	0.18	2.33		
	Rq	62103.9783	153462.0355	5.88	75.03		
HRUs:							
71	Pasture-->PAST/Rq	5223.7324	12908.1040	0.49	6.31	1	
72	Pasture-->PAST/LVA	12180.6959	30099.1085	1.15	14.71	2	
73	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	42481.1544	104973.0566	4.03	51.32	3	
74	Forest-Mixed-->FRST/Rq	6741.9547	16659.7072	0.64	8.14	4	
75	Forest-Mixed-->FRST/RL	1925.5431	4758.1134	0.18	2.33	5	
76	Agricultural Land-Generic-->AGRL/Rq	7657.1367	18921.1677	0.73	9.25	6	
77	Agricultural Land-Generic-->AGRL/LVA	6567.2803	16228.0780	0.62	7.93	7	
-----							
SUBBASIN #		Area [ha]	Area [acres]	%Wat.Area	%Sub.Area		
22		48231.0016	119181.2165	4.57			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	9644.7701	23832.7090	0.91	20.00		
	Forest-Evergreen-->FRSE	21592.2707	53355.5804	2.05	44.77		
	Forest-Mixed-->FRST	10400.4280	25699.9776	0.99	21.56		
	Agricultural Land-Generic-->AGRL	6593.5329	16292.9494	0.62	13.67		
SOIL:							
	Lve	3661.2247	9047.0693	0.35	7.59		
	RL	13564.6111	33518.8321	1.29	28.12		
	Rq	31005.1658	76615.3150	2.94	64.28		
HRUs:							
78	Pasture-->PAST/Rq	6671.4693	16485.5343	0.63	13.83	1	
79	Pasture-->PAST/RL	2973.3007	7347.1747	0.28	6.16	2	
80	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	16192.3280	40012.0522	1.53	33.57	3	
81	Forest-Evergreen-->FRSE/RL	5399.9426	13343.5283	0.51	11.20	4	
82	Forest-Mixed-->FRST/Rq	8141.3685	20117.7286	0.77	16.88	5	
83	Forest-Mixed-->FRST/RL	2259.0595	5582.2491	0.21	4.68	6	
84	Agricultural Land-Generic-->AGRL/Lve	3661.2247	9047.0693	0.35	7.59	7	
85	Agricultural Land-Generic-->AGRL/RL	2932.3082	7245.8801	0.28	6.08	8	

		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area		
SUBBASIN #	23	28750.4992	71043.9210	2.72			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	10211.0245	25231.9520	0.97	35.52		
	Forest-Evergreen-->FRSE	9357.0733	23121.7959	0.89	32.55		
	Agricultural Land-Generic-->AGRL	9182.4014	22690.1731	0.87	31.94		
SOIL:							
	LVA	8338.7396	20605.4424	0.79	29.00		
	Rq	17918.3535	44277.1474	1.70	62.32		
	FF	2493.4062	6161.3313	0.24	8.67		
HRUS:							
86	Pasture-->PAST/Rq	6933.0209	17131.8412	0.66	24.11	1	
87	Pasture-->PAST/LVA	3278.0036	8100.1109	0.31	11.40	2	
88	Forest-Evergreen-->FRSE/Rq	6863.6671	16960.4646	0.65	23.87	3	
89	Forest-Evergreen-->FRSE/FF	2493.4062	6161.3313	0.24	8.67	4	
90	Agricultural Land-Generic-->AGRL/Rq	4121.6655	10184.8415	0.39	14.34	5	
91	Agricultural Land-Generic-->AGRL/LVA	5060.7359	12505.3315	0.48	17.60	6	
-----							
		Area [ha]	Area [acres]	%wat.Area	%Sub.Area		
SUBBASIN #	24	47378.2496	117074.0237	4.49			
LANDUSE:							
	Pasture-->PAST	16758.8616	41411.9849	1.59	35.37		
	Forest-Evergreen-->FRSE	15887.6285	39259.1243	1.51	33.53		
	Agricultural Land-Generic-->AGRL	14731.7596	36402.9145	1.40	31.09		
SOIL:							
	LVA	17624.7505	43551.6398	1.67	37.20		
	Lve	25826.8731	63819.4947	2.45	54.51		
	Rq	3926.6260	9702.8892	0.37	8.29		
HRUS:							
92	Pasture-->PAST/Rq	3926.6260	9702.8892	0.37	8.29	1	
93	Pasture-->PAST/Lve	8274.7389	20447.2935	0.78	17.47	2	
94	Pasture-->PAST/LVA	4557.4967	11261.8021	0.43	9.62	3	
95	Forest-Evergreen-->FRSE/Lve	8410.8885	20783.7260	0.80	17.75	4	
96	Forest-Evergreen-->FRSE/LVA	7476.7400	18475.3983	0.71	15.78	5	
97	Agricultural Land-Generic-->AGRL/Lve	9141.2457	22588.4751	0.87	19.29	6	
98	Agricultural Land-Generic-->AGRL/LVA	5590.5139	13814.4393	0.53	11.80	7	