

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**APLICABILIDADE DO MODELO DE SIMULAÇÃO  
HIDROLÓGICA SWAT (SOIL AND WATER  
ASSESSMENT TOOL), PARA A BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ/MT.**

**GISELE CRISTINA BALDISSERA**

**PETER ZEILHOFER**

Cuiabá, setembro/2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO  
AMBIENTE

**APLICABILIDADE DO MODELO DE SIMULAÇÃO  
HIDROLÓGICA SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT  
TOOL), PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
CUIABÁ/MT.**

**GISELE CRISTINA BALDISSERA**

*Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação de Física e Meio Ambiente  
da Universidade Federal de Mato Grosso,  
como parte dos requisitos necessários para  
a obtenção do título de Mestre em Física e  
Meio Ambiente.*

**PETER ZEILHOFER**

Cuiabá, setembro/2005.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Título: APLICABILIDADE DO MODELO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA  
SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL), PARA A BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ/MT.**

**Autora: GISELE CRISTINA BALDISSERA**

Dissertação defendida e aprovada em 19 de setembro de 2005, pela comissão julgadora:

---

Orientador: Dr. Peter Zeilhofer - UFMT

---

Examinador Interno: Dr. Shozo Shiraiwa – UFMT

---

Examinador Externo: Dr. Antônio Ferreira D' Hora - UFF

## **DEDICATÓRIA**

“Ao meu Pai, que sempre me incentivou na área acadêmica, e me ensinou desde muito cedo que tudo pode nos ser tirado, menos o nosso conhecimento”.

## AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais Rubens e Azélia, por todo o incentivo, amor, carinho e compreensão. Por serem sempre meu porto seguro, mas também o mastro que me faz manter a velas sempre abertas, rumo a novas conquistas.
- Ao meu irmão Junior, que sem o seu apoio e compreensão não seria possível a minha estada em Cuiabá e a realização deste estudo.
- Ao Prof. Dr. Peter Zeilhofer por sua paciência extraordinária, compreensão, confiança e apoio, e por aceitar ser meu orientador mesmo quando já estava sobrecarregado de atividades.
- Ao Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior, pelo fornecimento dos dados da Estação Meteorológica da UFMT em Santo Antônio do Leverger.
- A Dra. Nancy Sammons, e a toda a equipe SWAT pela grande ajuda na resolução de problemas durante o uso do programa Basins/SWAT.
- Aos colegas e aos professores do mestrado, que fizeram parte do meu aprendizado e da minha vida.
- Aos amigos que conquistei durante a estadia em Cuiabá para a realização do curso, em especial aos colegas Suli Sanches, a Márcia Gallon, ao Roberto Juliano, ao Jonas Spolador que muito me ajudaram no desenvolvimento dos trabalhos e seminários requisitados durante o curso. A Vilidiana Moura e a Suzy Klemp colegas da sala de estudo que nos últimos meses se tornaram pessoas muito presentes e acompanharam a minha ‘batalha final’.
- Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, que me acolheu e deram condições para o desenvolvimento desse trabalho.
- A todas as pessoas que mencionei e àquelas que não mencionei, que contribuíram direta ou indiretamente no desenvolvimento desse estudo, meus mais sinceros agradecimentos!

“Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar a arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver”.

*Amyr Klink, em seu livro "Mar Sem Fim",  
página 77...*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>iv</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>5</b>
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	6
2.2 Bacias Hidrográficas.....	11
2.3 alterações na quantidade das águas.....	13
2.4 geoprocessamento e sig.....	15
2.5 modelos hidrológicos.....	8
2.6 o modelo swat.....	20
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>24</b>
3.1 bacia hidrográfica.....	24
3.2 Características da fauna aquática.....	27
3.3 característica da vegetação.....	28
3.3.1 Savanas.....	28
3.3.2 Florestas estacionais.....	29
3.3.3 Áreas de formações pioneiras (vegetação aluvial).....	29
3.4 clima.....	30
3.5 solos.....	31
3.5.1 Areias Quartzosas – (AQ):.....	31
3.5.2 Cambissolo (C):.....	31
3.5.3 Glei Pouco Húmico – (HGP):.....	32
3.5.4 Latossolo Vermelho-Escuro – (LE):.....	32
3.5.5 Latossolo Vermelho-Amarelo – (LV):.....	33
3.5.6 Planossolo – (PL):.....	33
3.5.7 Plintossolo – (PT):.....	34
3.5.8 Podzólico Vermelho-Amarelo – (PV):.....	35
3.5.9 Solos Aluviais – (AE):.....	36
3.5.10 Solos Litólicos – (R):.....	36
3.5.11 Solos Concrecionários – (SC):.....	36
3.5.12 Solo Orgânico – (HO):.....	37
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
4.1 generalidades do modelo hidrológico.....	38
4.2 sistemas computacionais.....	38
4.3 Processo de funcionamento do modelo swat.....	39
4.3.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT).....	40
4.3.2 Hidrografia da Bacia do Rio Cuiabá.....	41
4.3.3 Sub-divisão da bacia hidrográfica.....	41
4.3.4 Mapa de uso e ocupação do solo.....	42
4.3.5 Mapa pedológico.....	42

4.3.6	Unidades de resposta hidrológica (HRU's) .....	43
4.3.7	Definição dos parâmetros característicos da área de estudo .....	43
4.3.7.1	<i>Parâmetros Climáticos</i> .....	44
4.3.7.1.1	<i>Parâmetros para o gerador climático</i> .....	45
4.3.7.1.1.1	<i>Temperatura no ponto de orvalho</i> .....	46
4.3.7.1.1.2	<i>Radiação solar</i> .....	46
4.3.7.1.1.3	<i>Estimativas de precipitação</i> .....	47
4.3.7.2	<i>Parâmetros diários para a simulação no modelo SWAT</i> .....	51
4.3.7.3	<i>Parâmetros de solo</i> .....	52
4.3.7.3.1	<i>Grupos Hidrológicos</i> .....	53
4.3.7.3.2	<i>Curva de Número</i> .....	53
4.3.7.3.3	<i>Características granulométricas e texturais do solo</i> .....	55
4.3.7.3.4	<i>Capacidade de água no solo e condutividade hidráulica</i> .....	57
4.3.7.3.5	<i>Erodibilidade do solo</i> .....	59
4.3.7.3.6	<i>Parâmetros condizentes a vegetação, albedo e conteúdo orgânico</i> .....	60
4.3.8	Calibração e validação do modelo .....	61
4.3.9	Simulação de cenários .....	64
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
5.1	Dados de Entrada .....	65
5.1.1	Modelo Numérico de Terreno (MNT) .....	65
5.1.2	Sub-divisões da Bacia do Rio Cuiabá .....	67
5.1.3	Solos da Bacia do Rio Cuiabá .....	69
5.1.4	Uso e ocupação do solo .....	75
5.1.5	Características climáticas .....	77
5.1.4.1	<i>Dados pluviométricos</i> .....	77
5.1.4.2	<i>Dados climáticos</i> .....	79
5.2	Calibração e validação .....	81
5.2.1	Ajustes .....	81
5.2.1.1	<i>Cenário i</i> .....	95
5.2.1.1.1	<i>Uso e ocupação do solo</i> .....	98
5.2.1.1.2	<i>Validação do cenário i</i> .....	100
5.2.1.2	<i>Cenário ii</i> .....	105
5.2.1.2.1	<i>Uso e ocupação do solo</i> .....	106
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>108</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>112</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>123</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Ciclo hidrológico (Fonte: Instituto Geológico e Mineiro, 2001).....	7
Figura 02 – Zona saturada e não saturada do sub-solo (Fonte: Instituto Geológico e Mineiro, 2001). .....	8
Figura 3 – Tipos de aquíferos segundo a pressão da água (.Fonte: Instituto Geológico e Mineiro (2001). .....	10
Figura 4 – Bacias hidrográficas do Estado do Mato Grosso( Fonte: Libos, 2002). ...	25
Figura 5 – Municípios pertencentes a bacia hidrográfica do rio Cuiabá (Fonte: SIBAC, 2000).....	26
Figura 6 – Sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Cuiabá (Fonte: SIBAC, 2000)...	27
Figura 7- Processo de funcionamento do SWAT (Fonte: Machado, 2002). .....	40
Figura 8- Mapa de isozonas de Taborga (Torricono, 1975).....	50
Figura 9- Janela de entrada dos dados climáticos. ....	51
Figura 10- Janela onde os dados climáticos diários são inseridos. ....	52
Figura 11- Relação entre o runoff e a precipitação no método SCS de Curva de Número (Fonte: manual SWAT, 2000).....	54
Figura 12- Triângulo de classificação textural do solo (Fonte:USDA, 1986). .....	56
Figura 13- Janela onde são inseridos os dados de solo requeridos pelo modelo, para cada classe de solo e em cada horizonte. ....	61
Figura 14- Modelo numérico de terreno (MNT) com as cotas altimétricas em metros, hidrografia principal da bacia do Rio Cuiabá e a demarcação dos limites da APM do Manso (Fonte: Libos, 2002). .....	66
Figura 15- Sub-divisões da Bacia do Rio Cuiabá, com os pontos de confluência gerados pelo modelo, e os pontos adicionados indicando o local de coleta de dados fluviométricos do projeto SIBAC. ....	68
Figura 16 – Mapa pedológico da Bacia do Rio Cuiabá. ....	70

Figura 17 – Mapa pedológico da Bacia do Rio Cuiabá, após reclassificação das classes de solo. ....	72
Figura 18- Localização das estações pluviométricas e climáticas nas sub-bacias do rio Cuiabá. ....	76
Figura 19 – Mapa de uso e ocupação do solo, com as classes redefinidas para a Bacia do Rio Cuiabá. ....	78
Figura 20- Dados plotados de vazão observada da estação RC 3-2, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes e os ajustados. ....	84
Figura 21- Dados plotados de vazão observada da estação RC 8, e vazão simulada sub-bacia 24 com os valores sem ajustes e os ajustados. ....	85
Figura 22- Dados plotados de vazão observada da estação RC 2-1, e vazão simulada sub-bacia 3 com os valores sem ajustes e os ajustados. ....	85
Figura 23- Dados plotados de vazão observada da estação Rm 5, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes e os ajustados. ....	86
Figura 24- Dados plotados de vazão observada da estação RC 4, e vazão simulada sub-bacia 19 com os valores sem ajuste e os ajustados. ....	86
Figura 25- Vazão mensal observada da estação RC 3-2, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 12 com os valores de precipitação para a bacia analisada. ....	92
Figura 26- Vazão mensal observada da estação RC 8, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 24 com os valores de precipitação para a bacia analisada. ....	92
Figura 27- Vazão mensal observada da estação RC 2-1, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 3 com os valores precipitação da bacia analisada. ....	93
Figura 28- Vazão mensal observada da estação Rm 5, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 12 com os valores de precipitação da bacia analisada. ....	93
Figura 29- Vazão mensal observada da estação RC 4, e vazão simulada ajustadas da sub-bacia 19 com os valores de precipitação da bacia analisada. ....	94

Figura 30- Localização do ponto que indica a existência do reservatório, máscara de representação da área ocupada pela represa do manso, hidrografia principal e as sub-divisões da Bacia do Rio Cuiabá. ....	96
Figura 31 – Componentes do reservatório, com controle de enchente, com as feições das cotas principal e emergencial ( Fonte: SWAT, 2000) .....	97
Figura 32 – Mapa de uso e ocupação do solo.( Fonte: Libos,2002). ....	99
Figura 33 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 3-2), vazão simulada, e precipitação. ....	100
Figura 34 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 8), vazão simulada, e precipitação. ....	101
Figura 35 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 2-1), vazão simulada, e precipitação. ....	101
Figura 36 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rm 5), vazão simulada, e precipitação. ....	102
Figura 37 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 4), vazão simulada, e precipitação. ....	102
Figura 38- Uso e ocupação do solo fictício, desconsiderando a ação antrópica. ....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Localização dos postos fluviométricos em coordenadas UTM (fuso 21, hemisfério Sul). .....	41
Tabela 2- Estações de dados climáticos.....	44
Tabela 3- Estações pluviométricas, códigos oficiais das estações, coordenadas UTM (Fuso 21) e elevação (m). .....	44
Tabela 4- Valores de <i>K</i> em função do intervalo de recorrência utilizado e o coeficiente de assimetria (Skew)(Fonte: Chow, 1964).....	48
Tabela 5- Classificação granulométricas do solo.....	55
Tabela 6- Classificação textural e densidade aparente do solo (Fonte: Taylor et al, 1966). .....	56
Tabela 7- Classificação textural e capacidade de água no solo (Fonte: Salter & Williams, 1967 / 1969).....	58
Tabela 8- Classificação textural e condutividade hidráulica (Fonte: Dent & Young, 1981). .....	59
Tabela 9- Sub-bacias geradas pelo SWAT, com área em hectares e elevação média. ....	67
Tabela 10- Classes de solo originais e a área (%) ocupada na bacia. ....	69
Tabela 11- Classes de solo redefinidas e a área (%) ocupada na bacia. ....	71
Tabela 12- Características físicas das classes de solo após reclassificação. ....	74
Tabela 13- Área de uso e ocupação na bacia em porcentagem, hectares e km <sup>2</sup> , após re-codificação da classificação da represa e áreas de sombra da Bacia do Rio Cuiabá. ....	75
Tabela 14 – Atribuição das estações pluviométricas às 34 sub-bacias. ....	77
Tabela 15 – Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação climática de Santo Antônio do Leverger.....	80
Tabela 16 – Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação climática do INMET em Cuiabá.....	80
Tabela 17 – Parâmetros ajustados do modelo SWAT. ....	81

Tabela 18 – Postos pluviométricos do projeto SIBAC e saídas das sub-bacias conforme parametrização no SWAT. ....	82
Tabela 19- Vazão mensal em m <sup>3</sup> /s, dos postos fluviométricos monitorados. ....	83
Tabela 21 – Valores de COE para a vazão simulada antes e depois do ajuste. ....	87
Tabela 22 – Valores de Dv (%) para a vazão simulada antes e depois do ajuste. ...	87
Tabela 23 – Valores de R <sup>2</sup> para a vazão simulada antes e depois do ajuste. ....	88
Tabela 24 – Valores de COE para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca. ....	89
Tabela 25 – Valores de Dv (%) para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca. ....	90
Tabela 26 – Valores de R <sup>2</sup> para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca. ....	90
Tabela 27 – Valores da média para todo o período, para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca. ....	90
Tabela 28 – Resultado do Teste t – Student em comparação com as vazões médias da fase de validação inicial e com o cenário <i>i</i> . ....	94
Tabela 29- Vazão média mensal, e máximas e mínimas mensais (m <sup>3</sup> /s), medida na saída do reservatório da represa do Manso, posto fluviométrico Rm 5 (Fonte: SIBAC, 2000). ....	96
Tabela 30- Dados do reservatório do Manso, exigidos pelo modelo SWAT, para a simulação da vazão de saída da represa. ....	97
Tabela 31- Área da bacia em porcentagem, hectares e Km <sup>2</sup> , na classificação original da Bacia do Rio Cuiabá. ....	98
Tabela 32- Resultados estatísticos do COE, Dv (%) e R <sup>2</sup> , para cada bacia comparada aos dados mensais observados dos postos fluviométricos e simulados. ....	102
Tabela 33- Vazões médias para todo o período simulado (m <sup>3</sup> /s), entre janeiro/2000 a dezembro/2002, das vazões observadas (medidas) e as simuladas, em cada posto fluviométrico utilizado neste estudo. ....	103

Tabela 34- Resultado do Teste $t'$ – Student, utilizado para comparar as médias observadas e simuladas. ....	103
Tabela 35 – Área em hectares e em % da Bacia do Rio Cuiabá, considerando um uso e ocupação do solo fictício. ....	105
Tabela 36 – Valores da vazão média simulada ajustada do cenário i e o cenário em questão. ....	105
Tabela 37 – Resultado do Teste $t$ – Student em comparação com as vazões médias do cenário i e o cenário ii. ....	106
Tabela 38 – Valores da vazão média simulada ajustada da calibração inicial e do cenário em questão.....	106

## RESUMO

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

Os modelos hidrológicos vêm sendo desenvolvidos para prever o impacto da agricultura e do uso e ocupação do solo na qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são empregados na criação do banco de dados, e nos processos de aquisição para a entrada nesses modelos. Neste contexto, de avaliar a aplicabilidade do modelo SWAT para simulação de vazões líquidas mensais nas condições da Baacia do Rio Cuiabá (Mato Grosso, Central Brasil), utilizou-se o sistema de manejo de bacias hidrográficas, com a integração que une a flexibilidade do SIG aplicados a modelos hidrológicos. Posteriormente as operações SIG de sub-divisão de bacia hidrográfica, recebem atributos extraídos de planos de informações de solos e uso da terra, e dados climatológicos e de precipitação. As médias mensais simuladas da vazão líquida foram comparadas com dados observados em cinco postos fluviométricos com séries entre 05/1994 a 01/1998. Os gráficos plotados comparam visualmente e quantificam a validação baseados no Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe – COE, o desvio de regressão e no Teste de  $t$  – Student na comparação das médias. Posteriormente o modelo foi calibrado para dois cenários. Um para o escoamento durante a fase de enchimento da represa da APM Manso e um outro para uma cobertura da bacia com sua vegetação potencialmente natural. Os resultados obtidos são ambíguos. Após a calibração, observada para as séries de (05/1994 a 01/1998) foram simulados satisfatoriamente, sem diferenças significativas entre as médias observadas e as simuladas. A performance para as quatro estações do Rio Cuiabá foram semelhantes, a não ser pela estação Rm 5 no Rio Manso, por ser o único ponto em que a área de contribuição é formada pela região das Terras Altas do Brasil Central (planalto). O modelo SWAT demonstrou aplicabilidade satisfatória para as condições da região. As dificuldades encontradas no ajuste do fluxo de base indicam, que a limitada base de dados pedológico e distribuição espacial dos solos prejudicaram a performance das simulações de vazão.

**Palavras-chave:** Simulação de vazão, cenários, Sistemas de Informação Geográfica.

## ABSTRACT

BALDISSERA, G.C. *Applicability of the hydrological model SWAT (Soil and Water Assessment Tool), in the Cuiabá River watershed (Mato Grosso, Brazil)*. Cuiabá, 2005. 144p. MSc. Thesis – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso.

Hydrological models are being developed in order to predict impacts of agricultural activity and land use transformations on quantity and quality of surface and sub-surface water. Geographical Information Systems can be applied to store and process spatial data sets used as inputs in these models. In this context, to evaluate the applicability of the SWAT model for monthly runoff simulations under the conditions of the Cuiabá watershed (Mato Grosso, Central Brazil), the BASINS (EPA) watershed management tool has been utilized, which integrates flexibility of a GIS application with hydrologic modeling tools. A SWAT model run is based on a DEM based watershed divisions. Through standard GIS operations each hydrographic unit then receives attributes of dominant land use, soils as well as time series of climatic and precipitation data. Simulated runoff values were compared with an observed time series from five stations of the years 05/1994 through 01/1998. Plotted hydrographs have been compared visually and quantitative validations have been done by the Efficiency Coefficient of Nash-Sutcliffe, Mean Deviations, regression methods and the *t*- Student test for the comparison. After model calibrations two scenarios have been simulated. One for runoff during the implantation phase of the Manso hydropower plant and another for the watershed covered with its potential natural vegetation. Obtained results have been ambiguous. After calibration, the observed time series (1994-1999) could be simulated in a satisfactorily, with no significant differences between the means of observed and simulated runoffs. Performance has been better at the four Cuiabá river stations, than at the Rm 5 station of the Manso river, the unique sampling point whose contribution area is mainly formed by the Central Brazilian Highland (Planalto). The SWAT model has shown satisfactory applicability under the regional conditions. Difficulties in the adjustment baseflow indicate, nevertheless, that available information on soil profiles and spatial distribution has prejudiced performance of runoff simulations.

**Key-words:** Runoff simulation, GIS.

# **1 INTRODUÇÃO**

No passado, a ocupação do homem na terra era realizada com pouco planejamento, tendo como objetivo o mínimo custo e o máximo benefício de seus usuários, sem maior preocupação com o meio ambiente. Com o crescimento demográfico, especialmente das áreas urbanas, e da intensificação das atividades humanas, tais como a industrialização, a agropecuária, a extração de minérios, a construção de obras hidráulicas e outras ações degradadoras, os recursos naturais têm se deteriorado. Cada um destes usos em conjunto ou separadamente, através das pressões impostas no sistema solo-vegetação-água resulta em impactos na bacia hidrográfica, nomeadamente no ciclo hidrológico (Tucci, 1987).

Segundo a AGENDA 21 (1992) no seu Capítulo 18 “o grau em que o desenvolvimento dos recursos hídricos contribui para a produtividade econômica e o bem estar social nem sempre é apreciado, embora todas as atividades econômicas e sociais dependam muito do suprimento e da qualidade da água. Na medida em que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água ou se defrontando com limites para o desenvolvimento econômico. As demandas por água estão aumentando rapidamente, com 70-80 % exigidos para a irrigação, menos de 20 % para a indústria e apenas 6 por cento para consumo doméstico.”

O continente da América Latina conta com abundantes recursos hídricos, porém existem consideráveis diferenças entre as distintas regiões nas quais os problemas de água se devem, sobretudo, ao baixo rendimento de utilização,

gerenciamento, contaminação e degradação ambiental. A Argentina, o Peru e o Chile já enfrentam sérios problemas de disponibilidade e contaminação da água por efluentes agroindustriais que são descarregados em canais de irrigação.

O Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% da água de superfície (Maia. Neto & Chaves, 1997). Apesar da situação aparentemente favorável observa-se, no Brasil, uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos. Quando se comparam essas situações com a abundância de água da Bacia Amazônica, que corresponde às regiões Norte e Centro-Oeste, contrapondo-se a problemas de escassez no Nordeste e conflitos de uso nas regiões Sul e Sudeste, a situação se agrava.

A região Centro-Oeste encontra-se em franco desenvolvimento, tanto na zona rural como na zona urbana, nos setores da agricultura, da pecuária, da indústria, mineração, turismo, exigindo uma atenção especial em relação ao uso do solo e quanto ao planejamento e gestão dos recursos hídricos. Atualmente no setor agrícola, constata-se principalmente, o crescimento dos cultivos de soja e algodão, além de milho, feijão e outras culturas, onde se sabe que o uso de pesticidas (herbicidas, inseticidas e fungicidas) ainda é uma das principais tecnologias para combater invasoras de culturas e pastagens, controlar insetos e doenças de plantas e animais para garantir a produtividade do agronegócio.

Igualmente importante do ponto de vista quantitativo é o grau de urbanização que interfere na drenagem e aumenta o escoamento superficial, diminuindo a capacidade de reserva de água na superfície e nos aquíferos. Os impactos qualitativos são inúmeros e variáveis e têm conseqüências ecológicas, econômicas e sociais e na saúde humana.

Dentro desse mesmo cenário, uma das importantes contribuintes para a região do Pantanal, a bacia do Rio Cuiabá, localizada na porção central da bacia do Alto Paraguai, denominada Baixada Cuiabana, sofreu, nas décadas de 70 e 80, um crescimento bastante acelerado (Lima, 2001).

Na Bacia do Rio Cuiabá cerca de 88,47% de sua área total ainda é composta de vegetação natural e apenas 11,53% encontra-se antropizada. Desse último percentual, 87,98% é ocupada com pastagem plantada e pecuária extensiva, 9,33% é destinada às plantações de soja e milho que se desenvolvem, predominantemente, nas

áreas de cabeceira do Rio Cuiabá, plantadas com subdominância de policultura: 0,27% representa o cultivo da cana-de-açúcar, 0,01% é área de reflorestamento e silvicultura, 0,68% é ocupada pelo garimpo de ouro ou diamante e 1,73% constitui a área urbanizada (PCBAP, 1997).

Os modelos hidrológicos e de qualidade da água vêm sendo desenvolvidos para prever o impacto da agricultura e do uso e ocupação do solo na qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são empregados na criação do banco de dados para esses modelos, pois são destinados à aquisição e ao tratamento de dados georreferenciados (referenciados espacialmente).

A modelagem hidrológica e SIG's têm evoluído para o ponto em que as vantagens de cada sistema podem ser totalmente integradas dentro de uma poderosa ferramenta para análise em bacias hidrográficas (Machado, 2002).

A flexibilidade do SIG integrado ao modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool – SWAT oferece novas perspectivas para o estabelecimento e implementação de políticas ambientais com o objetivo de reduzir o impacto de atividades antrópicas sobre bacias hidrográficas (Oliveira, 1999).

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um modelo matemático de parâmetro distribuído (quando as variáveis e parâmetros do modelo dependem do espaço e/ou do tempo) que permite um número de diferentes processos físicos serem simulados em bacias hidrográficas com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água.

O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, solos e uso da terra e, desse modo, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia inteira e características homogêneas dentro da bacia.

Com o objetivo de testar a aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT na bacia do Rio Cuiabá, comparou-se a vazão observada em duas séries temporais de 05/1994 a 01/1998 e de 01/2000 a 12/2002 e a simulada pelo modelo sob diferentes cenários definidos em função da implantação da Barragem do Manso e do uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Cuiabá.

Uma revisão bibliográfica é apresentada no Capítulo 2 uma descrição do ciclo hidrológico, conceitos sobre bacia hidrográfica e alterações provenientes de causas naturais e antrópicas, relata ainda a importância do uso de geoprocessamento e do sistema de informações geográficas (SIG's) como ferramenta no uso de modelos hidrológicos, e uma descrição geral do modelo SWAT, selecionado como ferramenta para os estudos a serem realizados.

O Capítulo 3 traz a caracterização da área de estudo, descreve os aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, e a caracterização climatológica e sumária dos solos encontrados na bacia.

No Capítulo 4, apresenta-se a metodologia utilizada para a obtenção dos parâmetros climatológicos e físicos do solo, e dos planos de informação ou PI's, traz informações sobre os pontos de amostragem existentes ao longo do Rio Cuiabá, as metodologias de análises estatísticas e tratamento dos dados espaciais e não-espaciais. Essas informações permitem a aplicação do modelo hidrológico SWAT utilizado para avaliar e prognosticar a vazão de água na Bacia do Rio Cuiabá.

No Capítulo 5, são vistos os resultados e discussão do modelo SWAT utilizado para avaliar e prognosticar a vazão de água na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, anterior e posterior a construção da barragem do Manso, e na variação do uso e ocupação do solo quanto à porcentagem de vegetação nativa.

O Capítulo 6 é dedicado às conclusões da pesquisa realizada.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A característica essencial de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas são a sua instabilidade e mobilidade. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos (as três fases em que a água existe no planeta Terra) são partes do ciclo dinâmico da água. A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização. Os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem. Com o aumento e diversificação da atividade econômica, a dependência dos recursos hídricos aumenta, especialmente em regiões com variabilidade anual grande no ciclo e em regiões áridas.

A atmosfera ora tem demanda de água, ora tem excesso de água, fazendo assim, sua reciclagem, em condições de demanda, caracterizadas por ar relativamente seco, radiação solar disponível e vento, o ar pode absorver e transportar enormes quantidades de água, nessas condições ocorre a evaporação de água de oceanos, lagos, rios, solo e outras superfícies molhadas. O vento atua no transporte de massas de ar, arrastando o ar úmido para outras regiões e repondo-o com ar seco, capaz de absorver mais água. Em condições de excesso, o ar encontra-se saturado de vapor, o

processo de evaporação praticamente cessa e pode haver retorno de água da atmosfera para as superfícies da crosta terrestre, nas formas de chuva, granizo, neve ou orvalho (Reichardt, 1990).

## **2.1 CICLO HIDROLÓGICO**

O ciclo hidrológico segundo o Instituto Geológico e Mineiro (2001) se dá em vários sub-ciclos, em que parte ocorre através do escoamento superficial e parte referente aos processos que envolvem o ciclo da água subterrânea.

A água dos oceanos, rios e lagos, que se encontra em contacto direto com a atmosfera, através da energia solar, passa para a atmosfera sob a forma de vapor de água. Inicia-se assim o ciclo hidrológico, como mostra a Figura 01. Este processo baseia-se na circulação e passagem da água por vários estados. O ciclo hidrológico pode ser descrito pelas seguintes etapas:

- a) Através da energia solar as águas dos oceanos, rios, lagos, etc. evaporam-se, passando para a atmosfera sob a forma de vapor de água. O vapor de água 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 elas liberam vapor de água para a atmosfera. A água volta à superfície terrestre sob a forma de chuva, neve ou orvalho.
- b) Parte desta água penetra nos solos, umedecendo e infiltrando-se na terra. Uma outra parte escorre sobre a superfície, indo para os rios, lagos ou diretamente para o mar, onde irá reiniciar o processo.
- c) Parte da água que se infiltrou e que não foi sujeita à evapotranspiração, vai deslizando para baixo da zona das raízes das plantas indo para o reservatório das águas subterrâneas. Parte desta água pode ficar aqui armazenada ou pode deslocar-se, possibilitando o escoamento subterrâneo.
- d) Tanto o escoamento subterrâneo como os escoamentos superficiais vão alimentar os rios, lagos e oceanos, dando origem ao recomeço do ciclo.

Esta descrição do ciclo hidrológico fornece uma imagem simplificada, uma vez que dentro deste ciclo existem vários sub-ciclos.

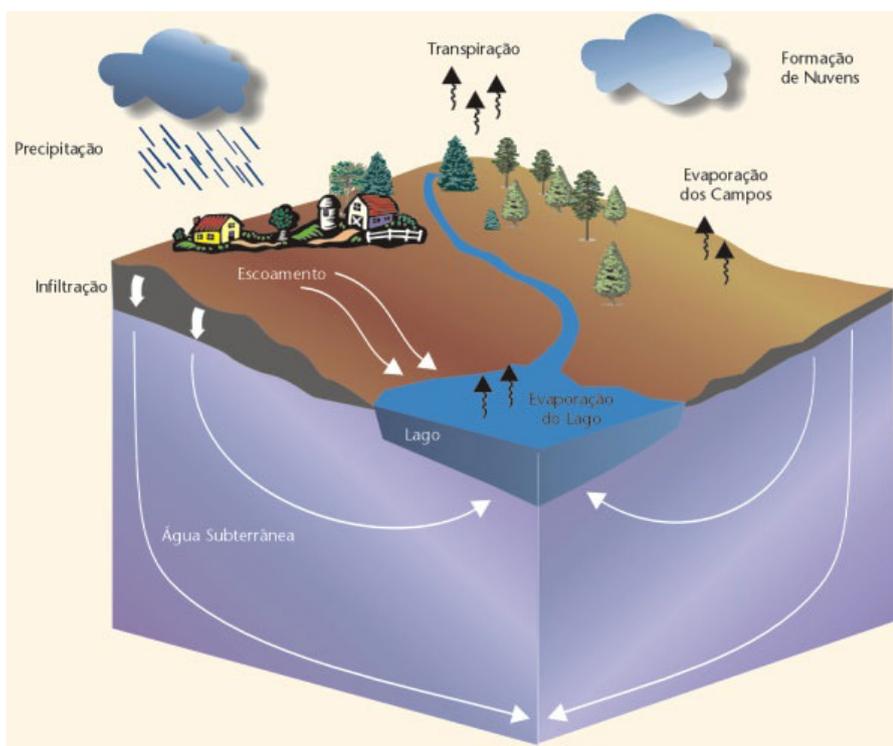


Figura 01 – Ciclo hidrológico (Fonte: Instituto Geológico e Mineiro, 2001)

Como foi referido, o ciclo hidrológico divide-se em vários sub-ciclos, a parte referente à água subterrânea é um desses sub-ciclos, que terá o seu início com a chegada da água à superfície terrestre, seguindo-se a sua infiltração e terminando com o retorno destas águas à superfície.

Desde que a água chega à superfície terrestre e se infiltra, atravessa várias zonas com diferentes características e comportamentos, conforme a Figura 02, assim da superfície para o interior da Terra temos:

- Zona de evapotranspiração (ZET): nesta zona, alguma água pode ser sujeita a evapotranspiração direta para a atmosfera, outra pode ser usada no metabolismo das plantas (fotossíntese) e outra pode continuar a descer. A espessura desta zona é de aproximadamente 2 metros, podendo variar com a capacidade das plantas desenvolverem as suas raízes.

- Zona intermédia (ZI): Chega até esta zona a água que não é utilizada na evapotranspiração. Sempre que a quantidade de água infiltrada seja inferior à

quantidade de água necessária para a evapotranspiração, não passará água para a zona intermédia. Por outro lado, sempre que a quantidade de água seja superior à quantidade de água necessária para a evapotranspiração, este excesso passará para a zona intermédia, deixando de estar disponível para a evapotranspiração. A espessura desta zona depende de vários fatores, sendo por isso muito variável.

- Franja capilar (FC): corresponde a uma faixa estreita, na qual a água pode ter movimento descendente, por ação da força de gravidade, e movimento ascendente, por ação das forças de capilaridade entre partículas adjacentes. Trata-se de uma zona em que a água está em movimento constante.

- Zona saturada (ZS): Toda a água que passa pela franja capilar vai descendo lentamente, até que chega à zona de saturação, juntando-se à água aí existente, aumentando a quantidade de água armazenada, ou passando a deslocar-se integrada no deslocamento de água subterrâneo desta zona.

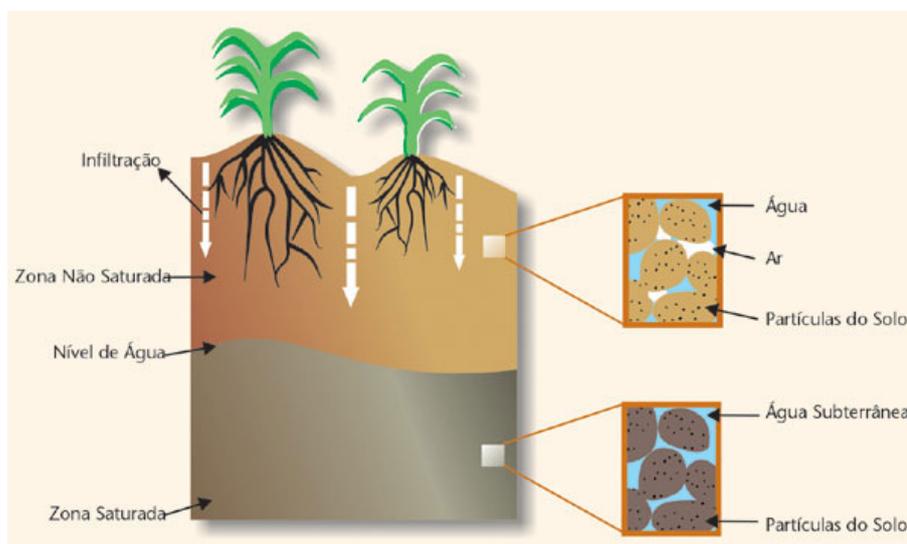


Figura 02 – Zona saturada e não saturada do sub-solo (Fonte: Instituto Geológico e Mineiro, 2001).

Na zona saturada não existem espaços preenchidos por ar, daí a sua designação de saturada. Nas zonas mais superficiais (ZET, ZI e FC), além da matéria sólida e da água, também existem pequenos espaços preenchidos por ar. Por isso, ao conjunto destas três zonas também se chama zona de aeração.

A quantidade de água existente nestas diferentes zonas é máxima na zona saturada (todos os espaços estão preenchidos por água), mínima nas zonas evapotranspiração e intermédia na franja capilar, a quantidade de água varia entre um mínimo, no contacto com a zona intermédia, e um máximo, no contacto com a zona saturada.

O limite entre a franja capilar e a zona saturada não é um limite estático, verificando-se a sua variação mais significativa em função das condições meteorológicas locais e da quantidade de água que se consegue infiltrar.

Este limite que separa a franja capilar (e toda a zona de aeração) da zona saturada chama-se nível freático e corresponde à superfície livre da zona da água saturada que faz contato com a zona de aeração não saturada.

Reservatórios de água subterrânea: os solos e as formações rochosas, que normalmente se encontram por baixo, possuem características que lhes permitem armazenar maiores ou menores quantidades de água.

Assim, designa-se por aquífero a formação geológica que consegue armazenar água e permite a sua circulação de tal modo que ela possa ser extraída de forma rentável, na Figura 03 observar-se os dois principais tipos de aquíferos existentes (segundo a pressão da água):

- Aquífero livre: Formação geológica permeável e parcialmente saturada de água. É limitado na base por uma camada impermeável. O nível da água no aquífero está à pressão atmosférica.

- Aquífero Confinado: Formação geológica permeável e completamente saturada de água. É limitado no topo (teto) e na base (muro) por camadas impermeáveis. A pressão da água no aquífero é superior à pressão atmosférica.

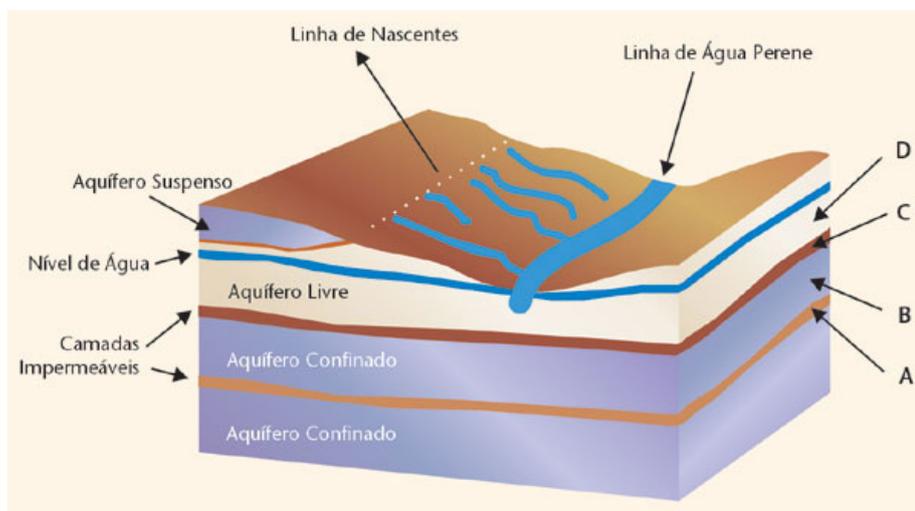


Figura 3 – Tipos de aquíferos segundo a pressão da água (.Fonte: Instituto Geológico e Mineiro (2001).

Se as formações geológicas não são aquíferas então podem ser definidas como:

- Aquitardo: Formação geológica que pode armazenar água, mas que transmite lentamente não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de poços ou furos.
- Aquicluso: Formação geológica que pode armazenar água, mas não transmite (a água não circula).
- Aquífugo: Formação geológica impermeável que não armazena nem transmite água.

Estas duas propriedades das formações geológicas (capacidade de armazenar água e a facilidade com que a cedem) são consequência direta de algumas características das rochas, das quais se destacam a porosidade e a permeabilidade.

A porosidade nas rochas resulta da existência de espaços não preenchidos por matéria sólida. É normal chamar vazios a estes espaços, embora eles estejam preenchidos por água e substâncias gasosas. Dependendo da forma e dimensão destes vazios, podemos dividir as rochas, quanto à porosidade, em dois grupos rochas porosas e rochas fissuradas.

As rochas porosas apresentam como vazios os espaços intergranulares, mais ou menos equidimensionais e designados por poros.

Dentro deste grupo é possível fazer ainda uma sub-divisão em grãos com dimensões muito semelhantes e grãos com dimensões muito variadas.

As rochas com grãos de dimensões muito semelhantes têm uma porosidade elevada, e as de grãos com dimensões muito variadas possuem uma porosidade moderada.

Relativamente às rochas fissuradas, os vazios possuem uma forma muito achatada, de tal modo que existem duas dimensões maiores que a terceira. Nesta situação, os vazios designam-se por fissuras e por fraturas, dependendo do seu grau de desenvolvimento. Tal como nas rochas porosas, também aqui podemos estabelecer uma subdivisão em vazios abertos por dissolução da matéria sólida, e vazios existentes ao longo de fraturas ou diáclases.

Nas rochas em que os vazios aparecem por dissolução da matéria sólida, a porosidade é baixa e, no segundo caso, em que os vazios aparecem ao longo das fraturas ou das diáclases, normalmente, a porosidade é muito baixa.

Pode-se concluir que as rochas porosas conseguem armazenar muito mais água que as rochas fissuradas. São exemplos de rochas porosas, os arenitos e os argilitos; de rochas fissuradas, os granitos e os gnaisses.

A permeabilidade está ligada à facilidade com que as rochas cedem ou não a água que possuem. Podemos definir permeabilidade como a maior ou menor facilidade com que uma rocha se deixa atravessar pela água, ou seja, a maior ou menor resistência que uma rocha oferece à passagem da água.

## **2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Uma bacia hidrográfica é um sistema que integra as conformações de relevo e drenagem. A parcela da chuva que se abate sobre a área da bacia e que irá transformar-se em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva, escoia a partir das maiores elevações do terreno, formando enxurradas em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos, riachos e ribeirões, os

quais confluem e formam o rio principal da bacia. Assim, a bacia hidrográfica pode ser definida como uma área topográfica, drenada por um curso da água ou um sistema conectado de cursos da água de forma que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída. Para a ciência ambiental, a bacia hidrográfica contém o conceito de integração. Seu uso e aplicação para estudos de problemas ambientais são fundamentais, pois também contém informações físicas, biológicas e sócio-econômicas, sendo que nenhuma pode ser desconsiderada.

Assim o processo de ocupação humana nas bacias hidrográficas trás em si atividades que implicam na modificação das formas de uso do solo: transformação de florestas em áreas agrícolas e urbanas, transformação de regiões áridas, pela irrigação, em agrícolas, criação de zonas industriais onde se concentram processos que resultam na emissão de gases, aterramento de extensões lacustres e litorâneas, transformação de grandes superfícies terrestres em lagos, etc. (Muller, 1996). 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.

O planejamento da ocupação de bacias hidrográficas visando o desenvolvimento sustentável é condicionado por um grande número de variáveis, que estão relacionadas de forma bastante complexa e marcadas pela incerteza. Em consequência deste fato, torna-se difícil a formulação de juízos absolutos, sobre os impactos nos fenômenos hidrossedimentológicos decorrentes da ocupação humana nestas bacias hidrográficas. Nestes casos costuma-se recorrer a estudos de cenários alternativos que correspondam a combinações consistentes das variáveis mais relevantes (SEPLANTEC, 1995b).

Segundo Santos (2002), a lei federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 ou Lei das Águas ainda não é conhecida pela maior parte da população brasileira. A sua regulamentação tem sido feita aos poucos, incluindo a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) através da lei 9.984 de 17 de julho de 2000, autarquia federal vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, Amazônia Legal e Recursos Hídricos com vistas a implementar a política nacional de recursos hídricos. O princípio fundamental reside em uma gestão de recursos hídricos por bacia hidrográfica, descentralizada, com a participação do poder público, dos usuários e da comunidade.

A Lei das Águas estabelece a criação da figura do comitê de bacia (dimensão política) e da agência de bacia (dimensão técnica com vistas a fornecer subsídios para as decisões do comitê).

### **2.3 ALTERAÇÕES NA QUANTIDADE DAS ÁGUAS**

As alterações do clima são acontecimentos naturais que ocorrem desde sempre. Durante o último século, contudo, as alterações climáticas globais têm sido mais pronunciadas do que em qualquer período registrado até ao momento e são resultado de intensas intervenções humanas sobre o meio natural com repercussões no clima e que se refletem a uma escala regional e global.

Acredita-se que a grande quantidade dos gases que estão sendo lançados na atmosfera de forma contínua e constante podem produzir o efeito estufa, sendo responsáveis pelo aquecimento da atmosfera numa esfera global.

Numa 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.

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. No Brasil, existem casos já evidentes onde o antropismo melhora a oferta de recursos hídricos, alterando o tempo de residência das águas de superfície nos ecossistemas. É o caso específico da construção de açudes no Nordeste Brasileiro e do sistema de represas nos complexos de hidroeletricidade como no rio Tietê, rio Grande e rio Paraná (Rebouças & Braga, 2002). Por outro lado, o uso da terra com remoção da cobertura vegetal e com a implantação de uma agricultura sem controle da erosão, normalmente degradada os recursos hídricos, pois aumenta o escoamento superficial carregando solos que promovem o assoreamento dos rios, lagos e represas. Em especial, estas atividades antrópicas, associadas ao desenvolvimento industrial, à agroindústria e à urbanização, degradam a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos.

Segundo Couto & Sans (2003), a evaporação de uma planta ou de uma cultura leva em conta a transpiração dessa planta e a evaporação da superfície do

solo. A transpiração consiste na vaporização de água líquida contida nos tecidos da planta e da remoção do vapor para a atmosfera. Evaporação é o processo pelo qual a água líquida é convertida em vapor de água (vaporização) e removida da superfície evaporante (remoção de vapor).

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.

Este equilíbrio depende: das quantidades e 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, a 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.

Do ponto de vista quantitativo dos recursos da Amazônia, pode-se afirmar que a quantidade das chuvas e a sua distribuição estão intimamente ligadas à cobertura vegetal que em grande parte da região é formada por ecossistemas florestais. Pensava-se que as florestas fossem simples conseqüências das condições climáticas. Na medida em que a floresta foi se desenvolvendo, as condições iniciais foram se alterando havendo um controle da radiação solar, do tempo de residência da água e do balanço hídrico através da evapotranspiração da floresta. Desta forma, o equilíbrio dinâmico da água que hoje existe na região é aquele definido pela interação da biosfera com a atmosfera. Região do pantanal: outro exemplo no qual as condições naturais controlam a disponibilidade de água e especialmente a vazão dos rios é o da Bacia do Rio Paraguai. Os estudos do balanço hídrico indicam que apenas

8% do total de precipitação chega a parte inferior do canal principal do rio Paraguai, perto de Porto Murtinho. Como resultado deste balanço hídrico, conclui-se que aproximadamente 92% da precipitação acima do local de medida são perdidos através de evaporação de água nas superfícies abertas, evaporação do solo, evaporação direta da água retida pela vegetação e pela transpiração das plantas. Estes valores indicam que o atual equilíbrio dinâmico do balanço hídrico depende da geomorfologia e da vegetação (Rebouças & Braga, 2002).

## **2.4 GEOPROCESSAMENTO E SIG**

O mapeamento e localização das águas superficiais e subterrâneas, com destaque para bacias e redes hidrográficas, e a identificação em meio cartográfico da quantidade e qualidade da água, dos pontos de vulnerabilidade da interação água e atividade humana, são ações fundamentais na gerência eficiente dos corpos hídricos.

Recentemente, a integração do desenvolvimento tecnológico da informática e do monitoramento remoto à cartografia convencional gerou o surgimento das técnicas de geoprocessamento, representando hoje como um conjunto de ferramentas especialmente adequado à tarefa de gestão de recursos naturais.

O geoprocessamento aqui entendido está representado pela integração de imagens digitais de diversificados sensores remotos com Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Isso, entretanto, constitui apenas um primeiro nível de integração relevante à hidrologia e aos recursos hídricos. A integração última está na união do geoprocessamento com os modelos que busquem uma melhor compreensão de fenômenos edafoclimáticos e a gestão de recursos hídricos, o que ainda está por se realizar de forma ampla (Ávila et al., 1999).

Segundo Mendes (1996), a utilização de técnicas de geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) se inserem como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes

(imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de solos, hidrografia etc.) e em diferentes escalas. O resultado destas manipulações, geralmente é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram-se, ao longo desta década, uma ferramenta imprescindível para um número crescente de estudos de ecologia. Atualmente é impensável não se recorrer à construção de SIG em estudos que envolvam entradas e/ou saídas de natureza cartográfica, o que se justifica não só pelas suas capacidades gráficas, mas, sobretudo, pelas suas potencialidades analíticas. Os SIG têm vindo a adquirir uma capacidade de modelação crescente, quer através da concepção de módulos específicos, quer por intermédio do estabelecimento de ligações com diferentes pacotes estatísticos. São particularmente úteis para construir modelos ecológicos que pretendem relacionar uma determinada característica ou fenómeno medido no terreno (variável dependente) com fatores ambientais (variáveis independentes) cuja variação no espaço é conhecida. O modelo pode então ser extrapolado para toda a área geográfica que se pretende estudar. Os modelos podem ainda ser estáticos ou dinâmicos, incluindo ou não uma componente temporal.

Os Sistemas de Informação Geográfica são uma tecnologia que tem sido desenvolvida para lidar com informações espaciais e tem muitas aplicações ambientais, sociais e económicas. Eles são idealmente adequados para combinar informações topográficas, de solos, uso da terra e meteorológicas para pequenas áreas dentro da bacia, onde é possível visualizar cenários passados, atuais e simular cenários futuros (Grigg, 1996). Desde que o uso de modelos é limitado pela necessidade de dados espaciais, e desde que os SIG's têm uma grande facilidade em manipular esses dados, a união dessas duas tecnologias representa um importante passo para o manejo de poluições não pontuais (Wilson & Wang, 1998).

Na hidrologia, a utilização inicial de recursos SIG foi motivada pela necessidade de representações mais acuradas do terreno (Sui & Maggio, 1999). Nesta linha de trabalho identificam-se iniciativas de utilizar modelos hidrológicos distribuídos sobre representações raster da superfície geográfica e rede de drenagem (Carpenter et al., 1999). Sistemas SIG são capazes de gerenciar dados geográficos, ou seja, dados que descrevem entes do mundo real em termos de sua posição (em

relação ao um sistema de referência espacial), geometria, relacionamentos espaciais (relações topológicas) e atributos (Burrough, 1986). A principal diferença entre estes sistemas e os demais está na sua capacidade em armazenar e gerenciar dados espaciais. As estruturas matricial e vetorial, própria de cada implementação, são as mais utilizadas para este fim. O banco de dados não espacial armazena informações que descrevem características ou atributos das entidades espaciais representadas no banco de dados espacial (Rafaeli Neto, 2000).

A capacidade de gerenciamento usualmente inclui coleta, edição, armazenamento, recuperação, manipulação e apresentação de uma variedade de dados espaciais, expressos em imagens de satélite, mapas, gráficos, modelos numéricos de terreno (MNT), e outros, além de ferramentas avançadas de análise e visualização. São comuns os usos destas ferramentas para extração de estruturas topográficas sobre o MNT, como bacias hidrográficas e direções de fluxos (Jenson & Domingue, 1988) e estudos da distribuição espacial de variáveis de interesse hidrológico, como a umidade do solo (Kostra, 1994).

Conseqüentemente, a integração de um modelo hidrológico ou, mais especificamente, de um modelo de qualidade de água em um ambiente SIG, não se justifica pela necessidade do SIG em processar a modelagem, mas por sua utilidade na melhoria da estimativa de parâmetros de modelos conceituais, na parametrização das unidades espaciais em modelos distribuídos por sub-bacias, na subdivisão automatizada da bacia em unidades hidrológicas similares (Schumann et al. 2000 apud Zeilhofer et al. 2001), na contextualização espacial dos resultados e na simplificação da aplicação operacional do modelo.

A integração do SIG como os modelos hidrológicos e a sua aplicação em bacias hidrográficas permitem a realização de um grande número de operações, como o projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos. O uso do SIG permite, portanto, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas homogêneas (Calijuri et al., 1998).

Segundo Libos (2002), o sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) têm o potencial promissor de serem empregados com grande êxito, nos trabalhos de modelagem de poluição não pontual. Através da classificação de imagem de satélite, é possível analisar as mudanças de cobertura vegetal de uma área

e, ainda, prever e localizar os impactos causados pela ação antrópica, permitindo um gerenciamento de bacias mais eficiente e eficaz. A combinação de modelos hidrológicos acoplados ao SIG bem como o desenvolvimento de metodologias dentro desse ambiente constitui o elemento fundamental para o diagnóstico da situação ambiental e hídrica da bacia.

## **2.5 MODELOS HIDROLÓGICOS**

Segundo Mendes (1996), modelos hidrológicos lidam com fenômenos contínuos e dinâmicos, enquanto os SIG's tratam apenas de dados estáticos e discretos. Na hidrologia os sistemas a serem representados espacialmente são, bacias, aquíferos, rios, canais, lagos, etc. No campo conceitual, a análise é feita através da simulação do movimento da água e de seus constituintes, usando equações que representam leis físicas.

Modelos hidrológicos e de qualidade da água vêm 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. 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. O objetivo desta modelagem é, então, compreender melhor o sistema e prever situações futuras, algumas vezes também reproduzir o passado, para direcionar as ações de decisão (Machado, 2002).

Modelos matemáticos podem ser usados para estabelecer conhecimentos sobre os sistemas ambientais, tanto como um meio de testar hipótese, como de permitir um método para prever o manejo desses ecossistemas (Beven, 1989; Grayson et al., 1992).

Talvez a propriedade mais importante de um modelo hidrológico é o grau de representação dado às variações espaciais e temporais nos parâmetros de entrada e saída. Pode-se, então, diferenciar entre um modelo concentrado e um modelo distribuído. Enquanto, nos modelos concentrados, assume-se que os parâmetros e variáveis variam somente com o tempo, define-se modelos distribuídos como aqueles em que os parâmetros e variáveis variam tanto no espaço quanto no tempo (Santos, 2002).

De acordo com Devantier & Feldman (1993) “quando um modelo usa um elemento menor do que o tamanho da escala do processo físico, o modelo é descrito como distribuído, e quando a escala do modelo é a mesma da escala do processo (a bacia completa), ele é chamado de modelo agregado”.

Na vertente dos modelos distribuídos procura-se captar, tanto quanto possível, a variabilidade espacial da bacia hidrográfica, dividindo-a em áreas menores regulares, em geral quadrangulares, ou em sub-bacias, onde os parâmetros são considerados uniformemente (Maidment, 1993). O fenômeno hidrológico é simulado dentro de cada sub-área e o resultado é carregado na direção da foz.

Os modelos distribuídos vêm assistindo a um maior interesse dos pesquisadores com a melhoria das tecnologias computacionais. Enquanto os modelos agregados proporcionam melhores desempenhos computacionais, os modelos distribuídos normalmente apresentam melhores resultados. Os modelos distribuídos exigem a manipulação extensa de uma grande quantidade de dados a fim de prepará-los em arquivos de entrada. (Rafaeli Neto, 2000).

Ambos os modelos, agregado e distribuído, podem ainda ser classificados como contínuos ou baseados em eventos isolados, dependendo da escala de tempo. Por exemplo, um modelo agregado baseado em eventos isolados, simula a resposta do sistema físico para uma simples entrada (precipitação) e assume que ambos os parâmetros, de entrada e de saída, não variam no espaço e no tempo. Modelos distribuídos contínuos, por outro lado, simulam os processos seqüencialmente dentro do sistema físico, no intervalo de tempo que pode variar de frações de hora a um dia (ou mesmo maior) e fornece séries temporais de saída do modelo (Tim, 1996).

Há uma diferença significativa entre os modelos distribuídos com base em eventos e contínuos, nos métodos de extração das entradas e métodos de análise e

exibição dos resultados, devido ao componente tempo envolvido na modelagem em tempo contínuo (Srinivasan & Arnold, 1994). Modelos de parâmetros distribuídos de tempo contínuo consideram a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, solos e uso da terra e, dessa forma, preservam os parâmetros distribuídos espacialmente e características homogêneas dentro da bacia (Machado, 2002).

A aplicação de modelos hidrológicos distribuídos com base física requer a avaliação de um número relativamente grande de parâmetros relacionados ao solo, à vegetação e aos aspectos topográficos em uma dimensão espacial. Dois particulares problemas dizem respeito ao número de medidas e à obtenção de valores efetivos dos parâmetros, representativos na escala da malha empregada no modelo. Esforços no sentido de se resolver esses problemas estão estimulando desenvolvimentos nas estratégias de coletas de dados em campo e o uso da tecnologia de sensoriamento remoto (Santos, 2002).

A principal vantagem da aplicação de modelos reside na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes e de forma rápida, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais. Outra importante vantagem da utilização de simulação de cenários está associada a seu baixo custo. Na maioria das aplicações, o custo de executar um programa computacional são ordens de magnitude menor do que o correspondente custo relativo à investigação experimental. Esse fator adquire maior importância à medida que o problema real estudado apresenta maiores dimensões e complexidade (como uma bacia hidrográfica), além dos custos operacionais mais elevados relativos às pesquisas de campo (Pessoa et al., 1997).

A crescente demanda no uso, proposição e validação de modelos matemáticos e simuladores, cada vez mais próximos da realidade, reside nas vantagens obtidas com o emprego dessas técnicas, como o baixo custo, a velocidade, informação completa, criação de cenários diversificados, e proposição de cenários ideais (Pessoa et al., 1997).

## **2.6 O MODELO SWAT**

O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é um modelo matemático de parâmetros distribuído e contínuo que permite um número de diferentes processos

físicos serem simulados em bacias hidrográficas com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas agrícolas não instrumentadas (Srinivasan & Arnold, 1994).

Modelos distribuídos e contínuos simulam os processos seqüencialmente dentro do sistema físico, num intervalo de tempo, e fornece séries temporais de saída do modelo (Tim, 1996).

O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, solos e uso da terra e, desse modo, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia inteira e características homogêneas dentro da bacia.

O modelo foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacia hidrográficas agrícolas (Srinivasan & Arnold, 1994). Opera em passo de tempo diário e é capaz de simular longos períodos, para computar os efeitos das variações de manejo no uso e ocupação do solo.

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 outros estudos feitos na região com a utilização de outros modelos, e o uso dos mesmos cenários, os resultados encontrados foram satisfatórios.

Oliveira (1999), com o objetivo de avaliar as alterações nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do Rio Jones/Ba utilizou o modelo SWAT e os resultados obtidos, permitiram avaliar de forma quantitativa os efeitos da alteração no uso do solo devido a substituição da vegetação nativa por outras de coberturas diversas, bem como os efeitos da urbanização e construção de barramentos na bacia hidrográfica e as conseqüências da alteração na zona costeira.

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 à 1985. Chegando a resultados que indicam que a calibração do modelo foi satisfatória para a predição de água e sedimentos entre dados simulados e observados.

Machado & Vettorazzi (2003) aplicaram o modelo SWAT para simular a carga de sedimentos produzida pela microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, em Piracicaba (SP), no biênio 1999/2000. Os resultados obtidos na simulação da produção de sedimentos foram comparados aos dados observados em um posto hidrossedimentométrico, localizado no terço superior da microbacia, utilizando o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) e o desvio dos dados simulados em relação aos observados (Dv). Para as condições específicas da microbacia do Ribeirão dos Marins, os resultados obtidos na simulação da produção de sedimentos pelo modelo, após a calibração, foram de 0,83, para o COE, e de -3,2 %, para o Dv, indicando um bom ajuste dos dados simulados comparados aos dados observados.

Para o mesmo biênio e microbacia, Machado (2002) e Machado et al. (2003) aplicaram o modelo SWAT na simulação de cenários alternativos de uso da terra, onde dois cenários foram simulados, e também encontraram resultados que validam o modelo. No primeiro, o uso atual foi mantido numa faixa de mata ciliar de 30 m em toda a extensão dos cursos d'água e de 50 m ao redor das nascentes, de acordo com o Código Florestal, e no segundo cenário, como as pastagens ocupavam 30,9 % da área da microbacia, nas encostas mais íngremes, com alto potencial erosivo, as áreas de pastagem foram substituídas por vegetação florestal. As simulações dos dois cenários foram comparadas com as condições do cenário atual em termos de produção de sedimentos. Os cenários geraram diferentes padrões espaciais da produção de sedimentos com uma redução de 94,0 % na produção de sedimentos obtida com a substituição da pastagem por vegetação nativa (cenário 2), e uma redução foi de 10,8 %, no cenário 1.

Pappagallo 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.

Souza et al. (2003) aplicaram o SWAT para simular a concentração total de fósforo numa bacia hidrográfica em uma área típica rural em Darnum/Austrália e sua implicação na produção de clorofila, chegando a resultados que mostram a consequência da aceleração do processo de eutrofização.

Baffaut et al. (2003) em comparação entre os resultados simulados e observados para a poluição de coliformes fecais lançados de forma não pontual na bacia do Shoal Creek no sudoeste do Missouri, e obteve-se resultados que dão credibilidade ao modelo SWAT.

Barsanti et al. (2003), avaliavam a erosão do solo em duas bacias na área do Pantanal/MS uma de grande e outra de pequena escala, com cenários de uso do solo para 30 anos trocando a vegetação nativa por pastagem e agricultura. O uso do modelo SWAT resultou em ótimas estimativas, para a escolha correta da prática de manejo e do uso e solo.

Com uso da interface desenvolvida entre o SWAT e o SIG-Arcview, a bacia é subdividida automaticamente em sub-bacias a partir do MNT e, então, extrai os dados de entrada a partir dos PI's e do banco de dados relacionados para cada sub-bacia. A interface permite que as saídas do modelo sejam exibidas em mapas, gráficos e quadros do Arcview.

Segundo Machado (2002), na modelagem hidrológica, o desenvolvimento de técnicas automáticas nas últimas décadas para determinar as propriedades da drenagem em bacias hidrográficas, fez com que a representação cartográfica usual do relevo fosse substituída gradualmente por Modelos Numéricos do Terreno (MNT's), o que facilitou e muito a tarefa de preparação desses dados.

Um importante aspecto na modelagem espacial distribuída é decidir o delineamento de sub-bacias e a extração da rede de drenagem a partir dos MNT's. O MNT pode ser definido com a representação matemática de uma superfície ou feição altimétrica através das coordenadas X, Y e Z.

Valente (2001), utilizou o SWAT apenas como uma ferramenta para delimitação de sub-bacias dentro da Bacia do Rio Corumbataí, servindo de subsídios para a análise da estrutura da paisagem dessa área.

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 BACIA HIDROGRÁFICA**

A bacia Platina ou do rio da Prata é formada pelos rios Paraná, Uruguai e Paraguai (Figura 05). A bacia do Paraguai, que se localiza nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no Estado de Mato Grosso, recebe a denominação de bacia do Alto Paraguai (BAP). A BAP é dividida em cinco sub-bacias: do rio Paraguai, do rio Cuiabá, do rio São Lourenço, do rio Itiquira e do Pantanal. A sub-Bacia do Rio Cuiabá é uma das formadoras da bacia do Alto Paraguai, e está localizada no Estado de Mato Grosso, região Centro-oeste do país, ocupando uma área de aproximadamente 900.000 Km<sup>2</sup> (Libos, 2000).

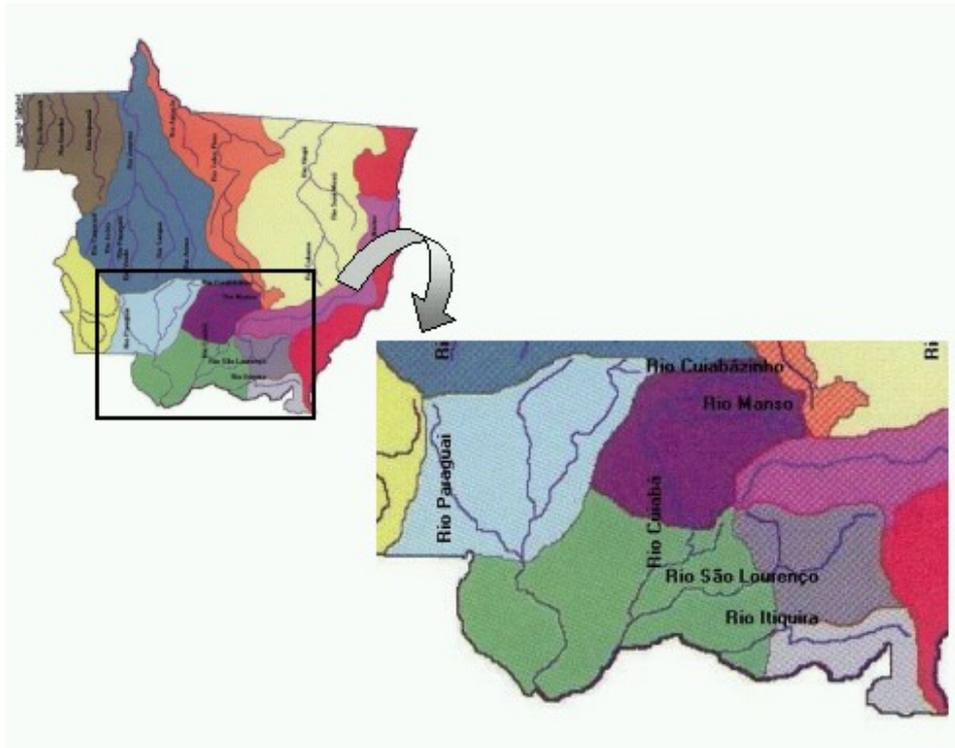


Figura 4 – Bacias hidrográficas do Estado do Mato Grosso (Fonte: Libos, 2002).

A bacia hidrográfica do Rio Cuiabá está localizada entre os paralelos 14°18'S e 17°00'S e meridianos 54°40'W e 56°55' W (Cavinatto, 1995).

De acordo com PCBAP (1997), a Bacia do Rio Cuiabá totaliza aproximadamente 29.000 Km<sup>2</sup> de área, com perímetro de 841 km, abrangendo as cabeceiras dos rios Cuiabá da Larga e Cuiabá do Bonito, que são formadores do Rio Cuiabá até a confluência do Rio Coxipó-Açú, pouco a jusante da cidade de Santo Antônio do Leverger. Nesse perímetro, estão inseridos 13 municípios (Figura 06): Acorizal, Rosário Oeste, Nobres, Jangada, Nossa Senhora do Livramento, Nova Brasilândia, Chapada dos Guimarães, Planalto da Serra, Santo Antônio do Leverger, Campo Verde, Barão de Melgaço e, entre esses, Cuiabá e Várzea Grande, principais núcleos urbanos do Estado (Vital et al., 1996).

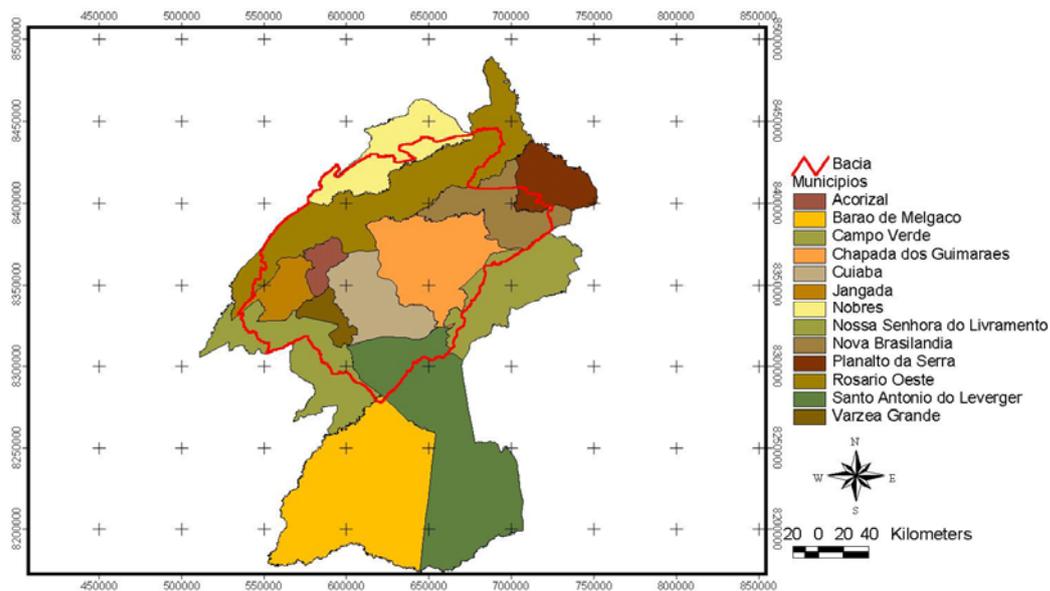


Figura 5 – Municípios pertencentes a bacia hidrográfica do rio Cuiabá (Fonte: SIBAC, 2000).

A ocupação eminentemente urbana desses municípios resultou em um incremento da demanda nos diversos usos das águas do rio Cuiabá e conseqüente aumento das cargas orgânicas, de nutrientes e de coliformes gerados pelos esgotos domésticos, bem como das contribuições de fontes difusas ligadas às atividades agrícolas e de criações de animais nas pequenas propriedades rurais (Lima, 2001).

De acordo com Cavinatto (1995), a Bacia do Rio Cuiabá é subdividida ainda em 5 sub-bacias. Têm-se as sub-bacias do alto Cuiabá, do médio Cuiabá, do baixo Cuiabá, do Rio Coxipó e a do rio Manso. A Figura 07 apresenta a delimitação da área de estudo com os seus limites físicos, incluindo o reservatório de Manso.

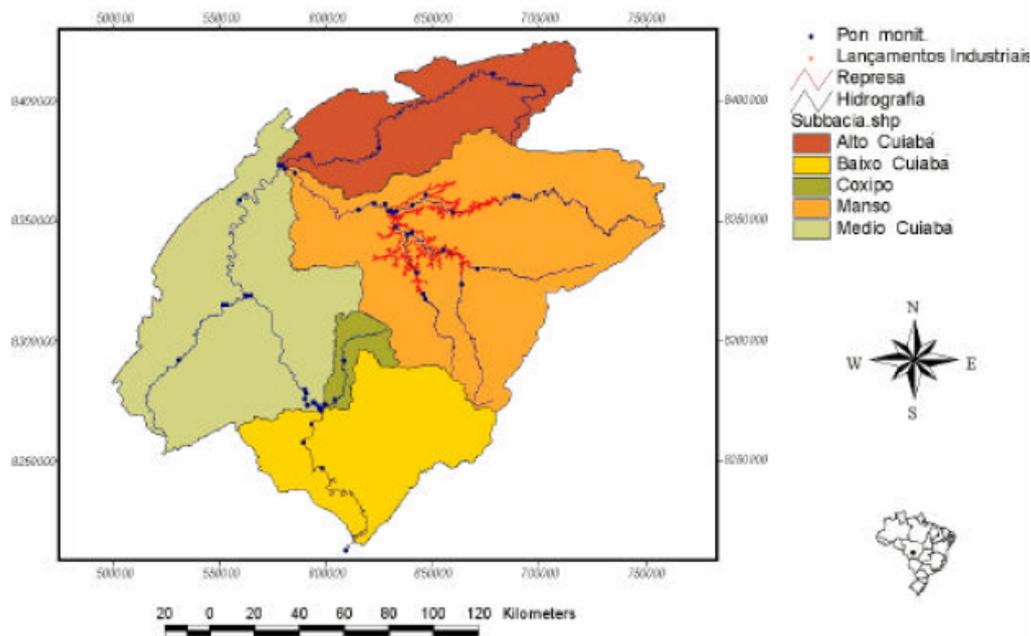


Figura 6 – Sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Cuiabá (Fonte: SIBAC, 2000).

Em função da declividade, o rio Cuiabá apresenta duas características diferentes ao longo do seu curso. Inicialmente, comporta-se como um rio de planalto, extremamente controlado pela estrutura geológica, o que resulta no aparecimento de diversas corredeiras, até atingir o nível da base regional, representado pelo Pantanal Mato-grossense. Nessa condição, sua velocidade e dinâmica modificam-se, com variações de altimetria entre 150-160 metros, apresentando, então, características de um rio de planície, notadamente a partir da cidade de Santo Antônio do Leverger, onde as declividades passam a variar entre 10,2 cm/Km e 5,6 cm/Km, até a sua confluência com o Rio Paraguai (Teixeira, 1997) apud (Lima, 2001).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA FAUNA AQUÁTICA

A rede hidrográfica brasileira apresenta um grau de diversidade de grande riqueza e elevada complexidade. Trata-se de um conjunto de bacias e regiões hidrográficas com características de ecossistemas bastante diferenciados, o que

propicia o desenvolvimento de múltiplas espécies vivas da flora e da fauna aquática. Esse conjunto de ecossistemas aquáticos comporta parte da rica biodiversidade brasileira.

A diversidade de espécies no Cerrado e no Pantanal pode ser exemplificada pelos dados da ictiofauna. Estima-se que existam cerca de 780 espécies nesse bioma, no entanto este número pode ser maior devido às constantes descobertas de outras espécies.

Atualmente, apenas 0,44% do Cerrado e do Pantanal está contemplado por Unidades de Conservação genuinamente aquáticas, sendo, portanto, recomendável a criação de novas Unidades, que considerem as espécies migradoras, com a finalidade de conservar a riqueza existente.

Segundo a ECOPLAN (2004), cerca de 197 espécies de peixes foram registradas para a Bacia do Rio Cuiabá, correspondendo a 74,9% das espécies registradas para o pantanal.

Os sistemas mais ameaçados na região compreendem as cabeceiras das bacias de drenagem e as planícies de inundações dos grandes rios. Inserem-se ainda as veredas e os brejos de altitude, pois são habitados por várias espécies anuais de distribuição muito restrita.

### **3.3 CARACTERISTICA DA VEGETAÇÃO**

#### **3.3.1 Savanas**

As formações de cerrado ocupam grande parcela do estado do Mato Grosso (cerca de 13 % de sua superfície), estendendo-se para 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 Matogrossense.

O projeto RADAMBRASIL considera quatro sub-grupos de formações de cerrado: savana arbórea densa (cerradão), savana arbórea aberta (campo cerrado), savana parque e savana gramíneo-lenhosa (campos).

O cerrado é descrito como uma vegetação xeromorfa, de clima tropical, associada a solos litólicos, sendo constituído por um conjunto de formas de

vegetação, com diferentes gradientes de biomassa. Exceção feita ao cerradão, que constitui uma formação florestal, as demais formas constituem-se em formações campestres, que apresentam muitas vezes florestas de galeria associadas à rede de drenagem.

Pode ser considerada uma vegetação de interflúvio, que ocorre sobre latossolos vermelhos e amarelos, com boa drenagem. Fatores como o teor de alumínio disponível, a fertilidade do solo além do grau e duração da saturação da camada superficial e subsuperficial, podem determinar as diferentes fisionomias observadas. Ocorre entretanto, também associado a solos concrecionais e lateríticos.

### **3.3.2 Florestas estacionais**

A floresta estacional relaciona-se a ocorrência de duas estações climáticas definidas, uma chuvosa e outra seca, cuja alternância determina uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes. A floresta decidual ocorre em situações com variações climáticas mais intensas, apresentando uma porcentagem superior a 50% dos indivíduos despidos de folhas no período da seca; na floresta estacional semidecidual, a porcentagem de árvores caducifólias situa-se entre 20 a 30%.

Em razão da significativa e antiga ocupação nessa porção do Estado, esta formação encontra-se hoje muito alterada, havendo poucas manchas remanescentes, de dimensões significativas no vale do Guaporé, entre Cáceres e Barra do Bugres e na região do Pantanal.

### **3.3.3 Áreas de formações pioneiras (vegetação aluvial)**

Correspondem as comunidades vegetais que recobrem as planícies fluviais, influenciadas pelo efeito das cheias dos rios. São áreas pedologicamente instáveis, devido ao contínuo aporte de material proveniente das deposições aluviais, geralmente com lagoas e meandros abandonados, em diferentes níveis de colmatação.

A vegetação que se desenvolve nestes ambientes é de caráter pioneiro, apresentando diversas fases sucessionais, iniciadas normalmente num estágio alagado (hidrossere) e passando pelos estágios graminoso-herbáceo e arbustivo,

podendo atingir o arbóreo (buritizais). As fisionomias variam em função da quantidade de água e da duração do período de inundação.

### **3.4 CLIMA**

Segundo Vianello (1991), a biosfera e uma série de atividades do homem, tais como o aproveitamento das terras, a agricultura, o consumo de energia, etc., são sensíveis às condições meteorológicas e climáticas do globo. Em numerosas regiões, esta sensibilidade ao tempo e ao clima é cada vez mais importante na medida que aumenta a pressão demográfica e a demanda. A região centro-oeste do Brasil apresenta condições bastante contrastantes entre as estações do verão e do inverno. O verão é essencialmente quente e chuvoso, enquanto o inverno é menos quente e seco. As características climáticas sofrem influências de sistemas oriundos do norte e do sul do continente. No verão, a região é dominada pela Baixa de Chaco, à superfície, e pela Alta da Bolívia, nos altos níveis. Esses sistemas, acoplados dinamicamente, deslocam-se para o norte durante o inverno. A estação do inverno caracteristicamente seca, possui temperaturas mais amenas em virtude da freqüente invasão das massas de ar frias originárias das áreas extratropicais. As linhas de instabilidade ocorrem tanto no verão, associadas à convergência de baixos níveis, quanto no inverno, antecipando-se as penetrações frontais.

Segundo a ECOPLAN (2004), o clima típico da bacia é o AW (clima de Savana), conforme Köppen, com precipitação média anual de 1.500 mm, distribuída entre dois períodos distintos: um chuvoso, com médias mensais acima de 200 mm (entre dezembro e março) e outro seco, com médias mensais abaixo de 100 mm (entre junho e agosto). A temperatura média anual do ar varia entre 12 e 28°C, sendo mais altas no norte da bacia, e havendo pouca variação ao longo do ano. A umidade relativa do ar varia entre 60 a 80%, sendo menor no período seco (julho a agosto). A evaporação mensal varia entre 60 e 200 mm, sendo maior também no período seco (entre junho e outubro).

### **3.5 SOLOS**

De acordo Resende et al. (1999) a paisagem é resultado das relações tetraedrais que são o clima, o solo, os organismos e os aspectos sócio-econômicos.

A Bacia do Rio Cuiabá tem grande heterogeneidade quanto ao tipo de solo, possuindo 21 classes e sub-classes de solo, a caracterização sumária das classes de solo presentes na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, segundo a SEPLAN (2004), são descritas nesse sub-capítulo.

#### **3.5.1 Areias Quartzosas – (AQ)**

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, cores vermelhas, amarelas ou mais claras. São solos normalmente muito pobres, com capacidade de troca de cátions e saturação de bases baixas, freqüentemente álicos e distróficos.

Esta classe compreende as areias quartzosas não hidromórficas e as areias quartzosas hidromórficas. Quando não hidromórficas, são solos excessivamente drenados, porém quando hidromórficas, são imperfeitamente ou mal drenadas.

Originam-se tanto de sedimentos inconsolidados Quaternários ou Terciário/Quaternários, quanto de arenitos de várias Formações Geológicas.

#### **3.5.2 Cambissolo (C)**

Solos minerais não hidromórficos, com horizonte A sobre horizonte B incipiente (não plântico), ou seja, um horizonte pouco evoluído, no qual apenas se manifestam as características de cor e/ou estrutura, sem contudo haver outras características indicadoras de maior evolução, tais como B textural, B latossólico, B espódico ou horizonte plântico.

São solos pouco profundos a rasos, com pequena diferenciação de horizontes, ausência de acumulação de argila, textura franco-arenosa ou mais fina (mais argilosa), cores normalmente amareladas e brunadas. Quando derivados de rochas cristalinas (gnaisses, granitos, migmatitos, xistos, filitos etc.) de um modo geral

apresentam materiais primários facilmente decomponíveis no interior de sua massa. A textura é média ou argilosa, podendo ter cascalhos.

No Estado predominam os cambissolos com argila de atividade baixa. Quanto à saturação de bases são distróficos, sendo mais freqüente a ocorrência de solos com saturação de alumínio alta, maior que 50%, tendo, portanto, caráter álico.

Estão relacionados tanto a rochas pré-cambrianas do Complexo Xingu, como a rochas do Grupo Cuiabá (metassiltitos, metarcóseos, etc.) e da Formação Diamantino (siltitos e arcóseos calcíferos).

### **3.5.3 Glei Pouco Húmico – (HGP)**

Solos minerais hidromórficos, com horizontes glei abaixo do horizonte superficial (A ou H com menos de 40 cm) e cores de redução (normalmente cinzentos ou azulados), em decorrência da presença de ferro em sua forma reduzida ( $\text{Fe}^{+2}$ ).

São mal ou muito mal drenados, encharcados, ocorrendo em áreas baixas, com textura variável de média a muito argilosa, argila de atividade baixa ou alta, saturação de bases normalmente baixas, por vezes álicos e, menos freqüentemente, com alta saturação de bases.

Invariavelmente se desenvolvem a partir de sedimentos do Quaternário Recente, geralmente aluvionares.

### **3.5.4 Latossolo Vermelho-Escuro – (LE)**

Compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte B latossólico, de cores vermelho-escuras, vermelhas ou bruno-avermelhado escuras, com teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (proveniente do ataque sulfúrico) entre 18 e 8% nos solos argilosos ou muito argilosos, normalmente inferiores a 8% nos solos de textura média. A atração magnética é fraca ou inexistente.

São muito profundos, bem drenados, friáveis ou muito friáveis, de textura argilosa ou muito argilosa e média. Os solos mais oxidicos, de textura argilosa ou muito argilosa, possuem baixa densidade aparente (0,84 a 1,03  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) e porosidade muito alta ou alta, com valores variando de 62 a 70%, indicando boas condições

físicas. Nos solos de textura média, a densidade aparente é maior (da ordem de 1,30 - 1,34 g/cm<sup>3</sup>) e a porosidade é média, (46 a 48%).

Arenitos do Grupo Parecis e sedimentos argilo-arenosos da Cobertura Detrito-Laterítica são os principais tipos de material litológico a que estão relacionados no Estado.

### **3.5.5 Latossolo Vermelho-Amarelo – (LV)**

Solos minerais não hidromórficos, com horizonte B latossólico, 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%, quando os solos são argilosos ou muito argilosos e não concrecionários. São solos que não apresentam atração magnética.

São profundos ou muito profundos, bem drenados, com textura argilosa, muito argilosa ou média. Os solos de textura argilosa ou muito argilosa e de constituição mais oxídica, possuem baixa densidade aparente (0,86 a 1,21 g/cm<sup>3</sup>) e porosidade total alta a muito alta (56 a 68%). Os solos de textura média, normalmente, possuem densidade aparente pouco maior e porosidade total média. São solos ácidos a muito ácidos, com saturação de bases baixa (distróficos) e por vezes, álicos, neste caso com alumínio trocável maior que 50%.

Têm como material originário sedimentos tanto do Terciário e Quaternário (TQdl) sobre as chapadas e chapadões, quanto do Quaternário, em planícies com pequenas ocorrências no Grupo Cuiabá.

### **3.5.6 Planossolo – (PL)**

Solos minerais, hidromórficos ou não, com mudança de textura abrupta entre o A, ou o E e o horizonte B textural, com alta densidade aparente (1,72 - 1,94 g/cm<sup>3</sup>), cores de redução e/ou mosqueados, decorrentes de drenagem imperfeita ou má.

São solos rasos ou de profundidade média, com permeabilidade lenta abaixo da superfície, em decorrência da porosidade total muito baixa (30,0 - 35,0%). Isto favorece o encharcamento temporário a que estão sujeitos, em consequência da situação topográfica baixa que ocupam, nas áreas receptoras das águas provenientes dos terrenos de cotas mais elevadas. Em contraposição ao período em que

permanecem molhados, durante a época seca estes solos tornam-se duros a extremamente duros e usualmente fendilham-se no horizonte Bt. São solos predominantemente com argila de atividade alta, ocorrendo também solos com argila de atividade baixa. Quanto à saturação por bases e por alumínio podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Alguns destes planossolos possuem teores de sódio trocável entre 8 e 20%, sendo, neste caso, classificado como Planossolo Solódico.

Quanto à textura há também grande variação, sendo mais freqüente arenosa no A e média no B, ou média no A e argilosa no B.

São desenvolvidos a partir de sedimentos semiconsolidados e inconsolidados da Formação Pantanal (Quaternário).

### **3.5.7 Plintossolo – (PT)**

Solos minerais hidromórficos ou com séria restrição de drenagem, tendo como característica principal a presença de horizonte plíntico dentro de 40 cm da superfície, ou a maiores profundidades quando subsequente a horizonte E, ou abaixo de horizontes com muitos mosqueados de cores de redução, ou de horizontes petroplínticos.

São solos imperfeitamente ou mal drenados, tendo horizonte plíntico de coloração variegada, com cores acinzentadas alternadas com cores avermelhadas e intermediárias entre estas. O horizonte plíntico submetido a ciclos de umedecimento e secagem, após rebaixamento do lençol freático desidrata-se irreversivelmente, e tornando-se extremamente duro quando seco.

Apresentam uma grande diversificação em textura, tendo-se constatado desde solos arenosos até argilosos, sendo característica a grande diferença de textura do A ou E para o horizonte B, por vezes, com mudança textural abrupta.

Quanto às características químicas, foram constatados solos normalmente com argila de atividade baixa e menos freqüentemente com atividade alta. Quanto à saturação de bases e alumínio, verifica-se uma grande diversidade, ocorrendo solos distróficos e eutróficos e também álicos, sendo que estes últimos e os distróficos predominam no Estado, havendo portanto dominância de solos ácidos.

Originam-se basicamente de sedimentos Quaternários, ora na Planície do Bananal e ora no Pantanal. Verificam-se também algumas ocorrências isoladas, relacionadas a sedimentos finos (siltitos) da Formação Diamantino

### **3.5.8 Podzólico Vermelho-Amarelo – (PV)**

Solos minerais não hidromórficos, com horizonte B textural não plíntico e distinta individualização de horizontes no que diz respeito à cor, estrutura e textura, a qual é mais leve no A (mais arenosa) e mais pesada (mais argilosa) no B, com cores variando de vermelho a amarelo e teores de  $Fe_2O_3$  normalmente menores que 11%.

São profundos a pouco profundos, moderadamente a bem drenados, com textura muito variável, porém com predomínio de textura média no A e argilosa no horizonte Bt, com presença ou não de cascalhos. Solos com textura arenosa no A e média no B, ou somente argilosa ou média ao longo do perfil, são menos frequentes. Ocasionalmente, podem ocorrer pedras em alguns destes solos.

São solos que apresentam uma porosidade total baixa a média, com valores compreendidos entre 37 e 50%. Quanto à densidade aparente, verificam-se valores compreendidos numa faixa de 1,32 a 1,63 g/cm<sup>3</sup>. A grande maioria dos Podzólicos Vermelho-Amarelos de Mato Grosso possui argila de atividade baixa, ou seja, inferior a 24 meq/100g de argila.

Quanto à saturação de bases, há também uma grande variação, ocorrendo solos eutróficos ( $V \geq 50\%$ ), solos distróficos ( $V < 50\%$ ) e também solos álicos, nos quais a saturação com alumínio trocável é maior que 50%.

Originam-se a partir de uma grande variedade de litologias. Os eutróficos se relacionam tanto às litologias pré-cambrianas do Complexo Xingu, quanto aos arenitos (Formações Ponta Grossa, Aquidauana e Botucatu), aos siltitos (Formação Diamantino) e sedimentos recentes (Formação Pantanal).

Os demais estão relacionados, além das litologias mencionadas, às rochas dos Grupos Cuiabá e Alto Paraguai e Granito São Vicente.

### **3.5.9 Solos Aluviais – (AE)**

Solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, formados em depósitos aluviais recentes, nas margens de curso d'água. Apresentam apenas um horizonte A sobre camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si.

Devido à sua origem de fontes as mais diversas, estes solos são muito heterogêneos quanto à textura, que pode variar num mesmo perfil entre as diferentes camadas, ou também heterogêneos quanto às outras propriedades físicas e, no que diz respeito às propriedades químicas, podem ser tanto eutróficos, como distróficos ou álicos. A atividade da argila varia de alta a baixa.

### **3.5.10 Solos Litólicos – (R)**

São solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos (2 cm até a rocha), com horizonte A sobre a rocha ou sobre 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.

Têm sua origem relacionada a vários tipos de material geológico, desde rochas ígneas, a sedimentares e metamórficas, de básicas a ácidas.

### **3.5.11 Solos Concrecionários – (SC)**

Esta unidade de mapeamento engloba solos concrecionários lateríticos que podem ser incluídos em diversas classes, principalmente nas dos podzólicos concrecionários, plintossolos concrecionários e latossolos concrecionários.

A dificuldade na separação das diversas classes de solos concrecionários, durante o mapeamento, fez com que solos de classes diferentes fossem mapeados indistintamente como solos indiscriminados concrecionários.

Esta unidade de mapeamento engloba principalmente solos com saturação de bases baixa, ou seja, distróficos. A textura destes solos é variável, porém tipicamente cascalhenta. Origina-se a partir de vários materiais geológicos, porém merecem destaque as rochas do Grupo Cuiabá e sedimentos do Terciário-Quaternário (TQdl).

### **3.5.12 Solo Orgânico – (HO)**

Os solos orgânicos ou organossolos são corpos naturais que ocorrem em turfeiras, como resultado de acúmulo de restos vegetais que ocorrem em ambientes de saturação contínua de água e da insuficiente circulação de oxigênio. Dependendo do grau de decomposição do material orgânico, ocorre a menor ou maior ocorrência de camadas fíbricas, hêmicas e sápricas. Onde a alternância destes pode ser um indicativo de variação nas condições de degradação do material orgânico ou do material vegetal primário (Conceição et al, 1999).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 GENERALIDADES DO MODELO HIDROLÓGICO

O modelo hidrológico SWAT da interface Basins/ARCVIEW foi a ferramenta básica utilizada para estudar as alterações na vazão da bacia do Rio Cuiabá, decorrente das alterações do uso do solo na bacia hidrográfica e da construção da barragem do Manso.

### 4.2 SISTEMAS COMPUTACIONAIS

- Software Arcview versão 3.2, desenvolvido pelo ESRI (Environmental Systems Research Institute);
- Extensões Arcview: Arcview Spatial Analyst versão 1.1 e Arcview 3D Analyst versão 1.0;
- BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources versão 3.0, desenvolvido pela U.S.Environmental Protection Agency;
- SWAT (Soil and Water Assesment Tool) versão 2000, modelo incluso no BASINS 3.0, desenvolvido pelo Blackland Research Center da Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agricultural Research Service;
- Na tabulação dos dados e análises estatísticas, foi utilizado o *Microsoft Excel* (MICROSOFT® EXCEL, 1993 – 1997).

### **4.3 PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DO MODELO SWAT**

O SWAT requer uma grande quantidade de parâmetros de entrada que relacionam-se com as características físicas da bacia. Na definição destes parâmetros buscou-se sempre que possível, utilizar dados obtidos a partir de trabalhos anteriores, evitando-se o levantamento experimental das informações necessárias, o que demandaria uma grande quantidade de tempo.

A aplicação do modelo SWAT ocorre com a divisão da bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, a definição dos parâmetros do modelo para o caso em estudo e a calibração e simulação das vazões para a Bacia do Rio Cuiabá sob diferentes cenários.

Para o desenvolvimento desse trabalho os parâmetros requeridos pelo modelo SWAT estão divididos em parâmetros climáticos, de solo e hidrológicos.

O primeiro passo para o funcionamento do modelo SWAT ocorre na geração dos planos de informação cartográficos - PI's que é realizado no Arcview, e a entrada dos dados alfanuméricos e dos PI's necessários para o modelo SWAT, ocorre via uma interface apropriada, o Basins.

Os PI's necessários para o funcionamento do modelo SWAT são: Modelo Numérico do Terreno (MNT), hidrografia, solos e uso da terra.

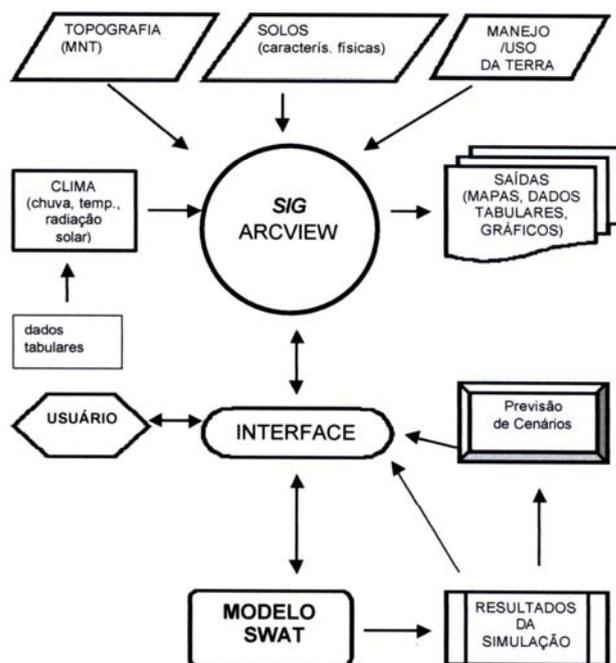


Figura 7- Processo de funcionamento do SWAT (Fonte: Machado, 2002).

#### 4.3.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT)

O processo de simulação em uma bacia começa com o modelo numérico do terreno, que pode ser definido como a representação matemática de uma superfície ou feição altimétrica através das coordenadas X, Y e Z. A área da Bacia do Rio Cuiabá (aproximadamente 29.000 km<sup>2</sup>) foi discretizada em células de área igual a 22.500 m<sup>2</sup> (150 m X 150 m - 2,25 hectares), formando assim um matriz de células sobre a bacia. A escolha da área da célula foi definida de forma a captar a resolução espacial máxima correlata com a qualidade das informações plani-altimétricas do modelo numérico do terreno (Libos, 2002).

Adicionalmente, foi aplicado o interpolador desenvolvido por Hutchinson (1989), criado para obter uma melhor representação da característica anisotrópica (ou direcional) do relevo. Hutchinson (1996) atualizou o algoritmo através do conceito de adaptação local, modelando o terreno interativamente com resoluções consecutivas crescentes, até chegar na sua resolução final. Esse algoritmo permite ainda imposição das linhas de drenagem que garantem a integridade do declive do

terreno na direção do escoamento superficial. Através da definição de tolerâncias horizontais e verticais, podem ser removidos píxels que interrompem o fluxo ao longo da rede de drenagem digitalizada ou que são identificadas como depressões fechadas (Zeilhofer 2001 apud Libos 2002).

#### 4.3.2 Hidrografia da Bacia do Rio Cuiabá

A malha hidrográfica utilizada foi gerada através da união das Cartas n° 372, 373, 388, 389 e 404 no software ArcView, cartas todas do Fuso 21 na escala 1:250.000 (Fonte: SEPLAN 2004).

#### 4.3.3 Sub-divisão da bacia hidrográfica

Nos procedimentos para a divisão das sub-bacias, o programa Basins adiciona automaticamente os pontos confluência de linha d'água que são os divisórios das sub-bacias a partir do MNT e da malha hidrográfica e calcula o número de sub-bacias.

Neste caso foram incluídos também pontos (Tabela 01) com as mesmas coordenadas dos 5 postos fluviométricos (SIBAC, 2000), escolhidos por possuírem a mesma série temporal e por não haver falhas nos dados diários, que posteriormente também são usados no desenvolvimento deste estudo.

Tabela 1- Localização dos postos fluviométricos em coordenadas UTM (fuso 21, hemisfério Sul).

Postos	Código ANA	Descrição	XPR (m)	YPR (m)
<b>Rc 8</b>	66260001	Rio Cuiabá, cidade de Cuiabá, bairro Porto	595729	8273234
<b>Rc 4</b>	66255000	Rio Cuiabá, cidade de Acorizal	568099	8318834
<b>Rc 3-2</b>	66250001	Rio Cuiabá, cidade de Rosário Oeste	562961	8359924
<b>Rc 2-1</b>	66160000	Rio Cuiabá, 80 m a jusante da foz com o rio Quebo	593783	8379584
<b>Rm 5</b>	66210000	Rio Manso, 1 km a jusante do eixo da barragem (APM Manso)	629387	8355467

#### 4.3.4 Mapa de uso e ocupação do solo

Com a investigação visual detalhada e a classificação não 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), Libos (2002) identificou o maior número possível de classes de ocupação do solo e estabeleceu uma primeira legenda. Feita essa análise preliminar, as dez classes iniciais resultantes do processo de classificação foram condensadas (Quadro 01), resultando em oito classes de cobertura e uso do solo, facilitando na modelagem.

Quadro 01 – Classes utilizadas para a classificação do uso e ocupação do solo e classes resumidas.

<b>Classes utilizadas para classificação</b>	<b>Classes resumidas para modelagem</b>
Água	Água
Água_sed	
Cerradão	Cerrado
Cerrado	
Floresta	Floresta
Plantação	Plantação
Sombra	Sombra
Solo_aberto	Solo aberto
Pasto	Pasto
Cidade	Cidade

O mapa de uso e ocupação do solo gerado por Libos (2002) foi utilizado neste trabalho, mas com alterações nas classes de uso e ocupação do solo para adaptação ao modelo SWAT. Para tanto a classe ‘água’ representada em sua maioria pela barragem do Manso foi substituída pela classe ‘cerrado’, classe essa de maior representatividade no local anterior a construção da barragem. E a classe sombra, foi substituída da mesma forma pela classe ‘cerrado’, por esta ser a classe de maior representatividade nos locais onde a ‘sombra’ situava-se na imagem. A substituição de uma classe por outra no mapa de uso e ocupação do solo, foi realizada diretamente no Basins utilizando uma ferramenta de reclassificação.

#### 4.3.5 Mapa pedológico

O mapa pedológico necessário para o modelo, foi gerado através da simples união das cartas pedológicas feita no software Arcview, cartas n°372, 373, 388, 389 e 404 todas do Fuso 21 na escala 1:250.000 (Fonte: SEPLAN). Como resultado

obteve-se para toda a bacia 21 classes e sub-classes de solo, no Basins o mapa pedológico foi reclassificado, excluindo as sub-classes de solo, ou seja, sem considerar suas características álica, eutróficas e distróficas, restando 12 tipos de solo.

#### **4.3.6 Unidades de resposta hidrológica (HRU's)**

A distribuição de unidades de resposta hidrológica (HRU's) dentro da linha divisória das águas deve ser determinada baseando-se no uso da terra e nos dados de camadas de solo. O item de distribuição de HRU's permite especificar critérios utilizados para determinar a distribuição do HRU's. Com maior sensibilidade para um dos dois critérios, ou o uso e ocupação do solo ou tipos de solos, em combinações de unidades de resposta hidrológicas que pode ser criado para cada sub-bacia ou para toda a bacia.

Ou seja, programa fornece duas opções de distribuição de HRU's: um HRU único ou HRU's múltiplos para cada sub-bacia. Para um HRU único para cada sub-bacia, seleciona-se o HRU de igual dominância para a categoria de uso da terra e solo, dentro de cada linha divisória das águas, esta foi a opção utilizada neste estudo. Se HRU's múltiplo é selecionado, deve-se especificar o nível de sensibilidade de uso da terra e dados de solo que deve ser utilizada para determinar o número específico de HRU's em cada linha divisória das águas, este segundo passo controla a criação das HRU's com base na distribuição dos diferentes tipos de solo sobre os usos da terra selecionados.

#### **4.3.7 Definição dos parâmetros característicos da área de estudo.**

O SWAT possui no seu banco de dados interno, informações de estações meteorológicas dos E.U.A. e apenas da classe de solo Vertissolo, diferindo totalmente do que é observado para a área de estudo, assim, para a área em estudo faz-se necessário entrar com dados de clima diários e médios anuais e com as características físicas dos solos para bacia hidrográfica do rio Cuiabá.

#### 4.3.7.1 Parâmetros Climáticos

Os dados climáticos necessários para entrada no SWAT, foram cedidos pela estação meteorológica da Fazenda Experimental da UFMT, no município de Santo Antônio do Leverger/MT, e pela estação meteorológica (83361) de Cuiabá (Tabela 02), operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (código oficial 1556002).

Tabela 2- Estações de dados climáticos.

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

Dados de precipitação foram obtidos através do site *Hidroweb* um servidor da Agência Nacional de Águas – ANA. Utilizaram-se dados de 9 estações pluviométricas (Tabela 03) por possuírem a mesma série temporal entre si e por estarem localizadas dentro da bacia hidrográfica do rio Cuiabá.

Tabela 3- Estações pluviométricas, códigos oficiais das estações, coordenadas UTM (Fuso 21) e elevação (m).

<b>Estações</b>	<b>Código oficial</b>	<b>XPR (m)</b>	<b>YPR (m)</b>	<b>Elevação (m)</b>
Santo A. do Leverger	1250001	598164	8243410	140
Cuiabá	1556002	594721	8280639	185
Quebo	1456004	598707	8378333	226
Rosário Oeste	1456008	566327	8350790	198
Fazenda Estiva	1555008	634258	8317316	417
Nossa Senhora da Guia	1556000	584068	8300957	174
Livramento	1556001	569615	8253074	231
Acorizal	1556005	568022	8319449	175
Fazenda Seco	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 pra cada parâmetro climático.

#### 4.3.7.1.1 Parâmetros para o gerador climático

No SWAT está incluído o modelo gerador climático WXGEN (Sharpley & Williams, 1990). O arquivo de entrada do gerador climático deve conter dados médios necessários para gerar dados climáticos diários que são gerados pelo modelo em duas situações: quando é especificado que os dados irão ser gerados, ou quando algum dado está faltando.

Segundo Pontes & Fernandes (2002), para a obtenção de resultados confiáveis a escolha das estações devem seguir dois critérios, o primeiro é que as séries de dados pluviométricos das estações devem ser superior a 10 anos, exigência também do modelo, e o segundo critério, que as estações situem-se na mesma isozona. Através dos 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 (equações 01 e 02), de acordo com a disponibilidade de dados de cada fator ambiental. Assim como as duas estações não possuem todos os dados suficientes para que se cumpra o primeiro critério, estipulou-se como 11 anos o valor de *Rain\_yrs*, por ser o período de maior série temporal. Quanto ao segundo critério as duas estações situam-se sob a mesma isozona (Figura 08).

Para o cálculo das médias mensais anuais:

$$X_{mon} = \frac{\sum X_{day, mon}}{yrs} \quad (1)$$

Onde:  $\sum X_{day, mon}$  é a somatória dos dados diários para cada mês de todos os anos, e *yrs* é o número de anos de dados.

Para o cálculo dos desvios mensais anuais:

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\frac{(\sum X_{day, mon} - X_{mon})^2}{(yrs - 1)}} \quad (2)$$

Onde:  $\sigma_{mon}$  é o desvio mensal de todos os anos.

#### 4.3.7.1.1.1 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 (Equação 03).

$$UR(\%) = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100 \quad \text{ou} \quad e_a = \frac{UR}{e_s} \quad (3)$$

Onde,  $e_a$  representa a pressão exercida pela massa de vapor d'água existente na atmosfera, que pode variar de zero a um valor máximo chamado de pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), no qual este é dependente da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ).

Para a estimativa do valor da pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) utiliza-se a Equação (04) conhecida como *Tetens*:

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left[ \frac{7,5 \cdot t_{ar}}{237,3 + t_{ar}} \right]} \quad (4)$$

Assim, tendo encontrado os valores de  $e_a$  e  $e_s$  calcula-se a temperatura de ponto de orvalho (DEWPT), através da equação 05.

$$DEWPT = \frac{\left[ 237,3 \cdot \text{Log} \left( \frac{e_a}{0,6108} \right) \right]}{\left[ 7,5 - \text{Log} \left( \frac{e_s}{0,6108} \right) \right]} \quad (5)$$

#### 4.3.7.1.1.2 Radiação solar

Para a estimativa da energia solar incidente no solo considerando a atmosfera ausente - SOLARAV, calculou-se a declinação solar -  $\delta$  (equação 06), o ângulo no pôr-do-sol -  $h_p$  (equação 07) e o ângulo zenital -  $Z$  (equação 08), segundo Ometto

(1981).  $\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360}{365} \cdot (284 + n) \right]$ , e  $n$  é o dia Juliano. (6)

$$h_p = \arccos(-\text{tg} \psi \cdot \text{tg} \delta) \quad \text{Onde: } \psi \text{ é a latitude local (para cada estação).} \quad (7)$$

$$\text{Cos } Z = \text{sen} \psi \cdot \text{sen} \delta + \text{cos} \psi \cdot \text{cos} \delta \cdot \text{cosh} \quad (8)$$

Onde  $h$  é o ângulo horário ao meio dia ( $h=0^\circ$ ) e  $\text{cosh} = 1$ .

Assim, obtêm-se a radiação solar incidente (equação 09), pois:

$$SOLARAV = \frac{916,7}{R^2 \cdot (\text{sen } \psi \cdot \text{sen } \delta \cdot h_p + \text{cos } \psi \cdot \text{cos } \delta \cdot \text{sen } h_p)} \quad (9)$$

Onde  $R^2$  é o raio vetor Terra – Sol =  $(0,9915)^2 = 0,983$ .

#### 4.3.7.1.1.3 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 Antônio de Leverger e do INMET (estação 83361) em Cuiabá foram utilizadas.

Para a estimativa da probabilidade dos dias de chuva seguido de dias de seca-PR\_W1, equação 10.

$$PR\_W1 = \frac{D_{CHV / SC}}{D_{n^{sc}}} \quad (10)$$

Onde:  $D_{chv/sc}$  é o número dos dias de chuva seguido de dias sem chuva no mês, e  $D_{n^{sc}}$  é o número de dias sem chuva no mês.

Para a estimativa da probabilidade dos dias de chuva seguido de dias de chuva - PR\_W2, segue a relação na equação 11.

$$PR\_W2 = \frac{D_{chv / chv}}{D_{n^{chv}}} \quad (11)$$

Onde:  $D_{chv/chv}$  é o número dos dias de chuva seguido de dias de chuva no mês, e  $D_{n^{chv}}$  é o número de dias com chuva no mês.

#### Para a estimativa da precipitação máxima de 0,5 horas no mês – RAINHHMX:

Neste trabalho estabeleceu-se o intervalo de recorrência como sendo de 2 anos, um tempo de recorrência curto, devido a poluição não-pontual de um rio tratar-se de um fator ambiental dinâmico e de grande instabilidade.

Para a definição da precipitação máxima de 0,5 horas ou 30 minutos com recorrência de 2 anos utilizou-se o método de Chow (1964), que demonstrou que a maioria das funções de frequência hidrológica podem ser calculadas pela equação 12.

$$P_{TR} = P_{MAX} + (K \cdot \sigma_{Pmax}) \quad (12)$$

Onde:  $P_{TR}$  é a precipitação máxima esperada para o período de retorno (2 anos),  $P_{max}$  é a média das precipitações máxima anuais,  $K$  é o fator de frequência e  $\sigma_{P_{max}}$  é o desvio da média da precipitação máxima anual.

Tabela 4- Valores de  $K$  em função do intervalo de recorrência utilizado e o coeficiente de assimetria (Skew)(Fonte: Chow, 1964).

*Table of K Values for Use with the Log Pearson Type III Distribution*

Skew coefficient (g)	Recurrence interval in years					
	2	10	25	50	100	200
	Percent chance					
	50	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.396	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.5	-0.360	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.0	-0.307	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.8	-0.282	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.6	-0.254	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.4	-0.225	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.2	-0.195	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.0	-0.164	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-0.148	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-0.132	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-0.116	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-0.099	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-0.083	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-0.066	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-0.050	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-0.033	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-0.017	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0	0	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	0.017	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	0.033	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	0.050	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	0.066	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	0.083	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	0.099	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	0.116	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	0.132	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	0.148	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	0.164	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.2	0.195	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.4	0.225	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.6	0.254	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.8	0.282	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-2.0	0.307	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.5	0.360	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-3.0	0.396	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

Os valores do fator de frequência ( $K$ ) são encontrados na tabela de Distribuição de Log Pearson Tipo III (tabela 04), em função do intervalo de recorrência em anos (*recurrence interval in years*) a ser utilizado e do coeficiente de assimetria (*skew coefficient - g*) para a precipitação máxima.

Inicialmente calcula-se o coeficiente de assimetria - Skew para a precipitação máxima – PCPSKW, equação 13.

$$PCPSKW = \frac{n \cdot \sum (P_{day, mon} - P_{mon})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (\sigma_{P_{mon}})} \quad (13)$$

Onde:  $n$  é o número total de dias de precipitação no mês,  $P_{day, mon}$  é a precipitação média no mês,  $P_{mon}$  é a precipitação média anual e  $\sigma_{P_{mon}}$  é o desvio médio da precipitação anual.

Segundo Assad et al. (1992), após a determinação dos valores extremos, utilizando o método proposto por Torrico (1975), calcula-se as precipitações máximas para 24 horas, para uma hora e para trinta minutos.

José Jaime Taborga Torrico criou o método das isozonas, baseado no trabalho de Pfaffstetter (1957), construindo um mapa de Isozonas (Figura 08), em que relaciona a precipitação máxima anual de uma hora, com a máxima anual de 24 horas para cada posto pluviográfico existente no Brasil naquela época.

Para transformar precipitação máximas diárias ( $P_{1dia}$ ) para o tempo de recorrência desejado em precipitação horária ( $P_{24h}$ ), aplica-se o Método de Taborga, equação 14.

$$P_{24h} = 1,095 \cdot P_{1dia} \quad (14)$$

Pelo Método de Taborga, as precipitações para 24 horas guardam uma relação constante e independente do período de retorno, de 1,095 com a precipitação máxima diária, pois segundo Torrico (1975), “o tempo de recorrência nesta relação não tem influência, porque a precipitação média de um dia equivale a uma duração de quinze horas e 50 minutos para tempo de recorrência de um ano, e a 16 horas e 10 minutos para 1000 anos, ou seja, somente 0,1% de influência nas alturas de precipitação”.

Assim, identifica-se no mapa (Figura 08) a isozona correspondente, que para as duas estações utilizadas neste estudo situam-se na isozona *F*, com isso obtém-se o coeficiente para a transformação da precipitação máxima de 24 horas em precipitação para 1 hora e para 0,06 hora (6 minutos), multiplicando a  $P_{24h}$  pelo coeficiente de Taborga tabelado para as isozonas de igual relação.

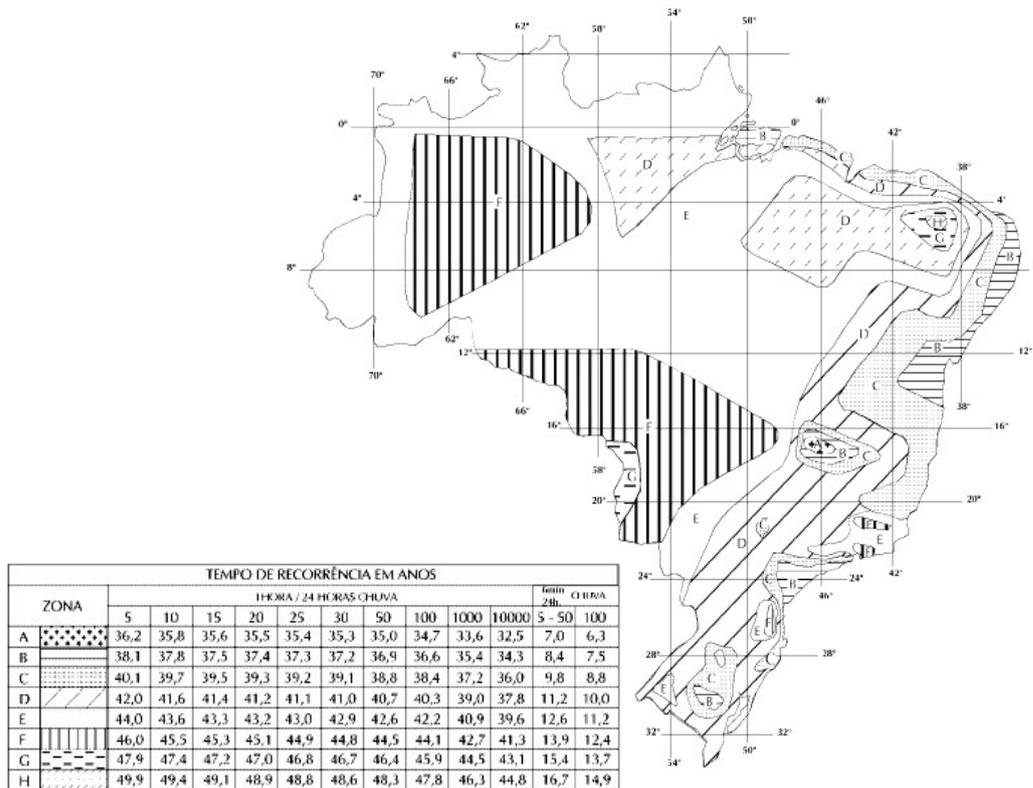


Figura 8- Isozonas de Taborga (Torrico, 1975).

Para a obtenção da precipitação máxima para 0,5 horas utiliza-se o método gráfico, plotando-se a precipitação máxima para 0,06 hora e para 1 hora no papel de probabilidade, e por interpolação obtém-se o valor da precipitação máxima para 0,5 horas (Assad et al, 1992).

Depois dos cálculos realizados, e todos os parâmetros obtidos para estações climáticas analisadas, digita-se os valores diretamente no banco de dados (Figura 09) do Basins 3.0.

Figura 9- Janela de entrada dos dados climáticos no SWAT.

#### 4.3.7.2 *Parâmetros diários para a simulação no modelo SWAT*

O modelo requer dados diários de precipitação (mm H<sub>2</sub>O), temperatura máxima e mínima do ar (°C), radiação solar incidente (MJ/m<sup>2</sup>.dia), velocidade do vento (m/s), e umidade relativa do ar (%), assim define-se os parâmetros climáticos diários para toda a bacia, que são inseridos diretamente no banco de dados do Basins, vide Figura 10.

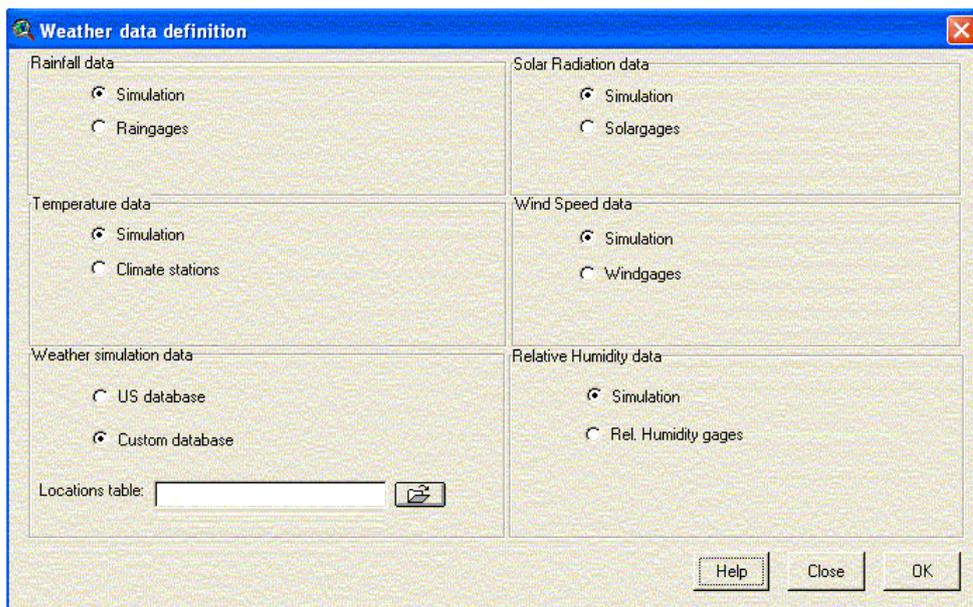


Figura 10- Janela para entrada dos dados climáticos diários no SWAT.

#### 4.3.7.3 *Parâmetros de solo*

O banco de dados de solo requer informações das características físico-hídricas de cada classe de solo, como os grupos de saturação (HYDGRP), a profundidade de raiz (SOL\_ZMX), porosidade (ANION\_EXCL), profundidade da camada (SOL\_Z), densidade aparente (SOL\_BD), capacidade de água no solo (SOL\_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL\_K), erodibilidade (USLE\_K), albedo (SOL\_ALB), carbono orgânico (SOL\_CBN), e percentagem de argila, silte, areia e seixo. Por falta de dados de solo para a Bacia do Rio Cuiabá, praticamente todos os dados utilizados neste estudo foram retirados do Levantamento semi-detalhado de solos do Projeto Jequitaiá/MG – CODEVASF/CES (1977). E apenas as 12 classes de solo principais foram consideradas, são elas: areia quartzosa (AQ), solo aluvial (AE), cambissolo (C), glei pouco húmico (HGP), latossolo vermelho-escuro (LE), latossolo vermelhor-amarelo (LV), planossolo (PL), plintossolo (PT), podzólico vermelho-amarelo (PV), solos litólicos (R), solos concrecionários (SC) e solo orgânico (HO).

#### 4.3.7.3.1 Grupos Hidrológicos

De acordo com o 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, onde:

- Grupo hidrológico A – solos com alta taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada >150 mm/hr, solos constituídos de areias grossas e excessivamente drenados. Estes solos têm alta taxa de transmissão de água (baixo runoff potencial);
- Grupo hidrológico B – solos com moderada taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada entre 5 e 150 mm/hr, solos constituídos de sedimentos moderadamente grossos a moderadamente finos, e moderadamente bem drenados. Estes solos têm moderada taxa de transmissão de água;
- Grupo hidrológico C – solos com baixa taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada entre 1 e 5 mm/hr, com textura moderadamente fina a fina, que impedem o movimento da água nos horizontes. Estes solos têm baixa taxa de transmissão de água (alto runoff potencial);
- Grupo hidrológico D – solos com baixíssima taxa de infiltração, condutividade hidráulica saturada menor 1mm/hr, são solos potencialmente argilosos com altíssimo runoff potencial, esses solos tem baixíssima taxa de transmissão de água.

#### 4.3.7.3.2 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 de número (CN) é um parâmetro utilizado para o cálculo do runoff (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 a intensidade de chuva, condições da superfície da terra, e volume do escoamento superficial sendo o

valor de 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 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.

O SCS obteve curvas que correlacionam a precipitação com o escoamento de várias sub-bacias dos E.U.A. (Figura 11), para a padronização dessas curvas, números adimensionais foram estabelecidos, as chamadas Curvas de Número, ou CN's. As tabelas com os valores tabelados de CN com relação ao uso e ocupação do solo e o grupo hidrológico utilizados pelo modelo, podem ser encontradas no manual do SWAT (2000).

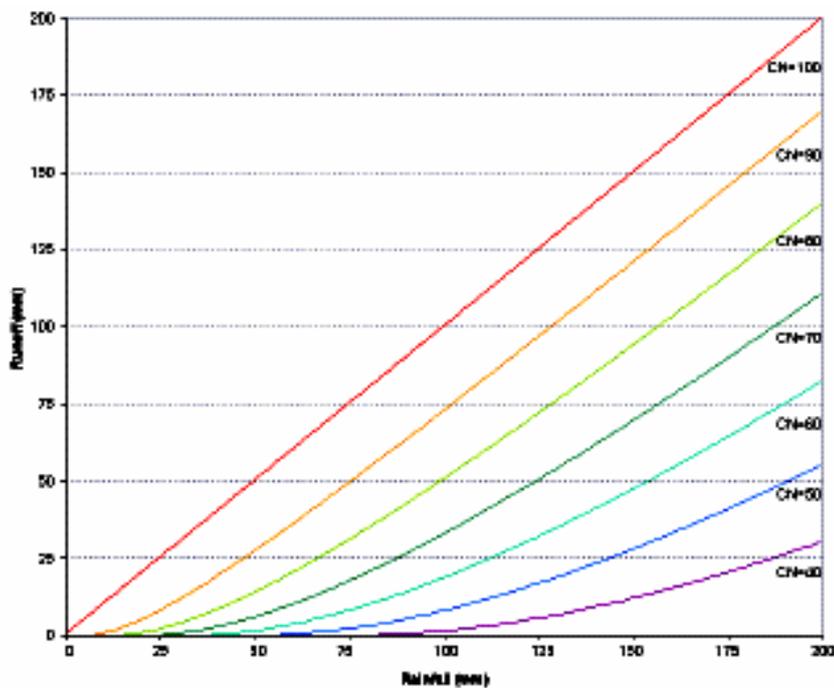


Figura 11- Relação entre a vazão e a precipitação no método SCS de Curva de Número (Fonte: manual SWAT, 2000)

#### 4.3.7.3.3 Características granulométricas e texturais do solo

As percentagens de argila, silte, areia e seixo foram classificadas de acordo com o USDA, conforme a tabela (05).

Tabela 5- Classificação granulométricas do solo.

<b>Classificação granulométrica</b>	
cascalho	> 2 mm
areia	2 a 0,05 mm
silte	0,05 a 0,002 mm
argila	0,002 mm

A fração de porosidade (ANION\_EXCL) é definida pela relação entre o volume ocupado pelos poros e o volume total do solo (Reichardt, 1990). Como é difícil de medir o volume de poros a fração de porosidade foi estimada através da densidade do solo, equação 15.

$$ANION\_EXCL = 1 - (\rho_b / \rho_s) \quad (15)$$

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.

O valor 2,65 g/cm<sup>3</sup> para a densidade das partículas é utilizado como padrão pelo SWAT, mas este foi adotada apenas nos casos em que não havia o dado para a classe de solo. A densidade aparente ou do solo geralmente é calculada durante os levantamentos de campo, onde  $\rho_b = m/v$ , mas no caso das classes Cambissolo e Solo Litólico, não tínhamos o valor disponível, então optou-se em adotar o valor tabelado por Taylor et al. (1966) que relaciona a textura do solo com a densidade aparente (Tabela 06).

A textura do solo foi obtida através da utilização do triângulo de classificação textural do solo. Este sistema foi desenvolvido pelo U.S. Department of Agriculture e U.S. Soil Conservation Service. Neste sistema a porcentagem relativa das três partículas dimensiona as categorias a serem consideradas. As três categorias de partículas são areia, silte, e argila.

Tabela 6- Classificação textural e densidade aparente do solo (Fonte: Taylor et al, 1966).

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Solos recentemente cultivados	0,90 - 1,2
Solos com superfície mineral, não recentemente cultivados, mas não compactados.	1,1 – 1,4
Solos com restrição raiz:	
Areias e francos	< 1,6 – 1,8
Siltes	< 1,4 – 1,6
Argilas	Extremamente variável

O diagrama triangular é subdividido dentro de vários tipos de classificação textural de solo, com cada tipo de solo compreendendo uma série de porcentagens dos três tipos de partícula. O tipo de classificação de 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 um ou mais tipos de classificação de solo, como mostra o Triângulo de Classificação (Figura 12).

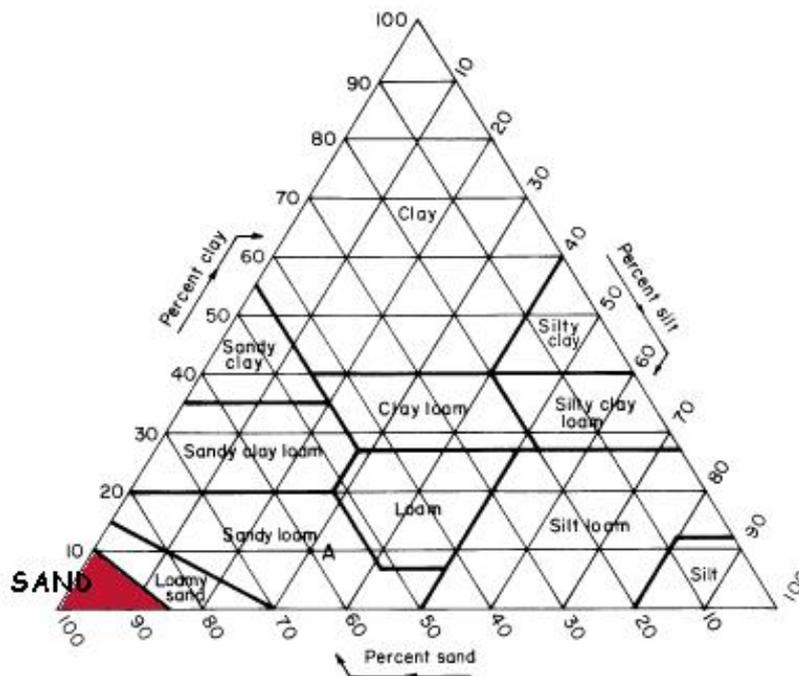


Figura 12- Triângulo de classificação textural do solo (Fonte:USDA, 1986).

#### 4.3.7.3.4 Capacidade de água no solo e condutividade hidráulica

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

Para permitir que estes dois estágios sejam encontrados mais facilmente, foi redefinido nos termos das tensões em que a água é mantida pelo solo.

A capacidade do campo é definida como a umidade que um dado solo sustenta sob a ação da gravidade, na prática significa a umidade da amostra de solo quando submetida a uma tensão de 0.033 MPa e o ponto 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 16.

$$\text{SOL\_AWC} = \text{FC} - \text{WP} \quad (16)$$

No caso da classe Plintossolo em que não há dados de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente os dados de capacidade de água no solo podem ser obtidos correlacionando com a classe textural, tabela 07.

Tabela 7- Classificação textural e capacidade de água no solo (Fonte: Salter & Williams, 1967 / 1969).

ADAS textural class	Upper limit (field capacity) (% water W/W)	Lower limit (permanent wilting point) (% water W/W)	Available water capacity (mm m <sup>-1</sup> )
Coarse sand	8	4	83
Sand	14	4	150
Fine sand	19	4	200
Very fine sand	20	4	225
Loamy coarse sand	13	7	108
Loamy sand	18	7	158
Loamy fine sand	22	7	217
Loamy very fine sand	25	7	217
Coarse sandy loam	19	9	125
Sandy loam	26	9	175
Fine sandy loam	28	9	192
Very fine sandy loam	28	9	217
Loam	30	13	175
Silty loam	34	10	200
Silt loam	39	16	192
Sandy clay loam	26	15	150
Clay loam	34	18	183
Silty clay loam	43	20	192
Sandy clay	29	19	142
Silty clay	47	25	183
Clay	42	25	175

Como a condutividade hidráulica trata-se de um fator medido em campo, os dados usados para a calibração foram retirados da tabela adaptada por Dent & Young (1981), que relaciona a textura e a estrutura do solo com a condutividade hidráulica (tabela 08).

Tabela 8- Classificação textural e condutividade hidráulica (Fonte: Dent & Young, 1981).

Texture	Structure	Indicative hydraulic conductivity, K	
		(cm h <sup>-1</sup> )	(m day <sup>-1</sup> )
Coarse sand, gravel	Single grain	> 50	> 12
Medium sand	Single grain	25 - 50	6 - 12
Loamy sand, fine sand	Medium crumb, single grain	12 - 25	3 - 6
Fine sandy loam, sandy loam	Coarse, subangular blocky and granular, fine crumb	6 - 12	1.5 - 3
Light clay loam, silt, silt loam, very fine sandy loam, loam	Medium prismatic and subangular blocky	2 - 6	0.5 - 1.5
Clay, silty clay, sandy clay, silty clay loam, clay loam, silt loam, silt, sandy clay loam	Fine and medium prismatic, angular blocky, platy	0.5 - 2	0.1 - 0.5
Clay, clay loam, silty clay, sandy clay loam	Very fine or fine prismatic, angular blocky, platy	0.25 - 0.5	0.05 - 0.1
Clay, heavy clay	Massive, very fine or columnar	< 0.25	< 0.05

#### 4.3.7.3.5 Erodibilidade do solo

Para a estimativa de erodibilidade ( $K_{USLE}$ ) que expressa a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica, Williams (1995) propôs na equação 17 alternativa:

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand}$$

Onde:

$f_{csand}$  – fração de solos com alto conteúdo de areia grossa (equação 18);

$f_{cl-si}$  – fração de solos com alta razão de silte e argila (equação 19);

$f_{orgc}$  – fração de solos com alto conteúdo de carbono orgânico (equação 20);

$f_{hisand}$  – fração de solos com conteúdo extremamente alto de areia (equação 21);

Equações para o cálculo dos fatores de erodibilidade:

$$f_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 \cdot \exp \left[ -0.256 \cdot m_s \cdot \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (18)$$

Formatado: Inglês (EUA)

Código de campo alterado

Formatado: Inglês (EUA)

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (19)$$

Código de campo alterado  
Formatado: Inglês (EUA)

$$f_{orgc} = \left( 1 - \frac{0.25 \cdot orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 \cdot orgC]} \right) \quad (20)$$

Formatado: Inglês (EUA)  
Código de campo alterado

$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0.7 \cdot \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[ -5.51 + 22.9 \cdot \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right] \quad (21)$$

Código de campo alterado  
Formatado: Inglês (EUA)

Onde  $m_s$  é a fração de areia (diâmetros 0.05 – 2.00 mm),  $m_{silt}$  é a fração de silte (diâmetros 0.002 – 0.05 mm),  $m_c$  é a fração de argila (< 0.002 mm), e  $orgC$  é o percentual de carbono orgânico na camada.

Segundo Wischmeier e Smith (1978) um solo diminui sua tendência a erodibilidade quanto maior sua fração de silte e menor a de areia e argila.

#### 4.3.7.3.6 Parâmetros condizentes a vegetação, albedo e conteúdo orgânico.

Para a profundidade máxima da raiz não há dados de campo, assim o programa assume que as raízes podem se desenvolver por toda a profundidade da camada do solo.

O percentual de carbono orgânico no solo pode ser estimado quando na inexistência do dado, através do percentual de matéria orgânica (MO) do solo, e é calculado através da equação 22.

$$orgC = \frac{MO}{1.72} \quad (22)$$

Formatado: Português (Brasil)

Código de campo alterado

Formatado: Português (Brasil)

O albedo é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua 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. Em regiões com uma destacada época seca sazonal, o albedo de

pastagens também pode aumentar, atingindo valores mais próximos do solo nu (Collischonn, 2001).

Como não foi estimado o albedo (SOL\_ALB), utilizou-se o valor de albedo diário de acordo com Miranda et al. (1996), obtendo-se uma média entre o albedo para áreas de cerrado em época úmida e de estiagem, assim o valor utilizado ficou em 0,155.

Após todos os parâmetros obtidos digita-se direto no banco de dados do SWAT, cada classe de solo e para cada horizonte, como mostra a Figura 13.

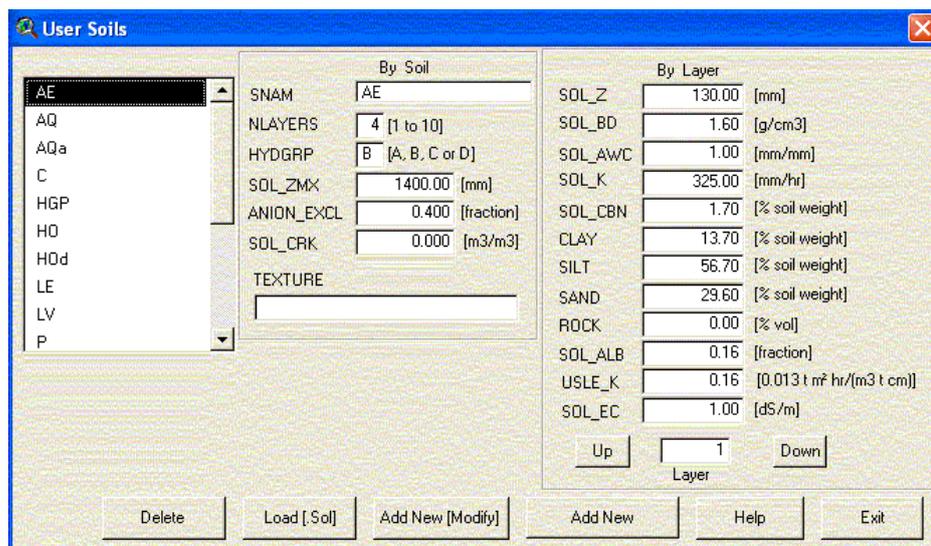


Figura 13- Janela onde são inseridos os dados de solo requeridos pelo modelo, para cada classe de solo e em cada horizonte.

O modelo associa os dados à categoria de solo especificada no PI pedológico e cria o arquivo de entrada.

#### 4.3.8 Calibração e validação do modelo

A calibração do modelo SWAT se dá em quatro etapas: balanço da água e escoamento, sedimento, nutrientes e pesticidas. Esta é uma etapa importante pois os parâmetros do modelo são ajustados. Neste estudo apenas os dados de vazão líquida foram calibrados para bacia hidrográfica do rio Cuiabá.

Para a calibração foram utilizados os dados de 5 postos fluviométricos (*Fonte: SIBAC, 2000*), com a mesma série temporal entre eles de 05/1994 à 01/1998, esta série temporal foi escolhida por não haver falhas e por localizarem-se dentro da bacia hidrográfica do rio Cuiabá. O mapa de uso e ocupação do solo utilizado foi o mesmo, apenas houve a reclassificação da classe 'água' para a 'cerrado', por está ser a vegetação de maior representatividade na bacia.

Para a calibração de um modelo deve-se separar uma série temporal de dados medidos em dois períodos, um para calibração e outro para validação do modelo, pois o modelo é rodado com os mesmos parâmetros de entrada para o período de validação e assim um ajuste é determinado (Arnold et al., 2000).

A escolha das variáveis na calibração seguiu as orientações contidas no manual do modelo SWAT, e foram: o ALPHA\_BF, o GWQMN, o GW\_REVAP, o REVAPMN, o SLSOIL, o LAT\_TIME, e o CN.

Onde:

GWQMN: profundidade de água subterrânea requerida para que o retorno do fluxo ocorra (mm H<sub>2</sub>O);

ALPHA\_BF: fator do fluxo de base, ou constante de recessão. Define-se como a taxa na qual a água subterrânea retorna ao rio (dias);

REVAPMN: profundidade de água no aquífero para que ocorra percolação (mm H<sub>2</sub>O);

GW\_REVAP: variável que controla a quantidade de água que se move do aquífero para a zona de raízes.

CN: Curva de número (os valores de CN que é diferente para cada classe de uso e ocupação do solo, foram alterados apenas alterando o grupo de saturação hidrológica no banco de dados de solo inseridos no modelo, e desta forma alterando o CN automaticamente).

SLSOIL: Comprimento da rampa lateral para o fluxo de sub-superfície (m);

LAT\_TIME: Tempo de retorno do fluxo lateral (dias).

No período de calibração, as variáveis citadas foram alteradas até o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe atingir o valor para um ajuste aceitável.

O Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe - COE (equação 23), pode variar desde menos infinito até 1, sendo 1 o indicativo de simulação perfeita do evento simulado.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \bar{E})^2} \quad (23)$$

Onde: Em é o evento observado; Es é o evento simulado;  $\bar{E}$  é a média do evento observado; e n, é o número de eventos.

O desvio do evento analisado (equação 24), e quanto menor o Dv, mais perfeito é o ajuste do evento simulado em relação ao observado. Quanto mais próximo de 0,00% o Dv, mais perfeita é a simulação.

$$Dv [\%] = \frac{E - E^*}{E} \cdot 100 \quad (24)$$

Onde: E é o evento observado para o período analisado e E\* é o evento simulado para o mesmo período.

Métodos gráficos também foram utilizados na validação do modelo, como hidrógrafas, retas de regressão, valores de R<sup>2</sup>, e o Teste t' - Student na comparação entre as médias.

O teste t é o teste mais usado para comparar duas médias (Vieira, 1999), basta estabelecer o nível de significância, que para este estudo utilizou o nível de 0,05 ou 5%, ou seja, têm-se 99,5% de chance que a hipótese esteja correta, ou seja, de aceitar que a hipótese de que as médias sejam iguais (hipótese H<sub>0</sub>) ou de rejeitar que as médias das amostras sejam diferentes (hipótese H<sub>1</sub>).

O valor de t é dado pela equação 25, para tal necessita-se da média das amostras ( $\bar{X}$ ), do grau de liberdade (n) da amostra, da variância de cada grupo (S<sup>2</sup>) e da variância ponderada (S<sup>2</sup><sub>p</sub>), que é dada pela equação 26:

$$t' = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (25)$$

O valor de t' está associado a (n<sub>1</sub> + n<sub>2</sub> - 2) graus de liberdade.

Formatado: Português (Brasil)

Código de campo alterado

Formatado: Português (Brasil)

Formatado: Português (Brasil)

Código de campo alterado

Formatado: Português (Brasil)

A variância ponderada é dada:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (26)$$

#### 4.3.9 Simulação de cenários

O SWAT é capaz descrever uma série de eventos, como o movimento e a quantidade de pesticidas, sedimento, nutrientes, e inúmeros fatores que fazem parte ou que interferem no ciclo hidrológico.

Com o objetivo de testar a aplicabilidade do modelo na quantificação do fluxo de água na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, e o quanto que as alterações no uso e ocupação do solo na bacia interferem neste parâmetro, três cenários foram definidos:

- i. Como cenário inicial considerou-se o mapa de uso e ocupação do solo atual, mas no local onde há no mapa a barragem do Manso adiciona-se um ponto indicando a presença do reservatório de água, através de uma ferramenta do Basins.
- ii. No segundo cenário, enfoca-se alterações no uso e ocupação do solo quanto ao efeito das ações antrópicas sob a vazão da Bacia do Rio Cuiabá, para isso considera-se toda a bacia com 100% de vegetação, guardando apenas as proporções entre os tipos cerrado e floresta.

A vazão líquida resultante do cenário **i** será comparada com os valores observados de vazão líquida para a série temporal posterior ao término de construção da barragem entre 2000-2003, utilizando-se de ferramentas estatísticas que predizem a eficiência do modelo.

O cenário **ii** como se trata de uma alternativa não real, o evento resultante da simulação será apenas descrito, pois não a dados medidos para a validação.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Através do processo de simulação da vazão de água na bacia, foi possível, então, chegar aos valores finais de vazão médias esperadas para a Bacia do Rio Cuiabá sob os diferentes cenários. Esse procedimento consistiu na calibração e validação do processo de modelagem de vazão de água adotado neste trabalho com base nos dados de vazão disponíveis em cinco postos fluviométricos.

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos, conforme metodologia apresentada no Capítulo 5, os resultados obtidos no presente estudo, que contemplam o modelo numérico do terreno, o mapa pedológico da bacia, as sub-divisões da bacia gerada pelo modelo SWAT, e as vazões simuladas sob diferentes cenários.

### **5.1 DADOS DE ENTRADA**

#### **5.1.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT)**

O modelo numérico de terreno (Figura 14) gerado para a Bacia do Rio Cuiabá, com altitudes variando de 131,45 m na foz do rio Cuiabá no município de Rosário Oeste, até 880,49 m na Chapada dos Guimarães, com uma elevação média de 345,89 m na bacia.

Observa-se que grande parte da bacia hidrográfica do rio Cuiabá é levemente ondulada, como o planalto dos Guimarães e o aplanamento da baixada Cuiabana. Um relevo mais acentuado é encontrado na região das escarpas no município da Chapada dos Guimarães e na província serrana no norte e oeste da bacia (Libos, 2002). Assim, o rio Cuiabá funciona parte como um rio de planalto e parte como um rio de planície.

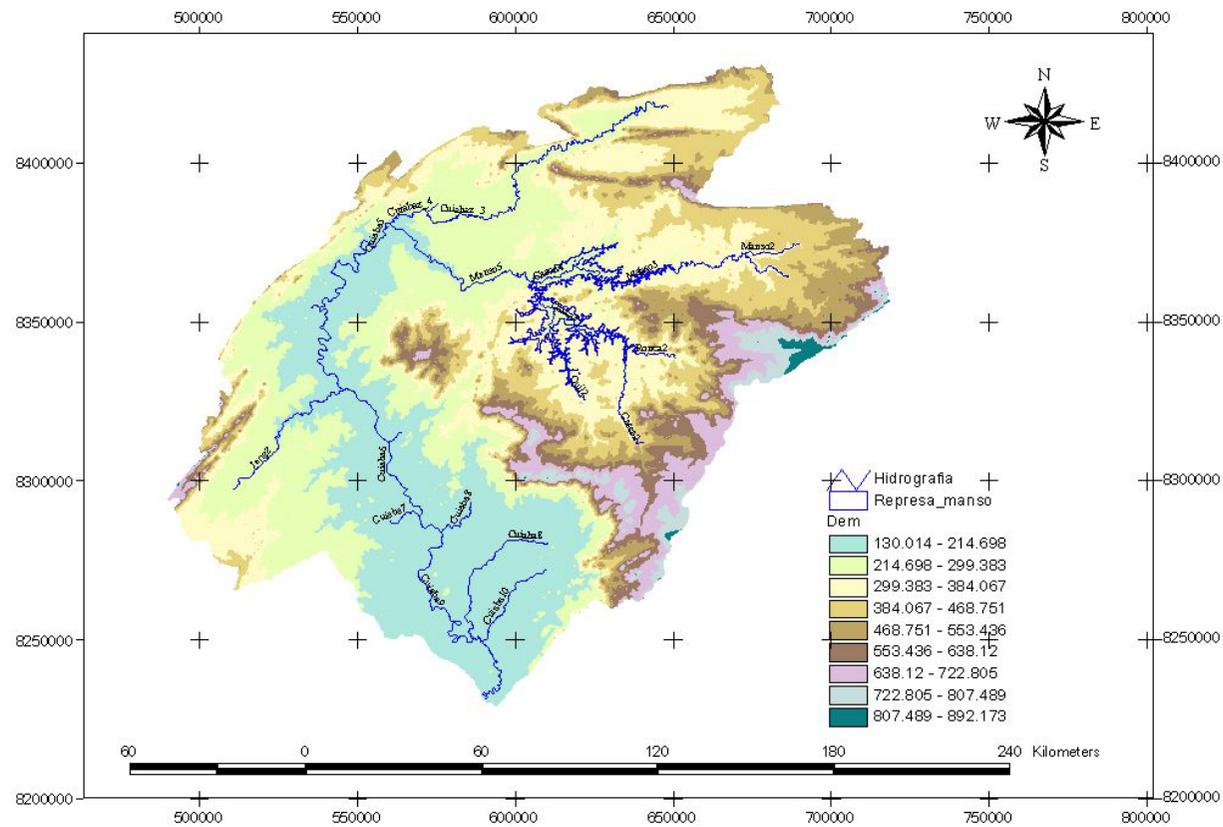


Figura 14- Modelo numérico de terreno (MNT) com as cotas altimétricas em metros, hidrografia principal da bacia do Rio Cuiabá e a demarcação dos limites da APM do Manso (Fonte: Libos, 2002).

### 5.1.2 Sub-divisões da Bacia do Rio Cuiabá

Na aplicação do Modelo SWAT à bacia hidrográfica do Rio Cuiabá foi subdividida em 34 sub-bacias. A Tabela 9 mostra as suas respectivas áreas e elevações médias. O critério para a divisão das sub-bacias foi os pontos de confluência do rio gerados pelo modelo a partir do MNT e os pontos de coletas de dados de vazão do projeto SIBAC, que foram adicionados manualmente (Figura 15).

Tabela 9- Sub-bacias geradas pelo SWAT, com área em hectares e elevação média.

Sub-bacias	Área (ha)	Elevação média (m)
1	58959,0016	260,32
2	360737,9968	349,19
3	12793,5000	245,42
4	147816,0000	238,60
5	83506,5024	444,32
6	88877,2480	503,20
7	62140,4992	359,34
8	179027,9936	307,52
9	18585,0000	255,74
10	15079,5008	333,85
11	84627,0016	229,12
12	47754,0000	189,77
13	54202,5024	271,30
14	164925,0048	403,23
15	128709,0048	484,43
16	141234,7520	656,59
17	65852,9984	164,23
18	167654,2464	237,67
19	141025,4976	225,70
20	59001,7472	321,45
21	102188,2496	161,14
22	73588,4992	274,67
23	71129,2480	191,04
24	3325,5000	160,29
25	177072,7552	167,30
26	106501,4976	169,02
27	2272,5000	137,06
28	118152,0000	250,35
29	24358,4992	172,30
30	4927,5000	156,46
31	501,7500	159,12
32	79733,2480	193,67
33	681,7500	229,41
34	447,7500	212,19

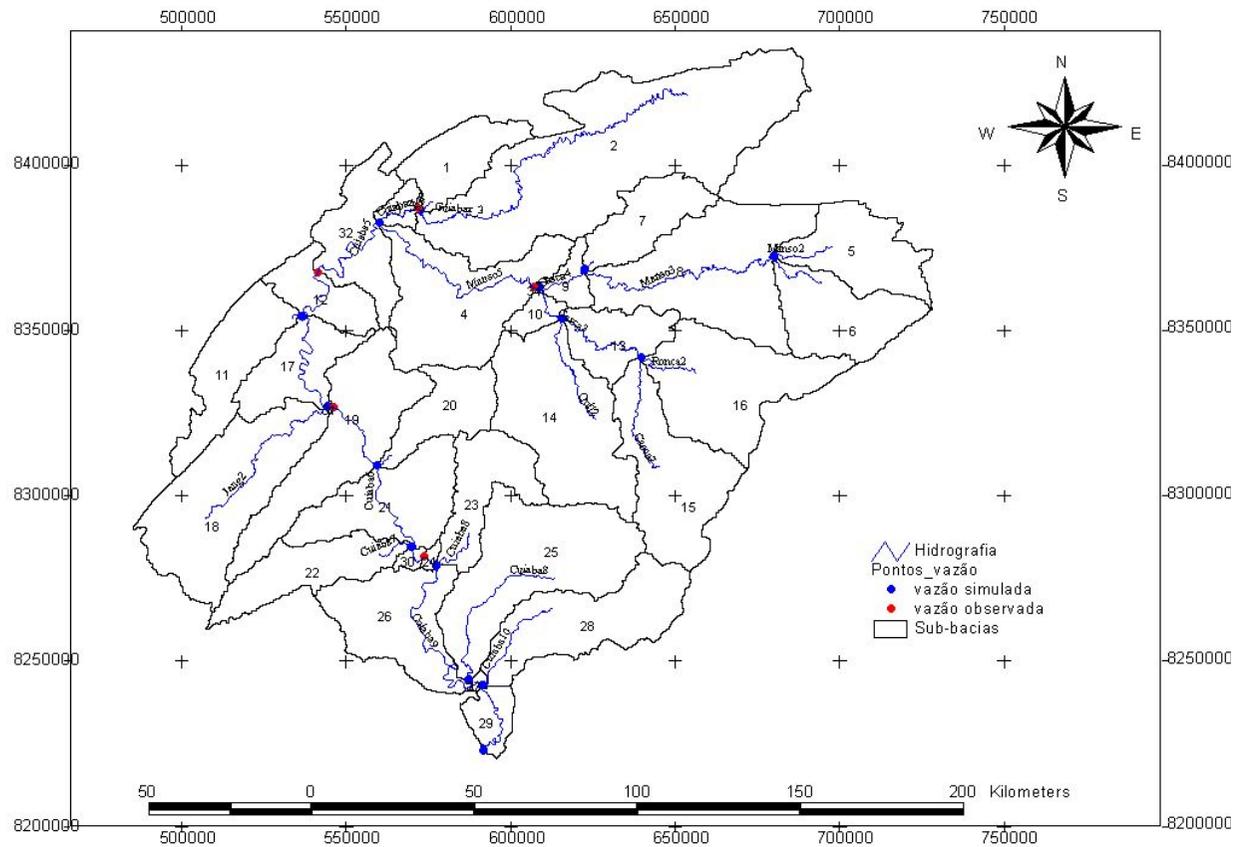


Figura 15- Sub-divisões da Bacia do Rio Cuiabá, com os pontos de confluência gerados pelo modelo, e os pontos adicionados indicando o local de coleta de dados fluviométricos do projeto SIBAC.

Como resultado da sub-divisão da bacia hidrográfica do rio Cuiabá na tabela 09 estão as 34 sub-bacias com sua respectiva latitude, elevação e área, totalizando 2.847.390,74 hectares ou 28.473,91 km<sup>2</sup>.

### 5.1.3 Solos da Bacia do Rio Cuiabá

Depois de realizada a união das cartas pedológicas (Figura 16), observou-se 21 classes de solo em toda a bacia (Tabela 10). Essas classes de solo foram redefinidas, utilizando-se de uma ferramenta contida no programa Basins 3.0, das classes existentes houve uma simplificação e as características distróficas, eutróficas e álicas do solo foram desconsiderados, como pode ser visto na tabela 12.

Tabela 10- Classes de solo originais e a área (%) ocupada na bacia.

Símbolo	Descrição	Área (%)	Área (Ha)	Área (km <sup>2</sup> )
AQa	Areia quartzosa álica	12,12	350451,946	3504,519
AQd	Areia quartzosa distrófica	1,18	34226,243	342,262
Ca	Cambissolo álico	25,39	734402,177	7344,022
Cd	Cambissolo distrófico	3,67	106159,767	1061,598
HGPd	Glei pouco húmico distrófico	0,75	21571,455	215,715
HGPe	Glei pouco húmico eutrófico	0,04	1220,193	12,202
HOd	Solo orgânico distrófico álico	0,35	10138,681	101,387
LEd	Latossolo vermelho-escuro distrófico	3,87	111852,842	1118,528
LVd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	13,58	392853,651	3928,537
PTa	Plintossolo álico	0,09	2538,341	25,383
PVe	Podzólico vermelho-amarelo eutrófico	0,48	13879,560	138,796
PVd	Podzólico vermelho-amarelo distrófico	1,13	32762,099	327,621
Rd	Solo litólico distrófico	5,45	157687,682	1576,877
SCCa	Solo concrecionário câmbico álico	13,63	394100,926	3941,009
SCPd	Solo concrecionário podzólico distrófico	3,76	108729,732	1087,297
Ae	Solo aluvial eutrófico	0,63	18274,020	182,740
PLe	Planossolo eutrófico	0,09	2692,840	26,928
PTd	Plintossolo distrófico	2,60	75272,645	752,726
SCLd	Solo concrecionário latossólico distrófico	8,14	235451,638	2354,516
Ra	Solo litólico álico	3,04	88005,454	880,055
<b>TOTAL</b>		<b>100%</b>	<b>2.892.271,89</b>	<b>28.922,719</b>

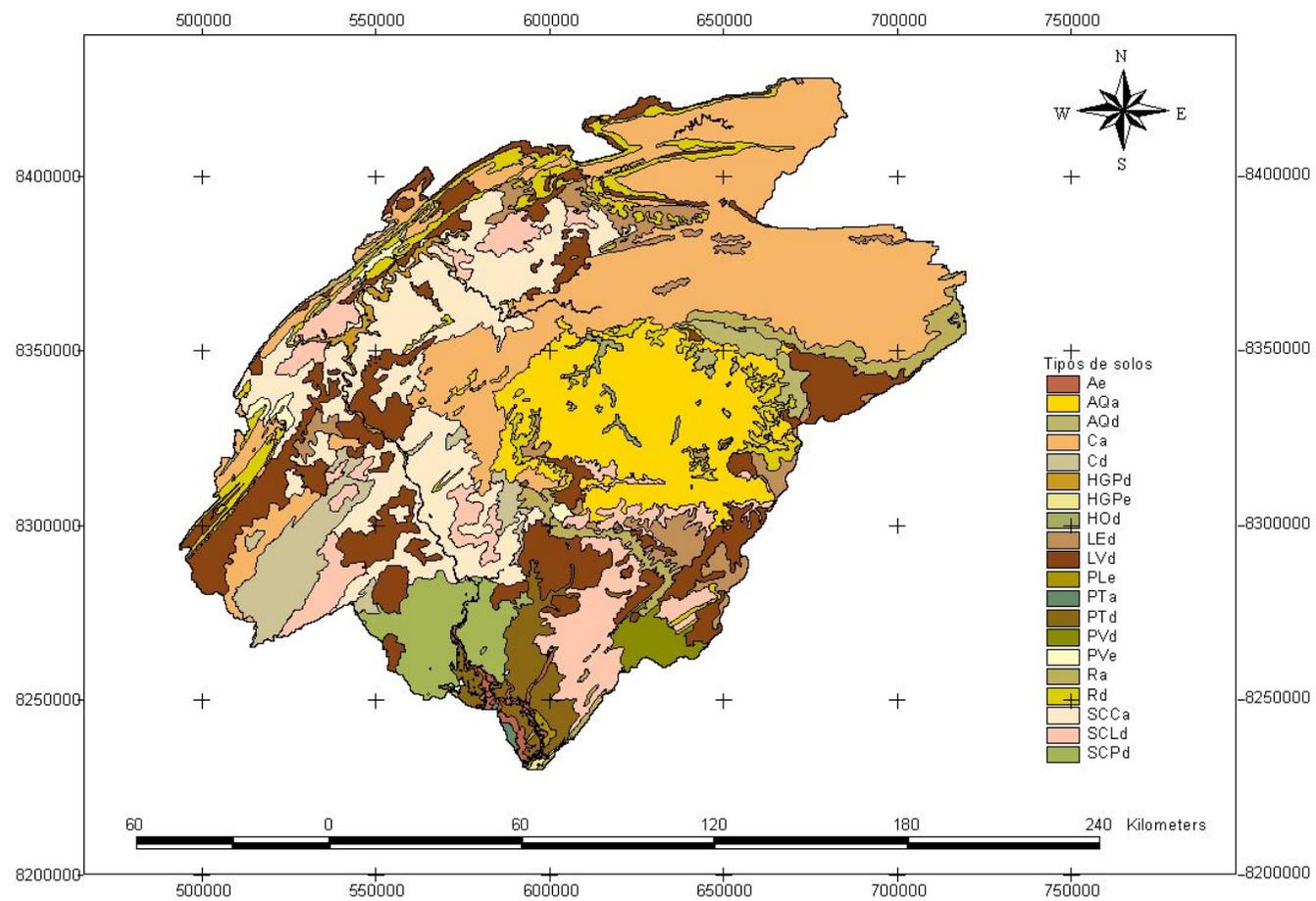


Figura 16 – Mapa pedológico da Bacia do Rio Cuiabá.

Foi gerado pelo programa um novo mapa pedológico, com as classes de solos redefinidas, com o intuito de facilitar no levantamento dos dados necessários para a inclusão no Basins. Como resultado da redefinição das classes de solo, foi gerado o mapa pedológico contendo as 12 classes (Figura 17), que serão interpoladas com o banco de dados de solo inserido anteriormente no programa.

Os valores das características físicas de todas as classes de solo redefinidas e para cada horizonte, estão contidas na tabela 12. Na tabela 11 observa-se as 12 classes de solo, com sua descrição, e área ocupada na bacia em hectares, km<sup>2</sup> e %.

Tabela 11- Classes de solo redefinidas e a área (%) ocupada na bacia.

<b>Solo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>
AQ	Areia quartzosa	13,30021	384678,2	3846,782
C	Cambisol	29,06234	840561,9	8405,619
HGP	Glei pouco húmico	0,788019	22791,65	227,9165
HO	Solo orgânico	0,350544	10138,68	101,3868
LE	Latossolo vermelho escuro	3,8673	111852,8	1118,528
LV	Latossolo vermelho amarelo	13,58287	392853,7	3928,537
PT	Plintossolo	2,690307	77810,99	778,1099
PV	Podzólico vermelho amarelo	1,61263	46641,66	466,4166
R	Solo litólico	8,494815	245693,1	2456,931
SC	Solo concrecionário	25,52603	738282,3	7382,823
Ae	Solo aluvial	0,631822	18274,02	182,7402
PL	Planossolo	0,093105	2692,84	26,9284
<b>Total</b>		<b>100 %</b>	<b>2.892.272,00</b>	<b>28.922,72</b>

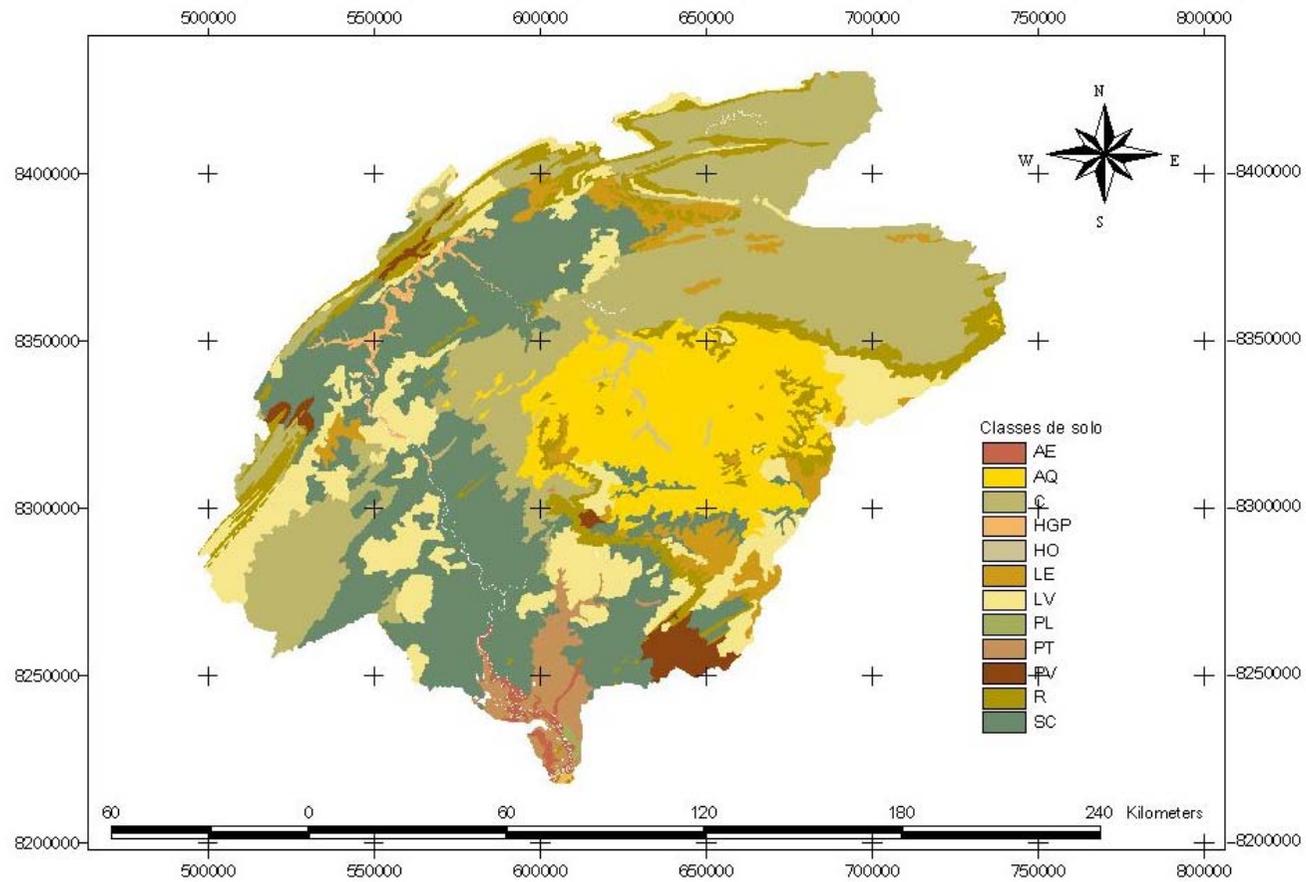


Figura 17 – Mapa pedológico da Bacia do Rio Cuiabá, após reclassificação das classes de solo.

Observa-se duas regiões bem distintas presentes na Bacia do Rio Cuiabá a condição de planalto e da baixada Cuiabana. Na região do planalto, os solos possuem melhores aptidões agrícolas, podendo ser encontradas grandes plantações de soja, de algodão, de milho, entre outras. Ocorrem poucas regiões com solo aberto. Por outro lado, na região da baixada Cuiabana, as plantações são vistas em áreas bem reduzidas em função de possuir um solo bastante empobrecido, e a predominância nessa região é de solo aberto e pasto (ANEEL, 2001).

Para o banco de dados de solo fez-se necessário adicionar as características físicas dos solos (tabela 12) da bacia exigidas pelo modelo SWAT, que são elas:

SNAM é a classificação do solo (nome dados a cada classe)

NLAYERS é o número layers de informação (números de horizontes)

HYDGRP é o grupo de mínima saturação hidráulica (A, B, C e D)

SOL\_ZMX é a profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm)

ANION\_EXCL é a fração de porosidade do solo (fração)

SOL\_Z é a profundidade de cada horizonte (mm)

SOL\_BD é a densidade do solo (g/cm

SOL\_AWC é a capacidade de água do solo (mm/mm)

SOL\_K é a condutividade hidráulica saturada (mm/hr)

SOL\_CBN é o conteúdo de carbono orgânico do solo (%peso solo)

CLAY é a porcentagem de argila no solo (%peso solo)

SILT é a porcentagem de silte no solo (%peso solo)

SAND é a porcentagem de areia no solo (%peso solo)

ROCK é a porcentagem de cascalho no solo (% volume)

SOL\_ALB é o albedo do solo (fração)

USLE\_K é a fator de erodibilidade do solo ( $0,013 \text{ t.m}^2.\text{hr/m}^3.\text{t.cm}$ )

Tabela 12- Características físicas das classes de solo após reclassificação.

Classes:	AE	AQ	HGP	PL	PT	R	SC	LE	LV	PV	C	HO
NLAYERS	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	3.00	5.00	4.00	3.00	5.00	4.00
HYDGRP	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
SOL_ZMX	1400.00	1500.00	1300.00	1500.00	730.00	800.00	1200.00	940.00	1500.00	1300.00	1100.00	800.00
ANION_EXCI	0.33	0.37	0.39	0.26	0.34	0.40	0.33	0.30	0.38	0.32	0.47	0.40
SOL_Z1	130.00	180.00	80.00	220.00	100.00	50.00	250.00	110.00	360.00	200.00	300.00	100.00
SOL_BD1	1.60	1.70	1.40	1.70	1.69	1.60	1.60	1.60	1.50	1.70	1.60	1.60
SOL_AWC1	1.40	0.00	1.00	0.30	0.18	0.15	0.80	0.00	0.30	0.40	0.15	0.18
SOL_K1	32.50	90.00	12.50	90.00	90.00	12.50	12.50	90.00	12.50	90.00	12.50	12.50
SOL_CBN1	1.70	0.50	2.80	0.70	1.31	0.40	2.40	0.80	1.10	1.30	1.40	8.14
CLAY1	13.70	7.20	26.40	9.60	18.20	17.20	16.20	12.60	30.30	11.70	36.30	26.00
SILT1	56.70	14.90	71.50	39.40	27.60	29.40	32.10	9.40	16.00	18.10	18.00	31.00
SAND1	29.60	77.90	2.10	51.00	54.20	53.40	51.70	78.00	53.70	70.20	93.40	43.00
ROCK1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB1	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
USLE_K1	0.16	0.14	0.31	0.18	0.15	0.17	0.13	0.12	0.13	0.14	0.05	0.13
SOL_EC1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_Z2	530.00	340.00	450.00	530.00	270.00	300.00	530.00	290.00	760.00	550.00	600.00	300.00
SOL_BD2	1.60	1.60	1.50	1.70	1.51	1.60	1.70	1.50	1.70	1.70	1.40	1.70
SOL_AWC2	1.20	0.10	0.10	0.30	0.15	0.15	1.00	0.10	0.30	0.40	0.18	0.15
SOL_K2	12.50	90.00	5.00	40.00	12.50	12.50	12.50	90.00	12.50	90.00	12.50	12.50
SOL_CBN2	0.50	0.40	0.70	0.00	0.39	0.60	1.50	0.50	0.20	0.60	0.60	13.95
CLAY2	13.30	10.80	37.80	16.60	20.20	24.70	33.30	14.50	29.80	18.80	34.00	22.36
SILT2	46.00	8.60	56.30	40.10	27.80	25.60	33.30	5.60	14.30	17.20	35.70	26.42
SAND2	40.70	80.60	5.90	43.30	52.00	49.70	33.40	79.90	55.90	64.00	30.30	51.22
ROCK2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB2	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
USLE_K2	0.18	0.12	0.30	0.18	0.17	0.16	0.13	0.10	0.14	0.15	0.16	0.12
SOL_EC2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_Z3	960.00	670.00	750.00	1140.00	520.00	300.00	1200.00	670.00	1210.00	1300.00	800.00	500.00
SOL_BD3	1.50	1.60	1.60	1.90	1.40	1.60	1.80	1.70	1.70	1.70	1.40	1.70
SOL_AWC3	1.40	0.20	0.70	0.30	0.35	0.15	0.50	0.00	0.40	0.70	0.18	0.15
SOL_K3	12.50	90.00	40.00	40.00	12.50	12.50	90.00	90.00	12.50	12.50	12.50	12.50
SOL_CBN3	1.30	0.30	0.30	0.20	0.32	0.60	0.60	0.30	0.50	0.30	0.40	15.70
CLAY3	23.00	10.30	25.60	19.80	26.70	24.70	15.50	19.80	29.50	20.80	28.40	22.38
SILT3	68.10	15.60	62.40	41.50	27.00	25.60	24.60	9.40	13.80	18.30	37.70	21.36
SAND3	8.90	74.10	12.00	38.70	46.30	49.70	59.90	70.80	56.70	60.90	33.90	56.26
ROCK3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_ALB3	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00	0.15
USLE_K3	0.27	0.15	0.26	0.18	0.16	0.16	0.17	0.13	0.14	0.16	0.17	0.12
SOL_EC3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_Z4	1400.00	1500.00	1300.00	1500.00	730.00	800.00	0.00	940.00	1500.00	0.00	1100.00	800.00
SOL_BD4	1.50	1.60	1.70	1.90	1.52	1.30	0.00	1.40	1.60	0.00	1.80	1.50
SOL_AWC4	1.40	0.20	0.50	0.30	0.27	0.18	0.00	0.00	0.40	0.00	0.18	0.18
SOL_K4	12.50	90.00	12.50	40.00	12.50	12.50	0.00	12.50	12.50	0.00	40.00	12.50
SOL_CBN4	0.60	0.20	0.30	0.00	0.21	0.76	0.00	0.30	0.40	0.00	0.40	3.14
CLAY4	27.70	13.20	21.50	16.20	32.70	32.00	0.00	24.00	35.60	0.00	26.80	55.27
SILT4	67.40	15.20	57.30	35.70	29.90	35.00	0.00	11.10	15.90	0.00	43.70	24.56
SAND4	14.95	71.60	21.20	48.10	37.40	33.00	0.00	64.90	48.50	0.00	29.50	20.16
ROCK4	0.00	0.00	0.00	0.00	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	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15
USLE_K4	0.25	0.15	0.21	0.18	0.16	0.16	0.00	0.14	0.14	0.00	0.18	0.11
SOL_EC4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOL_Z5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1500.00	0.00	0.00	1170.00	0.00
SOL_BD5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	1.40	0.00
SOL_AWC5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.18	0.00
SOL_K5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	12.50	0.00
SOL_CBN5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.30	0.00
CLAY5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.80	0.00	0.00	27.00	0.00
SILT5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.80	0.00	0.00	39.30	0.00
SAND5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.40	0.00	0.00	33.70	0.00

#### 5.1.4 Uso e ocupação do solo

Na calibração considerou-se o mapa de uso e ocupação do solo de Libos (2002), re-classificando as classes 'água' na área da represa do APM Manso, e sombra, na classe 'cerrado' por ser esta a cobertura vegetal originalmente presente no local (Figura 18, Tabela 13). A substituição de uma classe por outra no mapa de uso e ocupação do solo, foi realizada diretamente no Basins utilizando uma ferramenta de reclassificação.

Após a reclassificação do mapa de uso e ocupação do solo, o SWAT foi buscar em seu banco de dados de acordo com as classes correspondentes, os índices de área foliar máximo, profundidade máxima das raízes da vegetação específica, altura máxima da cultura, energia para a conversão em biomassa, e temperaturas base e ótimas para o crescimento da planta (Machado, 2002).

Tabela 13- Área de uso e ocupação na bacia em porcentagem, hectares e km<sup>2</sup>, após re-codificação da classificação da represa e áreas ce sombra da Bacia do Rio Cuiabá.

<b>Uso do solo</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Floresta	8,13	235.141,70	2.351,41
Cerrado	59,64	1.724.951,00	17.249,50
Pastagem	20,32	587.709,64	5.877,09
Agricultura	2,85	82.429,74	824,29
Solo aberto	8,43	243.818,52	2.438,18
Municípios	0,63	18.221,31	182,21
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2.892.271,89</b>	<b>28.922,71</b>

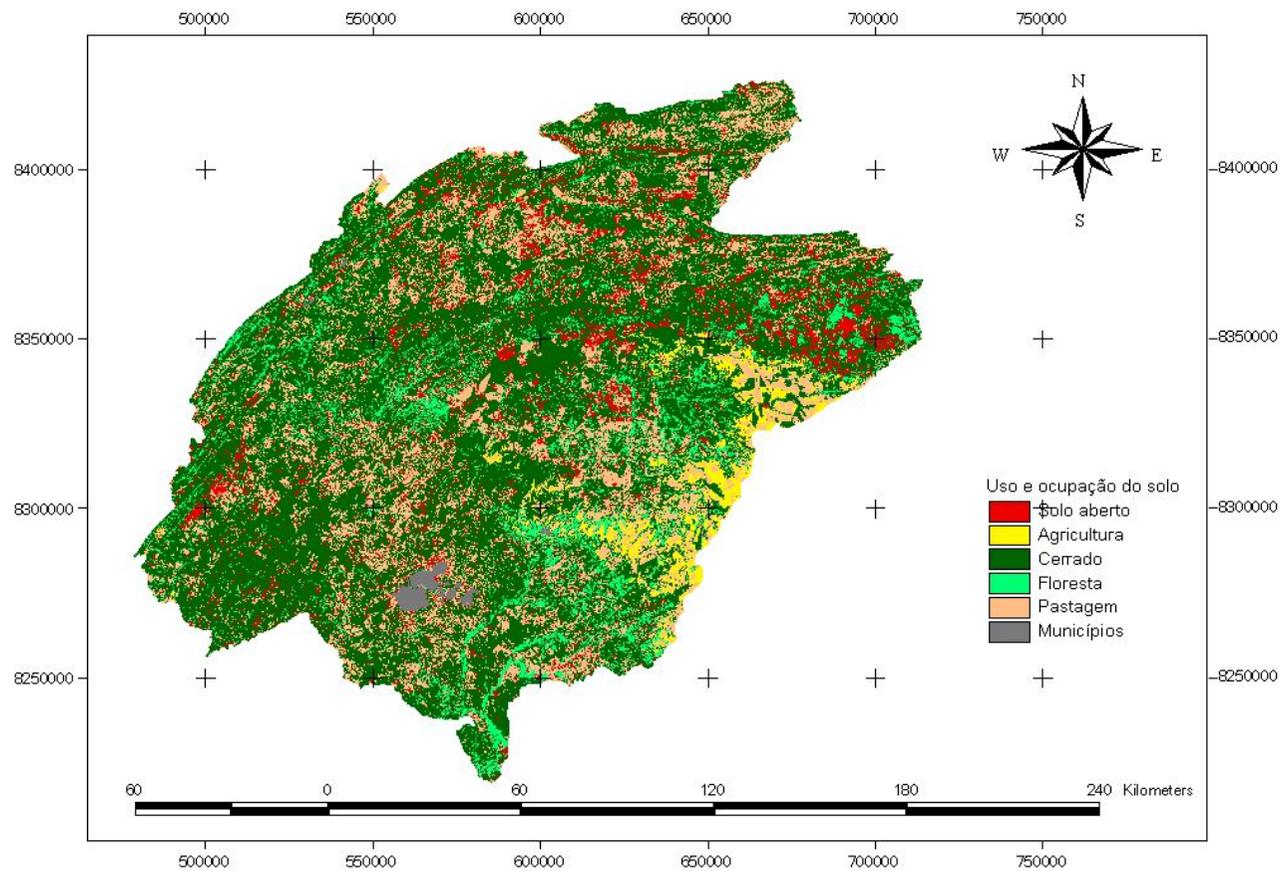


Figura 18 – Mapa de uso e ocupação do solo, com as classes redefinidas para a Bacia do Rio Cuiabá.

### 5.1.5 Características climáticas

#### 5.1.4.1 Dados pluviométricos

O SWAT atribui a cada sub-bacia a serie temporal diária (1994-1999) de uma das nove estações pluviométricas de acordo com a proximidade das coordenadas. A atribuição das estações para as 34 sub-bacias geradas pelo modelo pode ser vista na tabela 13.

Tabela 14 – Atribuição das estações pluviométricas às 34 sub-bacias.

<b>Sub-bacias</b>	<b>Estações pluviométricas</b>	<b>Código Oficial ANA</b>
1-4	Fazenda Quebo	1456004
5-10	Fazenda Estiva	1555008
11	Acorizal	1556005
12	Rosário Oeste	1456008
13-16	Fazenda Estiva	1555008
17	Acorizal	1556005
18	Fazenda Seco	1556006
19	Acorizal	1556005
20-21	Nossa Sra. da Guia	1556000
22	Nossa Sra. do Livramento	1556001
23-25	Cuiabá	1556002
26-29	Santo Ant. do Leverger	1250001
30	Cuiabá	1556002
31	Acorizal	1556005
32	Rosário Oeste	1456008
33	Fazenda Quebo	1456004
34	Fazenda Estiva	1555008

A distribuição espacial das estações pluviométricas na Bacia do Rio Cuiabá, as sub-divisões da Bacia do Rio Cuiabá, e a hidrografia gerada pelo programa Basins 3.0 podem ser vistas na Figura 18.

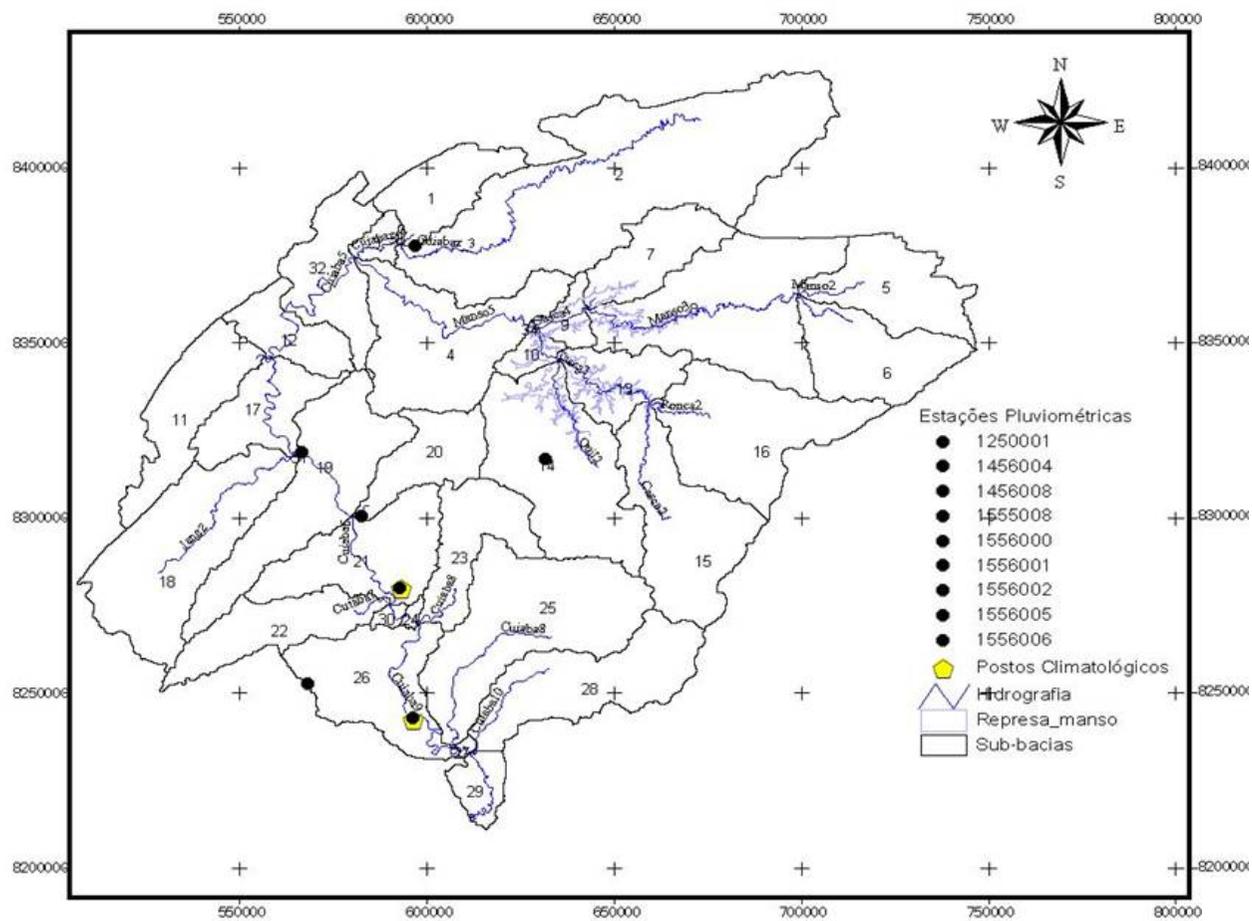


Figura 19- Localização das estações pluviométricas e climáticas nas sub-bacias do rio Cuiabá.

#### **5.1.4.2 Dados climáticos**

No caso dos parâmetros necessários para o banco de dados do gerador climático WXGEN, foram utilizados os dados das estações da UFMT em Santo Antonio do Leverger e a do INMET em Cuiabá (Fig. 18). A estação do INMET foi atribuída às sub-bacias 01 à 25 e de 30 à 34, os dados da estação da UFMT em Santo Antônio do Leverger foram atribuídos às sub-bacias da 26 à 29.

Como resultado dos cálculos realizados para a estimativa dos parâmetros de entrada no banco de dados do gerador climático WXGEN, a tabela 14 e 15 apresenta os resultados para a média de cada mês pra todos os anos da série temporal utilizada. Foram introduzidos no gerador climáticos os seguintes parâmetros:

PCPMM: Precipitação média (mm)

PCPSTD: Desvio da precipitação (mm)

PCPD: Número de dias de precipitação (dias)

RAINHHMX: Precipitação máxima de 0,5 horas (mm)

TMPMX: Temperatura máxima (°C)

TMPMN: Temperatura mínima (°C)

TMPSTDMX: Desvio da temperatura máxima (°C)

TMPSTDMN: Desvio da temperatura mínima (°C)

SOLARAV: Valor diário da energia solar ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )

WNDV: Velocidade do vento (m/s)

DEWPT: Temperatura no ponto de orvalho (°C)

PR\_W1: Probabilidade de dias de chuva seguidos de dias de seca (%)

PR\_W2: Probabilidade de dias de chuva seguidos de dias de chuva (%)

PCPSKW: Coeficiente de assimetria para a precipitação máxima

Tabela 15 – Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação climática de Santo Antônio do Leverger.

<b>Sto.Ant.do Leverger</b>	<b>Jan.</b>	<b>Fev.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>
TMPMX	33,10	32,80	32,90	33,00	31,70	31,20	32,20	34,30	34,60	34,90	33,80	33,00
TMPMN	23,64	23,36	23,60	22,42	19,92	17,66	16,13	17,89	19,50	22,93	23,09	23,85
TMPSTDMX	0,50	0,40	0,40	0,30	0,50	0,60	0,50	0,70	0,70	0,40	0,60	0,30
TMPSTDMN	0,16	0,39	0,13	0,15	0,40	0,36	0,40	0,47	2,07	0,21	0,30	0,10
PCPMM	9,20	6,29	6,13	3,25	1,38	1,19	0,18	0,38	2,27	3,41	6,08	6,92
PCPSTD	2,46	1,91	1,22	0,95	0,38	0,68	0,17	0,21	0,40	1,11	1,04	1,71
PCPSKW	1,20	2,40	1,09	1,17	0,22	1,04	3,61	0,53	-0,42	1,71	-0,40	0,33
PR_W1	0,55	0,47	0,47	0,21	0,10	0,08	0,02	0,06	0,15	0,21	0,31	0,46
PR_W2	0,64	0,66	0,56	0,45	0,33	0,27	0,05	0,21	0,17	0,40	0,51	0,55
PCPD	19,00	17,00	17,00	9,30	4,90	3,70	1,00	2,60	5,20	9,40	12,60	16,60
RAINHHMX	23,00	24,50	27,50	15,13	12,50	7,00	1,00	6,00	15,00	14,00	27,00	29,00
SOLARAV	41,33	40,52	38,21	34,26	30,25	28,18	29,19	32,79	36,99	39,96	41,20	41,44
DEWPT	23,98	24,02	24,25	23,19	21,17	19,30	17,16	18,01	20,01	22,30	23,17	23,99
WNDVAV	1,52	1,36	1,18	1,03	1,00	1,10	1,21	1,31	1,62	1,62	1,64	1,71

Tabela 16 – Parâmetros climáticos calculados a partir dos dados da estação climática do INMET em Cuiabá.

<b>Cuiabá</b>	<b>Jan.</b>	<b>Fev.</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>	<b>Agos.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dez.</b>
TMPMX	33,10	32,80	32,90	33,00	31,70	31,20	32,20	34,30	34,60	34,90	33,80	33,00
TMPMN	23,80	23,58	23,60	23,11	20,90	19,04	16,40	18,50	21,29	23,65	23,83	23,98
TMPSTDMX	0,19	0,16	0,22	0,23	0,30	0,30	0,36	0,39	0,58	0,26	0,29	0,22
TMPSTDMN	0,16	0,18	0,15	0,21	0,33	0,38	0,30	0,37	0,33	0,19	0,17	0,18
PCPMM	8,48	8,56	6,19	5,22	1,76	1,33	0,54	0,88	2,93	3,75	6,82	5,98
PCPSTD	18,42	16,85	16,00	12,00	6,00	3,28	1,71	3,14	5,71	10,00	12,14	17,42
PCPSKW	0,10	0,12	0,10	0,06	0,13	0,03	0,35	0,22	0,03	-0,05	-0,13	0,26
PR_W1	0,54	0,60	0,58	0,34	0,16	0,09	0,04	0,08	0,16	0,30	0,32	0,54
PR_W2	0,60	0,58	0,47	0,47	0,36	0,15	0,07	0,20	0,24	0,35	0,50	0,57
PCPD	18,42	16,85	16,00	12,00	6,00	3,28	1,71	3,14	5,71	10,00	12,14	17,42
RAINHHMX	22,50	21,00	18,00	22,50	11,60	12,00	2,25	4,15	15,00	17,50	25,00	19,10
SOLARAV	82,43	83,72	81,90	81,59	80,30	77,40	70,71	66,73	68,62	71,30	74,96	78,26
DEWPT	25,00	25,00	25,00	25,00	23,74	18,23	15,14	17,58	19,87	25,00	25,00	25,00
WNDVAV	17,53	16,51	14,77	14,47	14,53	14,35	16,30	15,00	16,94	17,62	17,78	18,20

Estas duas estações não caracterizam bem toda a bacia, pois estão localizadas em região de planície 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.

## 5.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

### 5.2.1 Ajustes

Após a primeira simulação das vazões mensais (1994-1999), sem calibração prévia, chegou-se a resultados de saída que não condiziam com a realidade. O modelo subestimou fortemente a vazão mínima e superestimou as vazões máximas, para tal fez-se necessário a calibração dos dados.

O modelo foi calibrado buscando um melhor ajuste do escoamento de base através do ajuste dos parâmetros que alteram a quantidade de água subterrânea que retorna ao rio. O ajuste dos parâmetros seguiu orientações contidas no manual do modelo SWAT 2000. Os parâmetros testados e as faixas de variação dos valores estão apresentados na tabela 16, bem como os valores ótimos dos parâmetros adotados.

Tabela 17 – Parâmetros ajustados do modelo SWAT.

Parâmetros	ALPHA_BF	GWQMN	GW_REVAP	REVAPMN	LAT_TIME	SLSOIL
Originais	0,048	0,00	0,02	1,00	0,00	0,00
Ajustados	1,00	5000,00	0,2	0,00	31	3,00

Onde:

GWQMN: profundidade de água subterrânea requerida para que o retorno do fluxo ocorra (mm H<sub>2</sub>O);

ALPHA\_BF: fator do fluxo de base, ou constante de recessão. Define-se como a taxa na qual a água subterrânea retorna ao rio (dias);

REVAPMN: profundidade de água no aquífero para que ocorra percolação (mm H<sub>2</sub>O);

GW\_REVAP: variável que controla a quantidade de água que se move do aquífero para a zona de raízes.

SLSOIL: Comprimento da rampa lateral para o fluxo de sub-superfície (m);

LAT\_TIME: Tempo de retorno do fluxo lateral (dias).

CN: Curva de número (os valores de CN que é diferente para cada classe de uso e ocupação do solo, foram alterados apenas modificando o grupo de saturação hidrológica de B para A,

no banco de dados de solo inseridos no modelo, e desta forma alterando o CN automaticamente).

De acordo com o manual de SWAT, para calibrar o modelo de forma a abaixar o valor da vazão líquida simulada, aumenta ao máximo permitido pelo programa, os valores dos parâmetros GWQMN, GW\_REVAP, e para o mínimo o REVAPMN, e para corrigir possíveis deslocamentos nas curvas de vazão observada e simulada, altera-se o fator ALPHA\_BF para o máximo. Os parâmetros SLSOIL e LAT\_TIME foram ajustados por serem fatores diretamente associados à área de drenagem, alterando sensivelmente os valores de vazão líquida, esses valores foram alterados gradativamente até atingirem um valor de COE (Coeficiente de Eficiência de Nash-Stucliffé) acima de 0,70.

Além da verificação visual do ajuste, julgou-se necessário também a avaliação deste ajuste em função da análise estatística. Para tal fez-se a comparação entre o evento simulado e o evento observado, no caso a vazão (m<sup>3</sup>/s), utilizando-se de gráficos de hidrógrafas e dispersão, teste  $t'$  – Student na comparação das médias, COE e Dv (%).

Com a comparação feita entre as coordenadas dos pontos plotados dos postos fluviométricos, após a sub-divisão da bacia, obteve-se a relação entre os pontos (tabela 17), a vazão mensal (m<sup>3</sup>/s) em cada posto para a série temporal de 05/1994 à 01/1998 consta na tabela 19, e a vazão mensal (m<sup>3</sup>/s) observada do posto Rm 5, que corresponde ao ponto 1 km a jusante da represa do Manso, consta na tabela 18. Esses dados observados, são de suma importância pois serão utilizados na validação dos cenários simulados pelo modelo SWAT.

Tabela 18 – Postos pluviométricos do projeto SIBAC e saídas das sub-bacias conforme parametrização no SWAT.

<b>Postos fluviométrico</b>	<b>Vazão simulada</b>
Rc 8	Sub-bacia 24
Rc 4	Sub-bacia 19
Rc 3-2	Sub-bacia 12
Rc 2-1	Sub-bacia 03
Rm 5	Sub-bacia 04

Tabela 19- Vazão mensal em m<sup>3</sup>/s, dos postos fluviométricos monitorados.

<b>Mês/ano</b>	<b>Rc2_1</b>	<b>Rc3-2</b>	<b>Rc4</b>	<b>Rc8</b>	<b>Rm5</b>
05/1994	34,37	183,79	199,00	218,30	112,44
06/1994	25,32	135,57	145,00	153,46	96,04
07/1994	21,71	115,49	122,00	126,46	86,10
08/1994	18,00	95,66	100,00	100,08	75,77
09/1994	17,32	88,69	92,20	92,23	73,69
10/1994	52,42	170,78	185,00	200,81	111,39
11/1994	109,09	213,37	233,00	258,08	130,41
12/1994	271,78	586,93	653,00	760,43	334,10
01/1995	420,37	1246,20	1396,00	1646,97	591,45
02/1995	503,76	1533,04	1719,00	2032,71	727,14
03/1995	180,87	592,44	660,00	767,84	293,02
04/1995	152,59	527,90	587,00	681,05	267,06
05/1995	172,82	488,24	542,00	627,72	243,22
06/1995	42,87	196,95	214,00	236,01	117,82
07/1995	29,86	146,33	157,00	167,94	97,92
08/1995	24,19	120,22	128,00	132,81	87,64
09/1995	21,59	110,63	117,00	119,92	85,34
10/1995	38,79	138,19	148,00	156,98	95,65
11/1995	78,46	236,96	259,00	289,80	127,30
12/1995	118,12	448,32	497,00	574,03	228,06
01/1996	148,05	571,58	636,00	739,78	268,00
02/1996	184,96	562,50	626,00	727,57	261,19
03/1996	290,46	858,08	959,00	1125,06	352,61
04/1996	119,32	393,93	436,00	500,89	171,73
05/1996	46,06	227,61	249,00	277,23	116,97
06/1996	27,70	153,32	165,00	177,34	89,17
07/1996	22,45	120,40	128,00	133,07	84,19
08/1996	19,36	106,61	112,00	114,52	82,27
09/1996	21,41	102,91	108,00	109,54	81,01
10/1996	27,01	125,47	134,00	139,88	95,52
11/1996	88,43	297,23	327,00	370,86	175,85
12/1996	89,76	294,92	325,00	367,75	162,48
01/1997	345,37	982,79	1099,00	1292,75	611,72
02/1997	286,95	1021,17	1142,00	1344,36	535,57
03/1997	140,61	541,43	602,00	699,24	293,98
04/1997	183,99	511,48	568,00	658,96	231,69
05/1997	76,25	266,24	292,00	329,18	139,39
06/1997	41,66	186,33	202,00	221,72	113,73
07/1997	25,77	130,56	139,00	146,73	94,71
08/1997	21,01	110,47	117,00	119,71	85,79
09/1997	23,30	109,13	115,00	117,91	84,86
10/1997	27,98	129,11	138,00	144,78	95,89

11/1997	53,63	190,67	207,00	227,56	128,97
12/1997	152,61	388,70	430,00	493,86	205,32
01/1998	122,48	391,05	402,00	434,03	254,17

Nas figuras 20, 21, 22, 23 e 24 estão plotadas a vazão líquida medida nas 5 estações fluviométricas, e a vazão líquida simulada pelo modelo SWAT, curvas ajustadas e sem ajustes. Pode-se observar que há uma diminuição na super-estimação dos valores máximos de vazão, e os mínimos que chegavam a zero obtiveram uma melhora mínima, mas que não pode ser notada no gráfico.

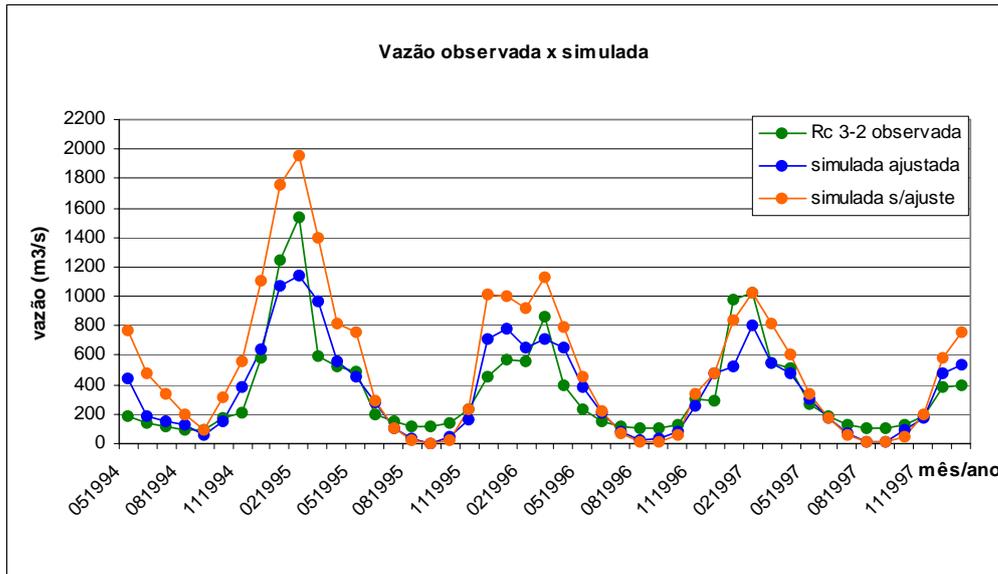


Figura 20- Dados plotados de vazão observada da estação RC 3-2, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes e os ajustados.

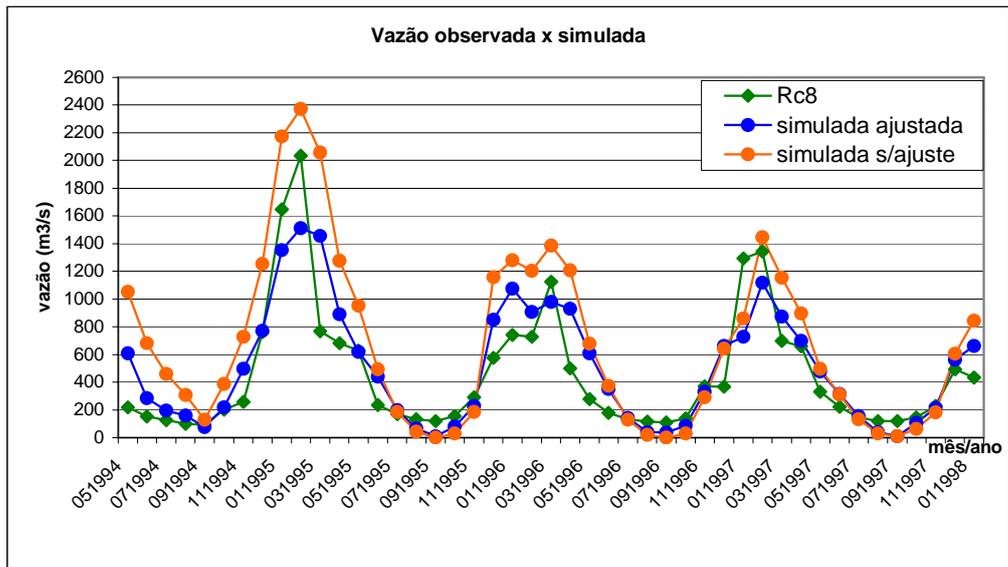


Figura 21- Dados plotados de vazão observada da estação RC 8, e vazão simulada sub-bacia 24 com os valores sem ajustes e os ajustados.

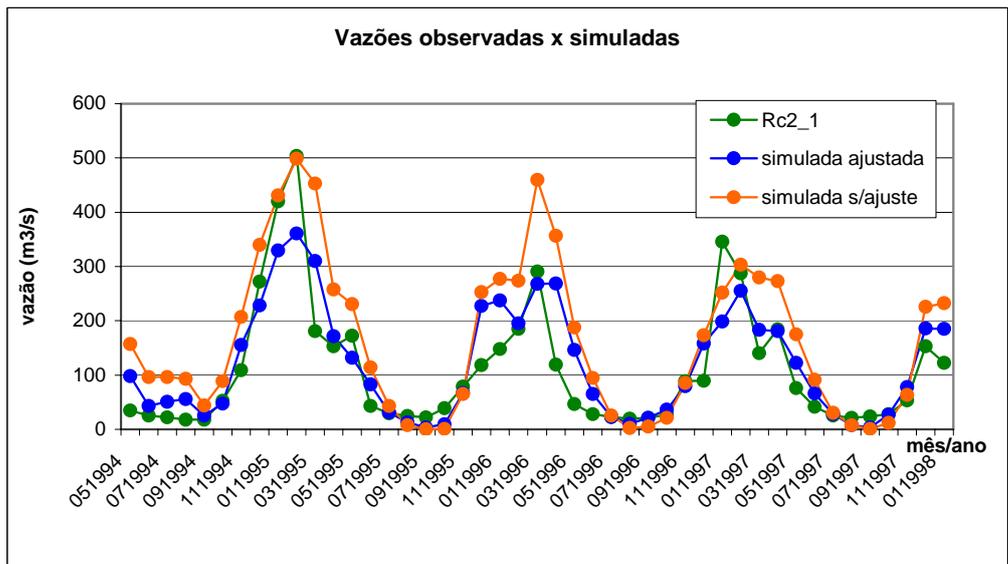


Figura 22- Dados plotados de vazão observada da estação RC 2-1, e vazão simulada sub-bacia 3 com os valores sem ajustes e os ajustados.

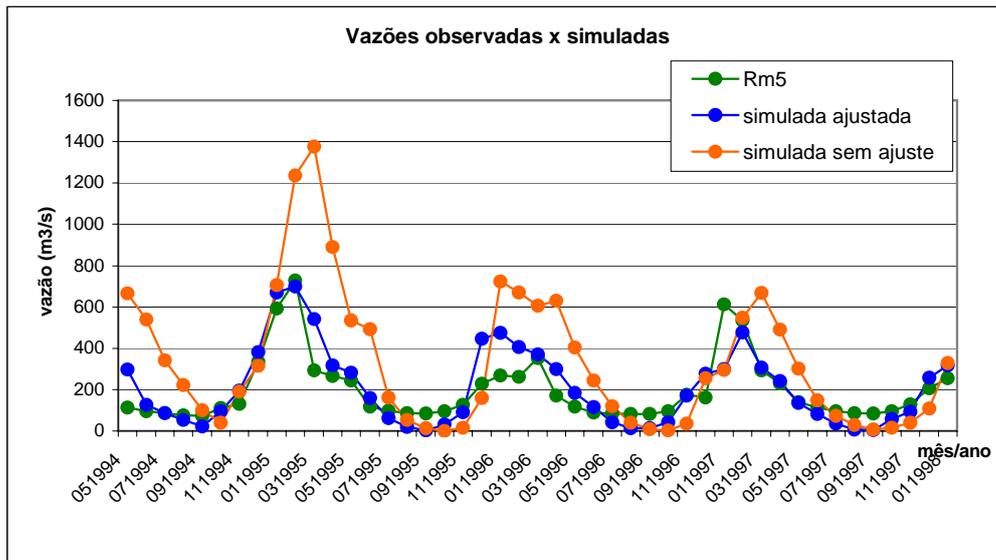


Figura 23- Dados plotados de vazão observada da estação Rm 5, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes e os ajustados.

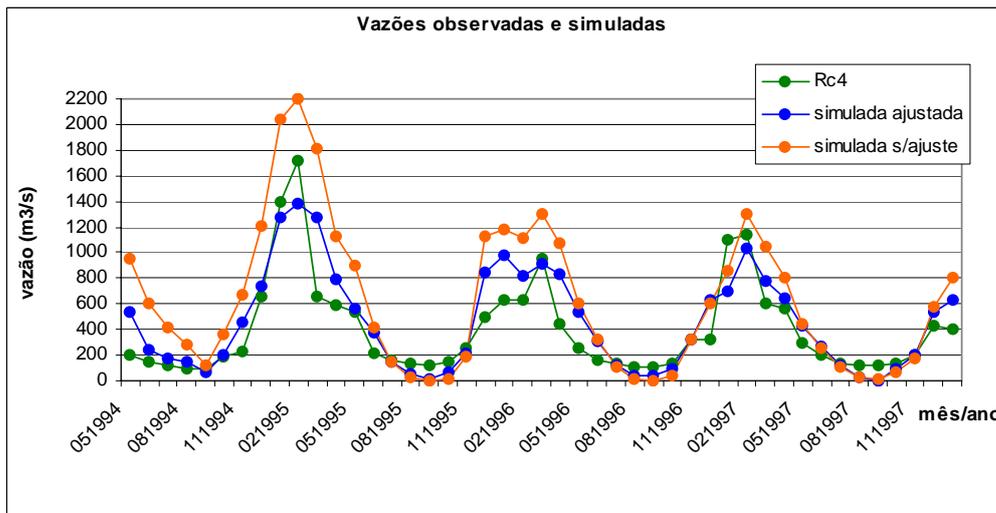


Figura 24- Dados plotados de vazão observada da estação RC 4, e vazão simulada sub-bacia 19 com os valores sem ajuste e os ajustados.

Na comparação entre os dados observados e os simulados, para determinar o desempenho do modelo, um dos critérios estatísticos mais importantes para avaliar o ajuste do modelo é o Coeficiente de Eficiência de Nash e Stuclyffe ou COE, e o Dv (%) que é o desvio do evento observado. Os valores para o COE e o Dv (%) na comparação entre o evento observado e o evento simulado, para a série temporal de 05/1994 à 01/1998 encontram-se na tabela 26 e 27 respectivamente.

Tabela 20 – Valores de COE para a vazão simulada antes e depois do ajuste.

<b>Postos SIBAC</b>	<b>Pontos simulados</b>	<b>Sem ajuste</b>	<b>Ajustados</b>
Rc 3-2	Sub-bacia 12	0,25964	0,777067
Rc 8	Sub-bacia 24	0,218664	0,725512
Rc 2-1	Sub-bacia 03	0,358946	0,732989
Rm 5	Sub-bacia 04	-2,63612	0,598168
Rc 4	Sub-bacia 19	-0,02962	0,741904

Observa-se que após o ajuste dos dados, o COE atinge valores que indicam um bom ajuste pra quase todos os pontos comparados, pois de acordo Krysanova et al. (1998) apud Machado (2002) um COE variando entre 0,70 a 0,80 demonstra que a calibração dos dados foi satisfatória. Apenas o ponto de vazão simulada em comparação com o ponto de vazão Rm 5 não atingiu um COE favorável, este ponto localiza-se a 1 Km a jusante da região onde o rio Casca encontra o rio Manso, e onde o rio comporta-se como um rio de planalto, correndo em direção a região de planície no rio Cuiabá.

Como resultado da estimativa do Dv (%), pode observar na tabela 22 que o desvio do evento observado teve um grande variação em comparação com os dados simulados não ajustados entre - 49,9243% à 170,3323%, já em relação aos dados ajustados a variação foi menor, entre -28,6997% à 3,4755%.

Tabela 21 – Valores de Dv (%) para a vazão simulada antes e depois do ajuste.

<b>Postos SIBAC</b>	<b>Pontos simulados</b>	<b>Sem ajuste</b>	<b>Ajustados</b>
Rc 3-2	Sub-bacia 12	-43,5519	-0,2647411
Rc 8	Sub-bacia 24	-48,3191	-11,067238
Rc 2-1	Sub-bacia 03	-50,0371	-11,143318
Rm 5	Sub-bacia 04	-68,709	-5,7640637
Rc 4	Sub-bacia 19	-55,8862	-16,031301

Comparou-se através de gráficos de regressão (em anexo) a vazão observada e a vazão simulada ajustada e sem ajustes (original), os valores de  $R^2$  obtidos estão na tabela 23.

Tabela 22 – Valores de  $R^2$  para a vazão simulada antes e depois do ajuste.

<b>Postos SIBAC</b>	<b>Pontos simulados</b>	<b>Ajustados</b>	<b>Sem ajuste</b>
Rc 3-2	Sub-bacia 12	0,7794	0,8111
Rc 8	Sub-bacia 24	0,7442	0,7489
Rc 2-1	Sub-bacia 03	0,7447	0,735
Rm 5	Sub-bacia 04	0,7156	0,3859
Rc 4	Sub-bacia 19	0,7648	0,7709

Os valores de  $R^2$  das vazões simuladas antes e depois do ajuste, em alguns pontos melhoraram e em outros pioraram, mas atingiram valores aceitáveis, indicando uma boa correlação entre os dados comparados, exceto o ponto Rm 5, que não atingiu um valor aceitável quando não ajustado.

Os valores de  $R^2$  para a vazão simulada ajustada e a observada variaram entre 0,7156 a 0,7794 apresentando um grau de correlação médio. E os valores de  $R^2$  para a vazão simulada sem ajuste e a observada, variou entre 0,3859 a 0,8111 ficando com uma média para as bacias analisadas de 0,6903 sendo que este valor representa uma correlação fraca, esse valor baixo ocorreu devido a sub-bacia 04/Rm 5, representado pelo ponto de medição na região de planalto, este apresentou um valor muito baixo, sem este a média ficaria em 0,76.

Assim para chegar a uma decisão na eficiência do ajuste do modelo, utilizou-se o Teste  $t'$  – Student, para comparar as médias das vazões observadas e as simuladas, com e sem ajuste, para todos os 5 pontos correlacionados.

Como resultado obteve-se o valor absoluto de  $t$  calculado menor que o tabelado na comparação das médias das vazões observadas com as vazões simuladas ajustadas, indicando que não há diferença significativa entre os dados comparados ao nível de significância de 0,05, e um índice de correlação de Pearson de 0,898, para todo o período simulado, indicando uma forte correlação dos dados. E na comparação das vazões observadas e as simuladas não ajustadas, obteve-se um índice de correlação de Pearson elevado, de 0,936, mas o valor absoluto de  $t$

calculado é maior que o tabelado, o que faz com que rejeita-se a hipótese (Ho) de que as médias são iguais.

A Bacia do Rio Cuiabá está inserida em uma região de clima tropical, a sazonalidade entre períodos secos e chuvosos é bem definida, interferindo sobremaneira na vazão do rio Cuiabá e de todos os seus tributários. Observa-se nos meses de maior intensidade de chuva (janeiro, fevereiro e março), a partir dos meses de abril e maio, quando as chuvas tornam-se mais esparsas, começa a ocorrer um decréscimo das vazões, que chegam a atingir níveis críticos, abaixo de 100 m<sup>3</sup>/s, nos meses de maior seca (agosto e setembro).

Para testar a influência dos meses de seca e dos meses de chuva sobre as vazões simuladas, fez-se todos os testes estatísticos, COE (tabela 24), Dv (tabela 25), R<sup>2</sup> (tabela 26), retas de regressão (anexo), médias de todo o período (tabela 27), Teste t' – Student (em anexo), comparando as vazões médias mensais simuladas em todos os pontos de comparação com os 5 postos fluviométricos, para todos os meses, entre 05/1994 e 01/1998, para a mesma série temporal mas desconsiderando os meses de chuva (dezembro à março) e os meses de seca (junho à agosto).

Tabela 23 – Valores de COE para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca.

<b>COE</b>	<b>Todos meses</b>	<b>s/meses chuva</b>	<b>s/meses seca</b>
Rc 3-2	0,2596	0,7408	0,7408
Rc 8	0,2187	0,6852	0,6852
Rc 2-1	0,3589	0,6888	0,6888
Rm 5	-2,6361	0,5495	0,5495
Rc 4	-0,0296	0,7014	0,7014

Para o COE, houve uma melhora nos valores chegando a índices aceitáveis (acima de 0,70), para o ponto Rc 3-2 e Rc 4 que corresponde respectivamente ao rio Cuiabá na passagem pelos municípios de Rosário Oeste e Acorizal. Nos outros pontos também houve uma grande melhora nos valores de COE, chegando próximo ao aceitável, que segundo Krysanova *et.al.* (1998) apud Machado (2002), pode variar entre 0,70 a 0,80. E ponto Rm 5 que como já foi citado anteriormente que corresponde ao rio Manso, na região de planalto, este não atingiu valores próximos ao aceitável.

Mas observa-se que o COE atingiu valores idênticos tanto para a o cálculo realizado sem os meses de chuva, quanto, aos sem os meses de seca.

Tabela 24 – Valores de Dv (%) para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca.

<b>Dv (%)</b>	<b>Todos meses</b>	<b>s/meses chuva</b>	<b>s/meses seca</b>
Rc 3-2	-0,2647411	-1,37081	-3,7762
Rc 8	-11,067238	-9,16401	-24,8091
Rc 2-1	-11,143318	-8,51712	-29,8230
Rm 5	-5,7640637	-10,5917	4,3743
Rc 4	-16,031301	-15,9491	-24,0565

Para os valores do desvio dos dados simulados em relação aos dados observados ou Dv (%), houve melhora dos valores para o cálculo sem os meses de chuva, para os pontos Rc 8, Rc 2-1 e Rc 4. O melhor valor de Dv (%), foi encontrado para o ponto Rc 3-2 entre todos os pontos comparados, e o melhor valor -0,2647% encontrado no cálculo de Dv para todos os meses. O ponto Rm 5 teve sua melhor estimativa no cálculo que desconsidera os meses de seca, atingindo valor aceitável, que segundo Machado (2002) é de  $\pm 5\%$ .

Tabela 25 – Valores de R<sup>2</sup> para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca.

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Todos meses</b>	<b>s/meses chuva</b>	<b>s/meses seca</b>
Rc 3-2	0,7794	0,742	0,742
Rc 8	0,7442	0,7024	0,7024
Rc 2-1	0,7447	0,6925	0,6925
Rm 5	0,7156	0,6699	0,6699
Rc 4	0,7648	0,7254	0,7254

Os valores de R<sup>2</sup> para todos os meses atingiram os melhores resultados, embora indiquem uma correlação média, valores acima de 0,80 seriam mais favoráveis, pois indicam uma correlação forte entre os dados comparados. Os valores calculados de R<sup>2</sup> para o período, desconsiderando os meses de chuva e os de seca, atingiram valores iguais de R<sup>2</sup>, mas que ficaram abaixo dos encontrados para todos os meses de simulação.

Tabela 26 – Valores da média para todo o período, para a vazão simulada em todos os meses, sem os meses de chuva e sem os meses de seca.

<b>Médias</b>	<b>Todos meses</b>	<b>s/meses seca</b>	<b>s/meses chuva</b>
---------------	--------------------	---------------------	----------------------

Rc 3-2	359,82	446,38	217,30
Rc 8	502,46	612,90	313,13
Rc 2-1	164,07	151,29	76,31
Rm 5	206,78	257,61	119,93
Rc 4	617,00	565,06	281,84

Na comparação das médias pra todo o período simulado de 05/1994 à 01/1998, utilizando-se do Teste  $t'$  – Student (em anexo), para concluir se há diferenças significativas entre as médias ao nível de 0,05 ou 5%, comparou-se às médias de todos os pontos, para todos os meses e para o período sem os meses de seca e sem os meses de chuva.

Como resultado obteve-se o valor absoluto de  $t$  calculado é menor que o tabelado, na comparação entre as médias de todos os meses e as sem os meses de chuva, assim aceita-se a hipótese ( $H_0$ ) em que as médias são iguais, ou seja, não a diferença ao nível de significância de 0,05. Já o valor absoluto de  $t$  calculado é maior que o tabelado, na comparação entre as médias de todos os meses e as sem os meses de seca, e entre as médias sem os meses de chuva e sem os meses de seca, assim rejeita-se a hipótese ( $H_0$ ) de que as médias sejam iguais.

Na aplicação de modelos hidrológicos, segundo Goodrich et al, (1995) apud Machado (2002) a precipitação é assumida como espacialmente uniforme e não é considerada a sua contribuição nas incertezas das respostas do modelo, nas figuras 25, 26, 27, 28 e 29, pode-se observar o comportamento da precipitação em relação às vazões observadas e simulada ajustada para todos os postos fluviométricos comparados.

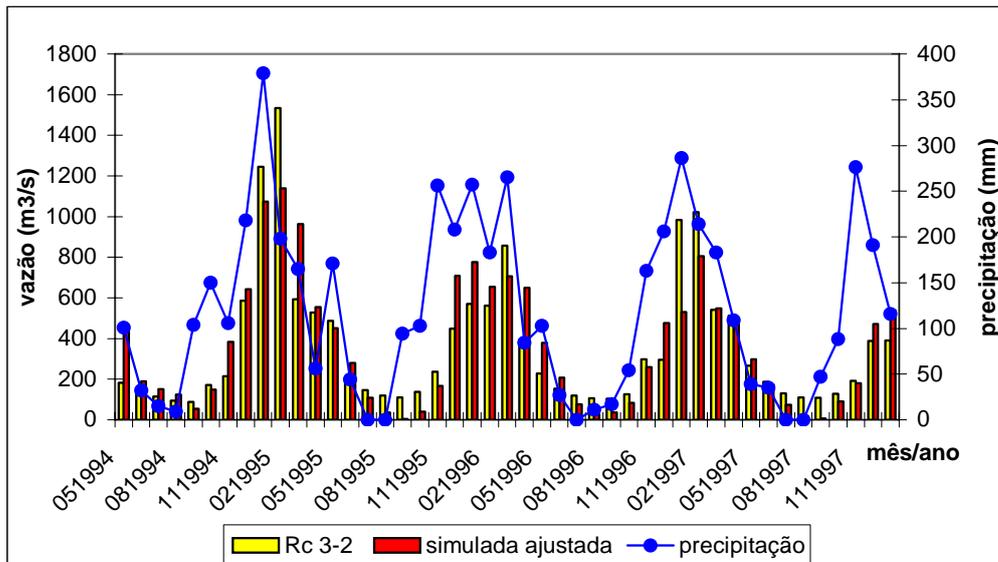


Figura 25- Vazão mensal observada da estação RC 3-2, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 12 com os valores de precipitação para a bacia analisada.

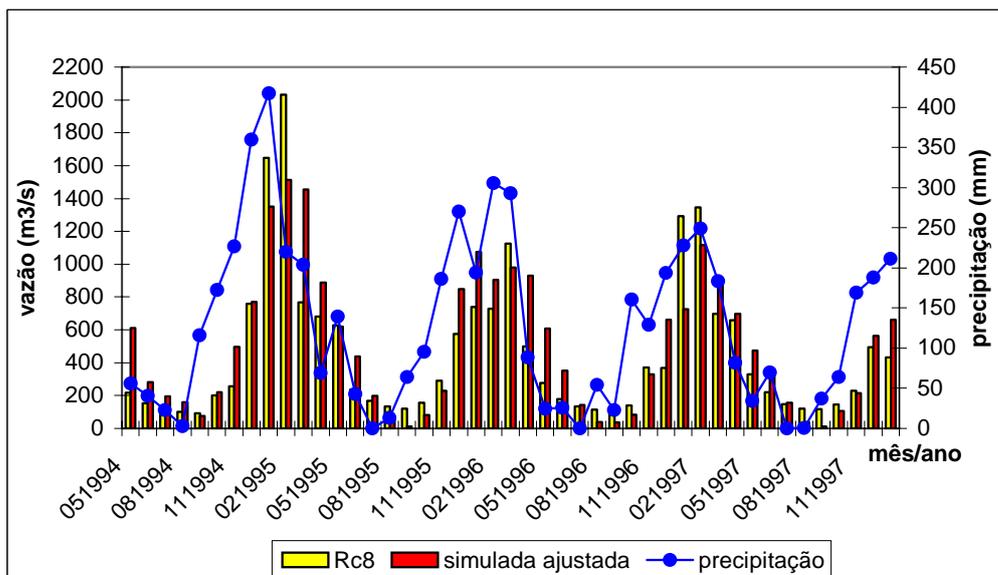


Figura 26- Vazão mensal observada da estação RC 8, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 24 com os valores de precipitação para a bacia analisada.

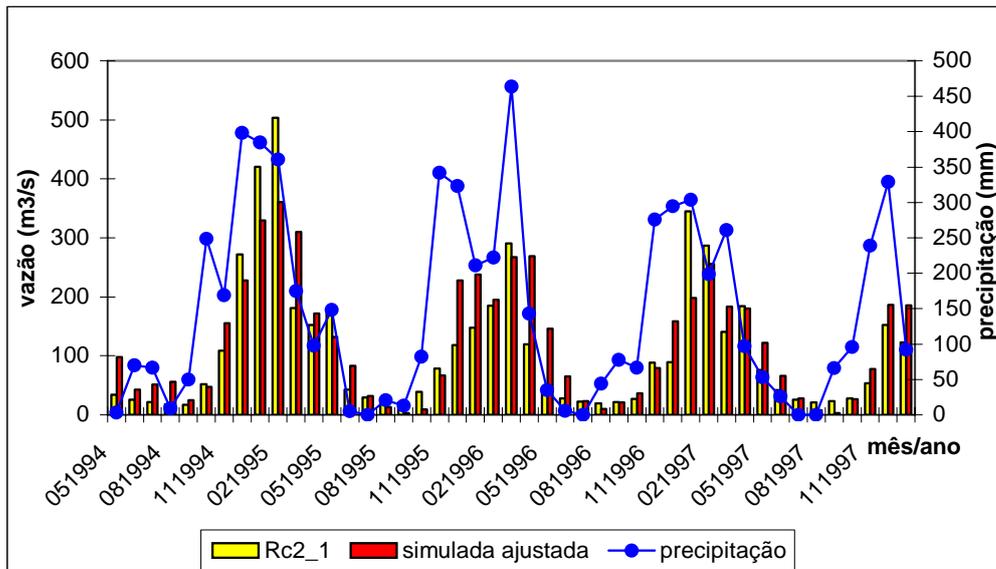


Figura 27- Vazão mensal observada da estação RC 2-1, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 3 com os valores precipitação da bacia analisada.

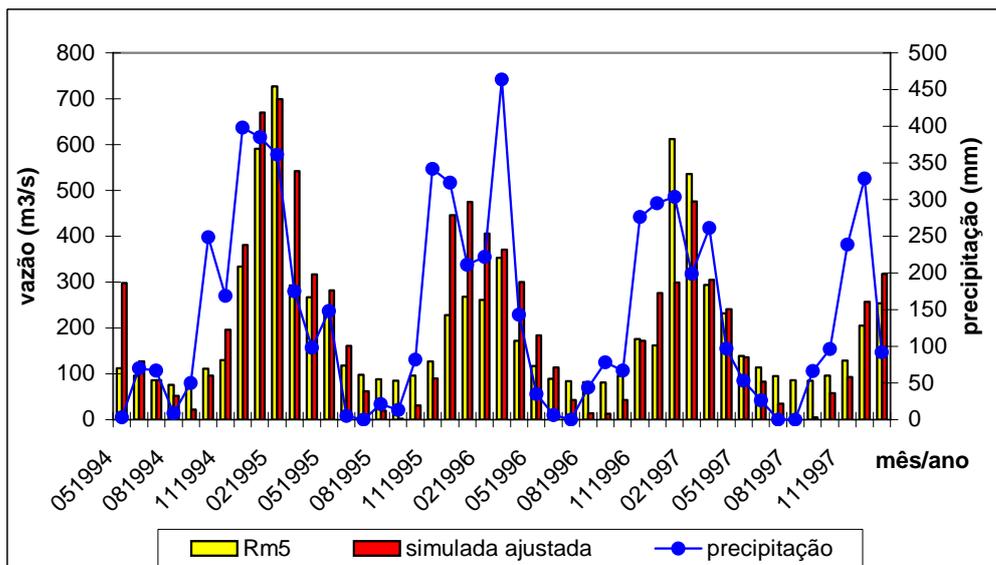


Figura 28- Vazão mensal observada da estação Rm 5, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 12 com os valores de precipitação da bacia analisada.

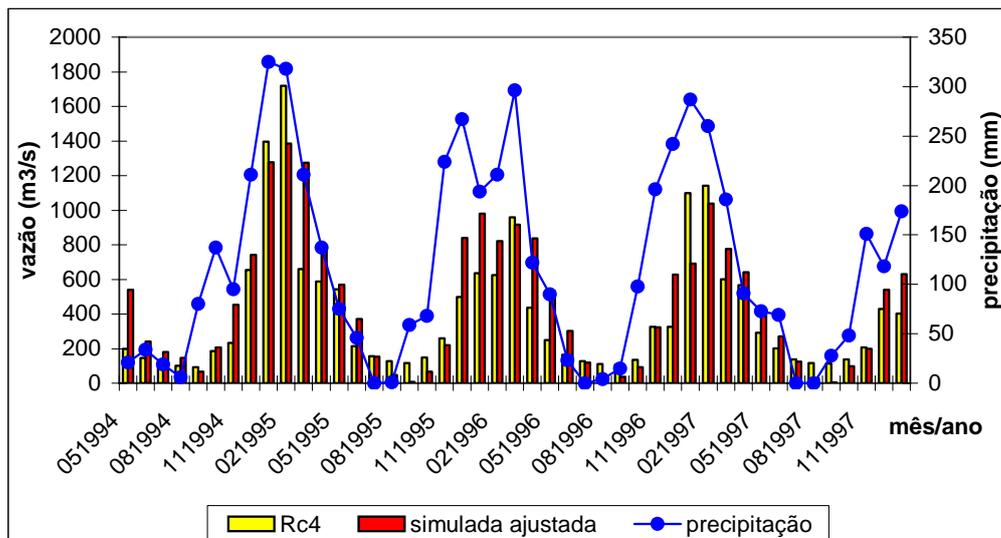


Figura 29- Vazão mensal observada da estação RC 4, e vazão simulada ajustadas da sub-bacia 19 com os valores de precipitação da bacia analisada.

Houve grandes variações no volume de precipitação entre os postos pluviométricos analisados, mas na comparação entre a precipitação e as vazões observada e simulada ajustada com periodicidade mensal, observa-se similaridade no comportamento dos três parâmetros para os 5 pontos fluviométricos comparados.

Na comparação estatística utilizando o Teste  $t'$  – Student, na comparação das vazões líquidas simuladas e ajustadas da fase de calibração e resultantes do cenário *i* (tabela 28), obteve-se o valor absoluto de  $t$  calculado superior ao  $t$  crítico, assim rejeita-se a hipótese de que as médias das vazões dos dois cenários sejam iguais.

Tabela 27 – Resultado do Teste  $t$  – Student em comparação com as vazões médias da fase de validação inicial e com o cenário *i*.

Teste-t: duas amostras em par para médias

<i>Vazões</i>	<i>Calibração</i>	<i>Cenário i</i>
Média	329.9748	255.9363
Variância	26494.66	20637.12
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.921363	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	2.603715	
P(T<=t) uni-caudal	0.029907	

t crítico uni-caudal	2.131846
P(T<=t) bi-caudal	0.059814
t crítico bi-caudal	2.776451

---

#### **5.2.1.1 Cenário i**

Segundo LIMA (2001), os impactos ambientais decorrentes da implantação do APM Manso causaram modificações que foram rapidamente observadas a partir do fechamento da barragem, que ocorreu em novembro de 1999, onde as águas do rio Manso passaram a ser retidas. Houve alterações na vazão em todo o trecho a jusante, provocando condições desfavoráveis à sobrevivência de inúmeros cardumes.

Durante a fase de sub-divisão da bacia, na coordenada UTM (XPR = 629388,82 e YPR = 8355466,84, fuso 21, hemisfério sul) de localização da barragem do Manso adiciona-se um ponto indicando a presença do reservatório de água (Figura 19), através de uma ferramenta do Basins, e dados sobre o reservatório do Manso são incluídos no banco de dados do modelo SWAT.

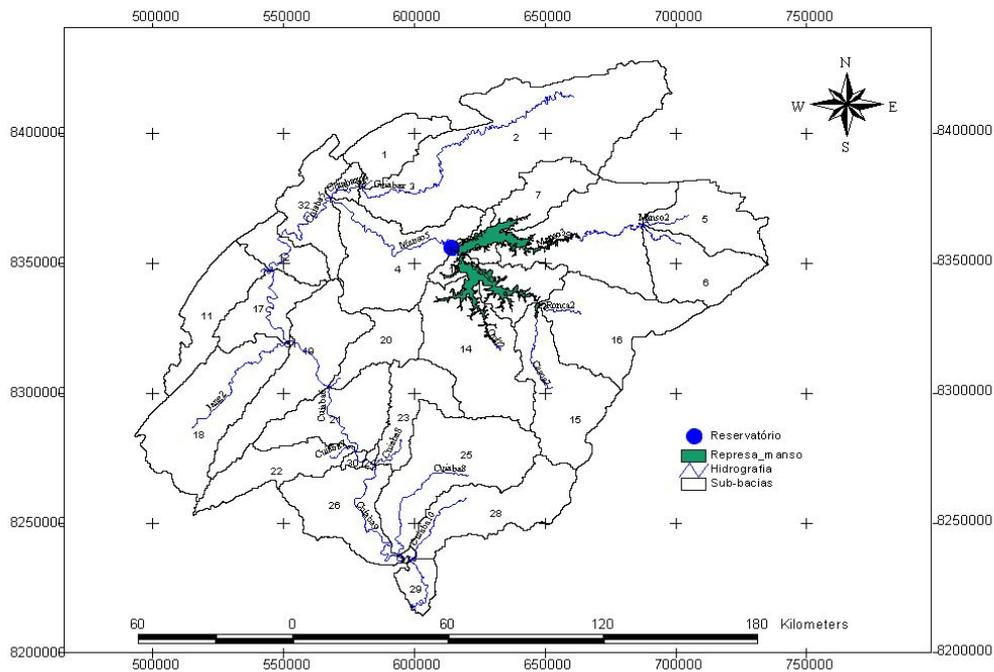


Figura 30- Localização do ponto que indica a existência do reservatório, máscara de representação da área ocupada pela represa do manso, hidrografia principal e as subdivisões da Bacia do Rio Cuiabá.

Tabela 28- Vazão média mensal, e máximas e mínimas mensais (m<sup>3</sup>/s), medida na saída do reservatório da represa do Manso, posto fluviométrico Rm 5 (Fonte: SIBAC, 2000).

Anos	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2000	34,15	24,58	25,00	26,56	47,13	63,81	70,67	73,23	73,85	70,87	54,42	61,41
2001	59,40	52,20	45,10	53,60	68,00	75,70	80,10	87,00	88,90	77,80	70,50	46,50
2002	217,50	241,40	223,80	212,10	122,50	122,90	151,00	162,40	240,10	247,40	170,90	167,50
<b>Vazão max.</b>	217,5	241,4	223,8	212,2	122,5	122,9	151,0	162,4	240,1	247,4	170,9	167,5
<b>Vazão min.</b>	34,1	24,6	25,0	26,6	47,1	63,8	70,7	73,2	73,8	70,9	54,4	46,5

Os dados de entrada do reservatório necessários para que ocorra a simulação da vazão após a construção da represa do Manso, são as vazões médias mensal ( $m^3/s$ ), as máximas e mínimas, volume ( $10^4 m^3$ ) e área (hectares) nas cotas mínimas e máxima (emergencial) do reservatório (Figura 31). O trabalho de Penteadó (2001), foi utilizado como fonte dos dados de área e volume do reservatório do Manso sob a cota mínima, principal e emergencial, utilizados neste cenário (tabela 29).

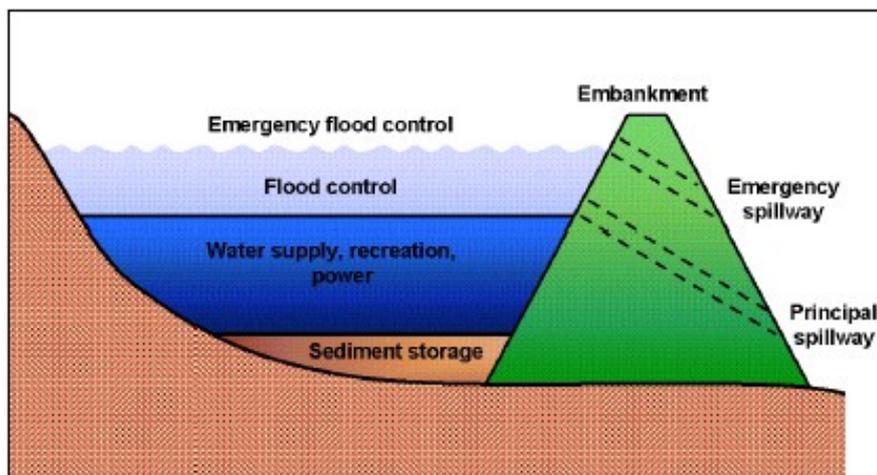


Figura 31 – Componentes do reservatório, com controle de enchente, com as feições das cotas principal e emergencial ( Fonte: SWAT, 2000)

Tabela 29- Dados do reservatório do Manso, exigidos pelo modelo SWAT, para a simulação da vazão de saída da represa.

SIGLAS	VALORES	DESCRIÇÃO
SUBBASIN	34	Número da sub-bacia onde se localiza o reservatório
MORES	1	Mês de início da operação
IYRES	3	Número de anos de vazão medida
RES ESA	42.700	Área do reservatório na cota emergencial (hectares)
RES EVOL	730.000	Volume de água na cota emergencial ( $10^4 m^3$ )
RES PSA	29.587	Área do reservatório na cota principal (hectares)
RES PVOL	498.500	Volume de água na cota principal ( $10^4 m^3$ )
RES VOL	33.170	Volume de água inicial no primeiro dia da simulação ( $10^4 m^3$ )

#### 5.2.1.1.1 Uso e ocupação do solo

Como cenário inicial considerou-se o mapa de uso e ocupação do solo utilizando imagens Landsat 7 de julho de 2000 (Figura 32), mas foi redefinido para facilitar o trabalho com o modelo, alterando a classe “sombra” não existente no banco de dados do modelo, pela classe “cerrado”, por ser a classe que ocupa a maior porcentagem na bacia (tabela 30).

Tabela 30- Área da bacia em porcentagem, hectares e Km<sup>2</sup>, na classificação original da Bacia do Rio Cuiabá.

<b>Uso do solo</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>
Floresta	8,13	235141,7048	2351,417048
Cerrado	57,25	1655825,658	16558,25658
Pastagem	20,32	587709,6484	5877,096484
Agricultura	2,85	82429,74892	824,2974892
Solo aberto	8,43	243818,5205	2438,185205
Água	0,93	26898,12859	268,9812859
“Sombra”	1,46	42227,16962	422,2716962
Municípios	0,63	18221,31292	182,2131292
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2.892.271,892</b>	<b>28.922,71892</b>

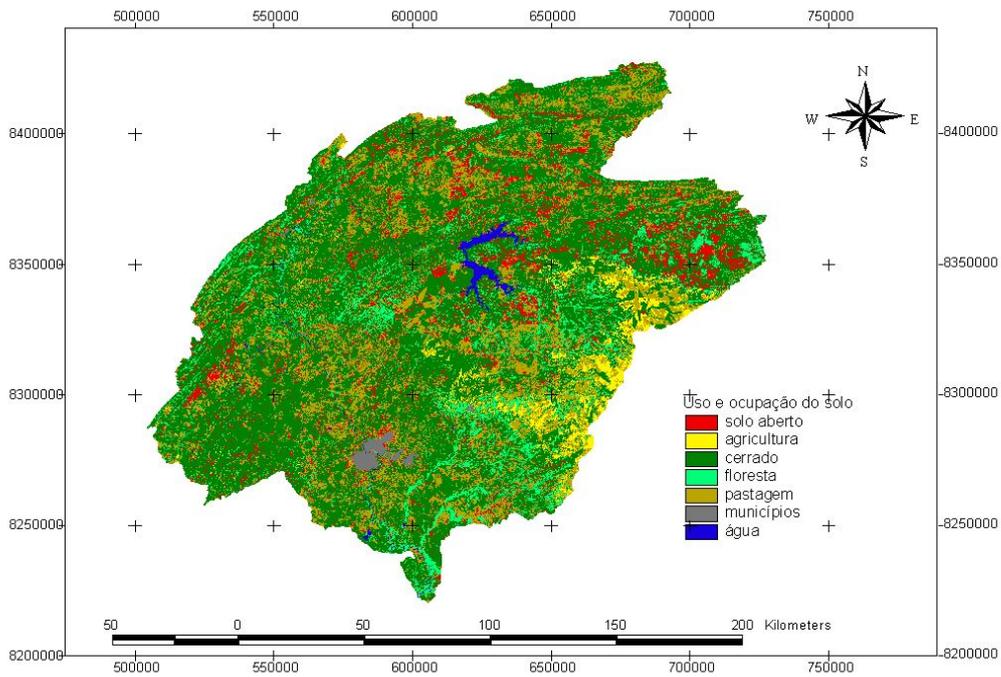


Figura 32 – Mapa de uso e ocupação do solo.( Fonte: Libos,2002).

#### 5.2.1.1.2 Validação do cenário i

Na comparação gráfica entre as vazões medidas e simuladas (m<sup>3</sup>/s) dos 5 postos fluviométricos, e a precipitação (mm H<sub>2</sub>O) (figuras 33, 34, 35, 36 e 37), observa-se que a similaridade no comportamento entre a precipitação e vazões, mas com grande diferença no que diz respeito a comparação mensal entre as vazões.

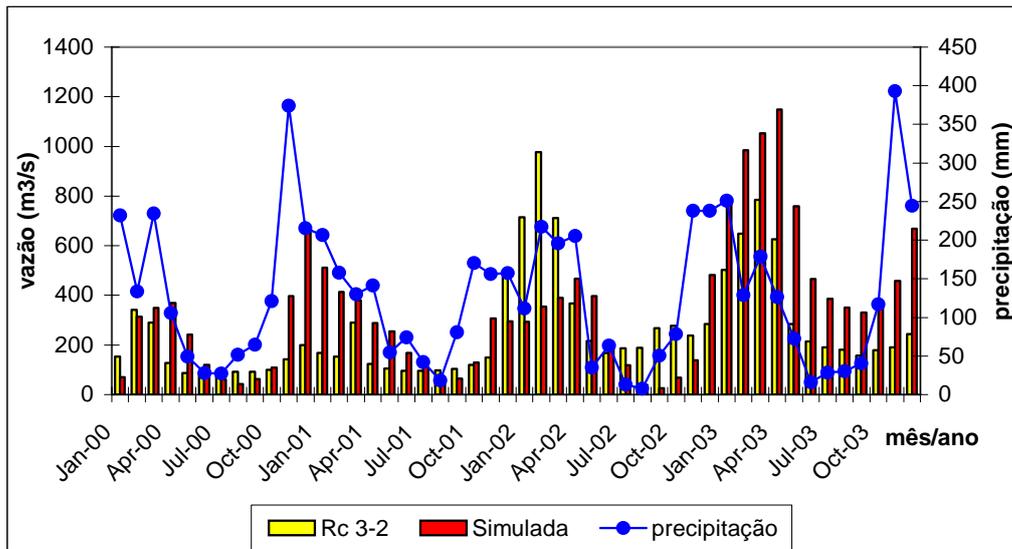


Figura 33 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 3-2), vazão simulada, e precipitação.

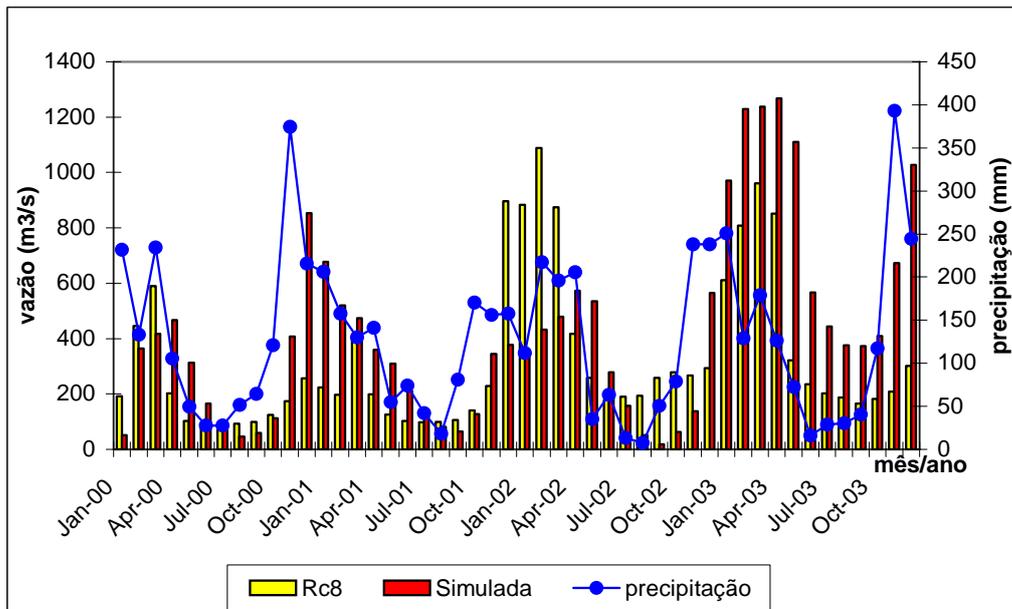


Figura 34 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 8), vazão simulada, e precipitação.

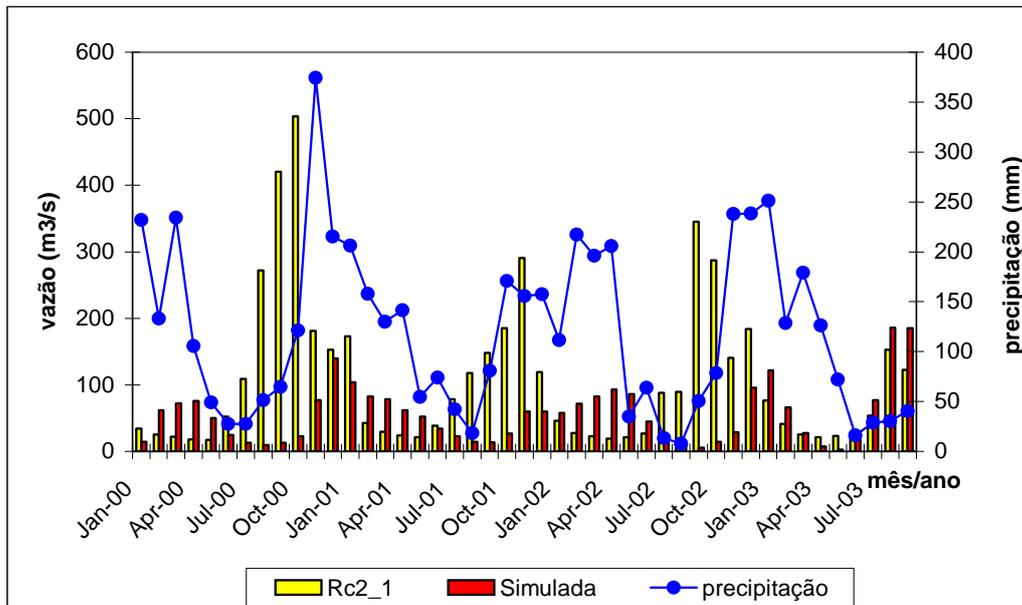


Figura 35 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 2-1), vazão simulada, e precipitação.

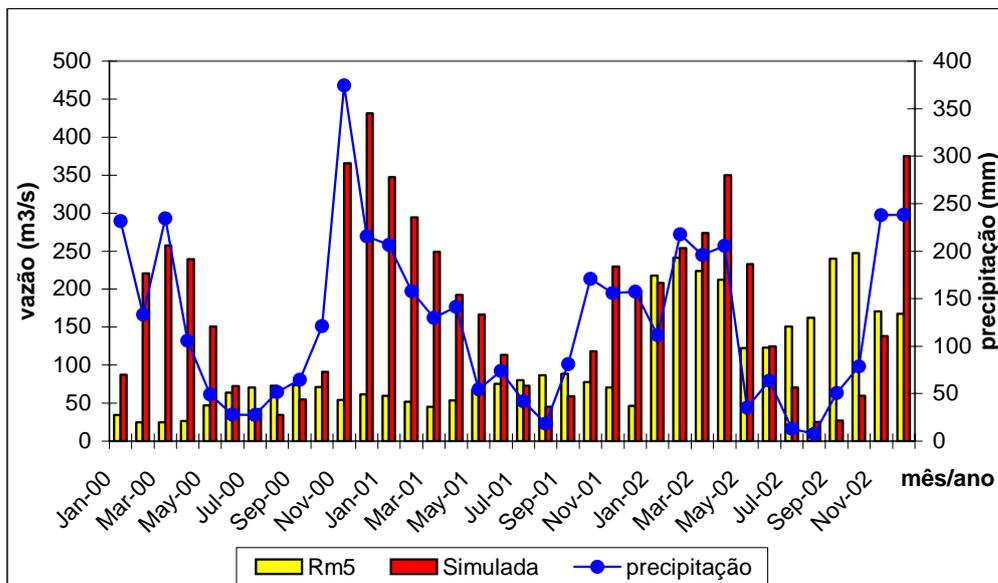


Figura 36 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rm 5), vazão simulada, e precipitação.

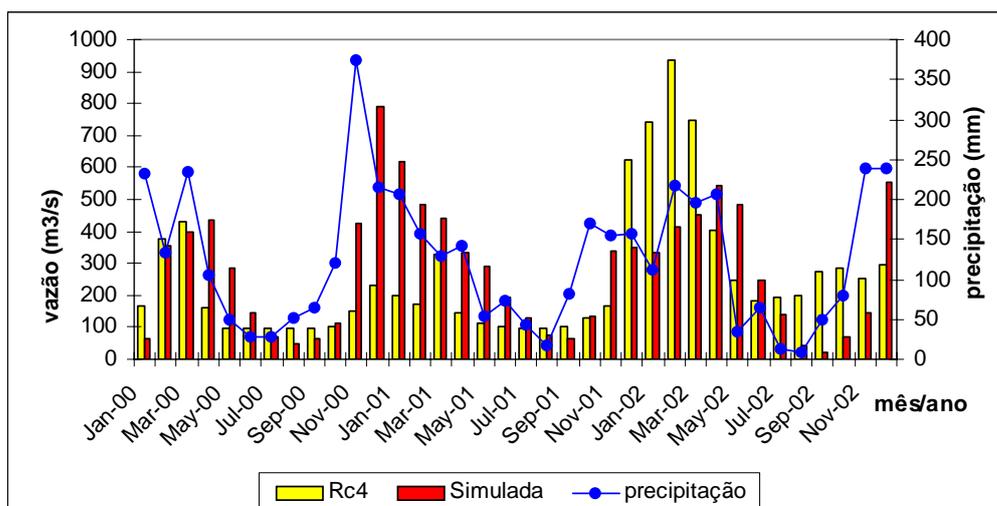


Figura 37 – Hidrógrafas de vazão observada (posto fluviométrico Rc 4), vazão simulada, e precipitação.

Tabela 31- Resultados estatísticos do COE, Dv (%) e R<sup>2</sup>, para cada bacia comparada aos dados mensais observados dos postos fluviométricos e simulados.

	COE	Dv (%)	R <sup>2</sup>
<b>Rc 3-2</b>	-0,09	-30,95	0,11
<b>Rc 8</b>	-0,34	-31,21	0,14
<b>Rc 2-1</b>	-0,48	48,24	0,12
<b>Rm 5</b>	-4,01	-69,08	0,003
<b>Rc 4</b>	-0,20	-10,50	0,13

Na tabela 31, observa-se que o COE e o R<sup>2</sup> encontrado é muito baixo, e o de Dv (%) muito alto, indicando uma péssima eficiência do modelo, na comparação das vazões.

Os valores negativos encontrados pra Dv (%) coincidem quando os valores de vazão simulada superam os valores para a vazão observada, o contrário ocorre no caso dos valores de Dv (%) positivos, tanto para as vazões simuladas ajustadas e as sem ajustes. Os valores de R<sup>2</sup>, são extremamente baixos, foram retirados da fórmula das retas de regressão que encontram-se em anexo a este trabalho.

Tabela 32- Vazões médias para todo o período simulado ( $m^3/s$ ), entre janeiro/2000 a dezembro/2002, das vazões observadas (medidas) e as simuladas, em cada posto fluviométrico utilizado neste estudo.

Vazões médias ( $m^3/s$ )		
	observadas	simuladas
<b>Rc 3-2</b>	262,41	343,64
<b>Rc 8</b>	323,03	423,87
<b>Rc 2-1</b>	111,11	57,50
<b>Rm 5</b>	103,04	174,23
<b>Rc 4</b>	253,76	280,42

Para a aplicação do Teste  $t'$  – Student (tabela 33), faz-se necessário às médias das vazões para todo o período analisado (tabela 32), e só assim fazer uma comparação para testar a hipótese de que as médias são iguais ou não entre si, ou seja, se há diferença significativa entre as médias, ao nível de 0,05 ou 5%, escolhido pra este estudo.

Tabela 33- Resultado do Teste  $t'$  – Student, utilizado para comparar as médias observadas e simuladas.

**Teste-t: duas amostras em par para médias**

<i>Vazões:</i>	<i>Observadas</i>	<i>Simuladas</i>
Média	210.675	255.9363
Variância	9663.614	20637.12
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.938484	
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	4	
Stat t	-1.64304	
P(T<=t) uni-caudal	0.08786	
t crítico uni-caudal	2.131846	
P(T<=t) bi-caudal	0.17572	
t crítico bi-caudal	2.776451	

Como resultado do Teste  $t'$  – Student (tabela 33), o valor absoluto do  $t'$  calculado é maior que o tabelado ou do t crítico, aceita-se a hipótese de que as médias em comparação são iguais, ou seja, não há diferença significativa ao nível de 0,05, entre as médias observadas e simuladas para o período de 2000 à 2002. E o valor do grau de correlação de Pearson atingiu um valor bem favorável de 0,9384.

Com isso concluiu-se que, mesmo não atingindo valores aceitáveis para Dv (%) e R2, para cada ponto comparado, na comparação das médias (tabela 32) para todo o período analisado não há diferenças significativas entre as médias observadas e simuladas, demonstrando o alto grau de eficiência do modelo.

Para o COE, valores baixos, mas próximos entre si foram atingidos para todos os pontos, exceto para o ponto Rm 5 que obteve um valor bem abaixo, este é o ponto de medida da vazão de saída do reservatório do Manso, isso pode ter ocorrido devido a série temporal analisada, ser a do período de enchimento da barragem que teve seu início em novembro de 1999 e o término em julho de 2000.

Ocorre que as análises de Dv (%), COE e R2 (tabela 31) foram realizadas a partir das médias mensais, e o Teste  $t^{\circ}$  – Student com as médias para todo o período de simulação.

#### **5.2.1.2**      *Cenário ii*

No segundo cenário (Figura 38), enfoca-se alterações no uso e ocupação do solo quanto ao efeito das ações antrópicas sob a vazão da Bacia do Rio Cuiabá, para isso considera-se toda a bacia com 100% de vegetação (tabela 34), guardando apenas as proporções entre os tipos cerrado e floresta.

##### **5.2.1.2.1**      *Uso e ocupação do solo*

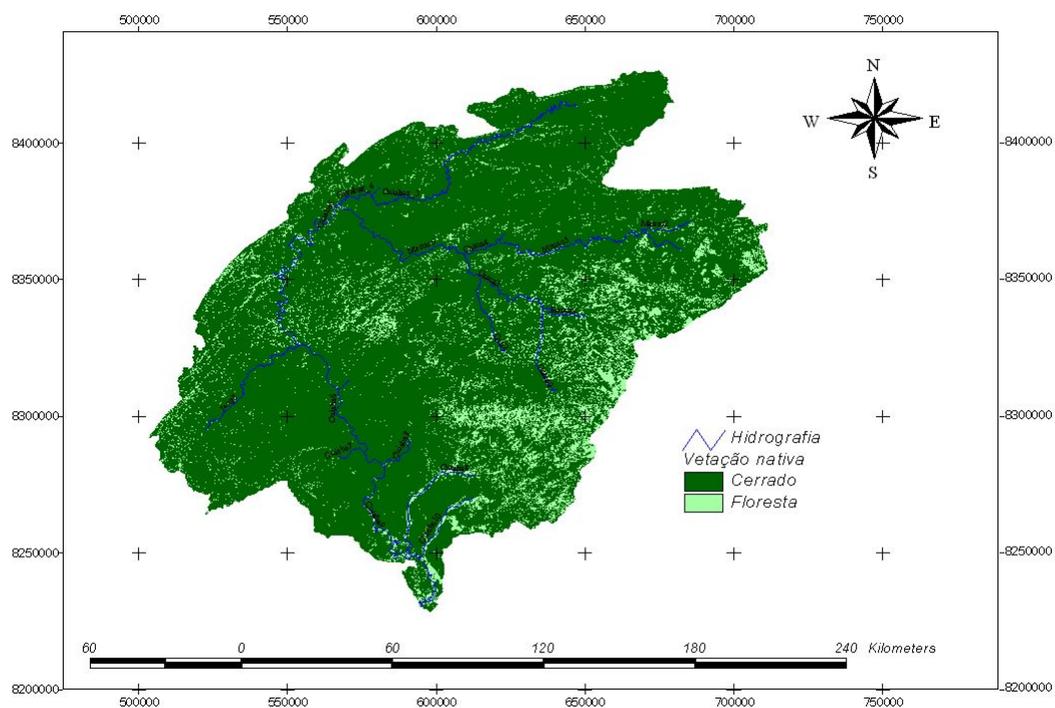


Figura 38- Uso e ocupação do solo fictício, desconsiderando a ação antrópica.

Tabela 34 – Área em hectares e em % da Bacia do Rio Cuiabá, considerando um uso e ocupação do solo fictício.

Vegetação	Área (hectares)	Área (%)
Cerrado	2577540,1584	90,52
Floresta	269850,5900	9,48

Tabela 35 – Valores da vazão média simulada ajustada do cenário i e o cenário em questão.

Médias	Cenário i	Cenário ii
RC 3-2	359,82	329,18
RC8	502,46	399,83
RC21	121,53	80,57
RM5	206,78	237,12
RC4	459,25	376,01

Tabela 36 – Resultado do Teste t – Student em comparação com as vazões médias do cenário i e o cenário ii.

Teste-t: duas amostras em par para médias

<i>Vazões:</i>	<i>Cenário i</i>	<i>Cenárioii</i>
Média	329.9748	284.5473
Variância	26494.66	16876.53
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.9624	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1.965816	
P(T<=t) uni-caudal	0.060373	
t crítico uni-caudal	2.131846	
P(T<=t) bi-caudal	0.120747	
t crítico bi-caudal	2.776451	

Como o valor absoluto de  $t'$  calculado é menor que o  $t$  tabelado ou crítico, pode-se inferir que não há diferença significativas entre as médias, ao nível de 0,05, assim não houve diferença significativa ao que se refere a vazão com a ação antrópica sob a Bacia do Rio Cuiabá até 1998.

Através do mesmo teste estatístico, não se obteve diferença significativa ao nível de significância de 0,05 entre as médias, se comparando o cenário ii com a vazão simulada ajustada resultante da calibração inicial, como mostra a tabela 37.

Tabela 37 – Valores da vazão média simulada ajustada da calibração inicial e do cenário em questão.

Teste-t: duas amostras em par para médias

<i>Vazões:</i>	<i>Cenário ii</i>	<i>Calibração</i>
Média	284.5473	255.9363
Variância	16876.53	20637.12
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.935944	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	

Stat t	1.25957
P(T<=t) uni-caudal	0.138155
t crítico uni-caudal	2.131846
P(T<=t) bi-caudal	0.276309
t crítico bi-caudal	2.776451

---

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados observados ao plotar-se a precipitação e a vazão observada e simulada ajustada, demonstram que mesmo havendo grande diferenciação entre os valores dos postos pluviométricos, na espacialização da precipitação sob as sub-bacias geradas pelo modelo, os três parâmetros seguem um mesmo comportamento para cada sub-bacia comparada, o que mostra uma coerência nos dados simulados em relação aos observados.

Os métodos do COE, Dv (%) e  $R^2$  utilizados para testar a eficiência do modelo SWAT, não apresentaram resultados favoráveis para todos os pontos fluviométricos comparados e nem pra todos os cenários testados, não havendo padronização nos testes aplicados e resultados obtidos. Para tal, obteve-se pelo teste estatístico  $t$  - Student com um nível de significância de 0,05 ou 5%, para a comparação entre as médias das vazões simulada anterior e posterior a calibração, e as vazões observadas, em cada cenário testado e pra todo o período simulado.

Para o cenário i, obteve-se resultados não aceitáveis para COE, Dv (%) e  $R^2$ , e valores péssimos para o ponto Rm 5, mas na aplicação do Teste  $t$  - Student como resultado da comparação entre as médias das vazões líquidas observadas e simuladas para todo o período, demonstrou que as médias são iguais.

Na calibração, valores aceitáveis para o COE foram atingidos após a calibração da vazão simulada, menos para o ponto Rm 5, houve também grande melhora entre Dv (%) dos dados não ajustados e os ajustados, variando entre -0,26% à -16,03 % para os ajustados. Não houve grande variação entre os valores de  $R^2$  entre os dados antes e depois do ajuste, a não ser pelo ponto Rm 5, que de um valor 0,3859, após o ajuste passou para 0,7156, valor aceitável dentro de uma correlação média. No teste  $t$  - Student, na comparação das médias entre as vazões observadas e as simuladas ajustadas, mostrou que não há diferença significativa, e na comparação das observadas com as simuladas não ajustadas, demonstrou que as médias não são iguais.

Ainda na calibração, para testar a influência da sazonalidade entre os meses de chuva e seca, comparou-se as vazões simuladas ajustadas com todos os meses do

ano, com as vazões simuladas ajustadas sem os meses de seca (junho à agosto) e sem os meses de chuva (dezembro à março). O COE teve grande melhora durante o ajuste, chegando próximo ao ideal, exceto para o ponto Rm 5, o COE calculado sem os meses de chuva e seca, apresentaram resultados iguais entre si. Já para o Dv (%), para quase todos os pontos houve melhora na comparação das vazões sem os meses de chuva, apenas o ponto Rm 5 obteve melhora, chegando próximo ao valor ideal de  $\pm 5\%$ , no cálculo sem os meses de seca. E para os valores de  $R^2$  houve piora para todos os pontos, nos cálculos sem os meses de chuva e sem os meses de seca, em relação ao resultado com todos os meses. O Teste  $t'$  – Student demonstrou que as médias das vazões simuladas ajustadas são iguais na comparação de todos os meses com as médias para o mesmo período mas sem os meses de seca, e que as médias são diferentes na comparação com o período sem os meses de chuva.

Devido a grande variabilidade dos resultados das análises estatísticas apenas algumas conclusões concretas podem ser testemunhadas, a que o ajuste dos dados foi eficiente na calibração atingindo um valor para COE aceitável, e que os resultados das vazões médias simuladas ajustadas para todo o período analisado em comparação com as vazões observadas foi satisfatório para o cenário i de acordo com o Teste  $t$  – Student aplicado. Assim, na comparação as médias das vazões simuladas ajustadas entre os cenários, através do Teste  $t'$  – Student, chegou-se a conclusão que as médias são diferentes entre a calibração e o cenário i, e que são iguais na comparação com o cenário ii.

O ponto Rm 5 (Código ANA 66210000) no rio Manso, se comportou de forma diferenciada com os outros 4 postos fluviométricos utilizados nesse estudo, isso talvez explica-se pelo fato de ser o único ponto situado em região de planalto.

A sobre-estimação das vazões nos primeiros meses da série explica-se pelas condições iniciais do modelo que, por padrão, considera uma saturação completa do solo. Após cerca de seis meses não são mais observados desvios sistemáticos entre os valores simulados e observados (Zeilhofer et al, ?).

As estimativas das vazões locais por sub-bacias se dão a partir de um componente de escoamento superficial, baseado em uma função de resposta da vazão local no volume de água excedente e um componente sub-superficial que pode ser

simulado com um modelo linear de armazenamento, onde as características físicas do solo são de grande importância na estimativa do escoamento sub-superficial e no retorno da água subterrânea ao canal do rio. Um fator relevante que deve ser considerado, é o de que os parâmetros utilizados para compor o banco de dados de solos utilizado no modelo SWAT, foi retirado do relatório do Projeto Jequitaiá/MG, e alguns parâmetros retirados de tabelas com valores padronizados para regiões tropicais, isso faz com que a real condição física dos solos da bacia não esteja devidamente representada, gerando em erros de estimativas, podendo influenciar na vazão do canal.

Outro ponto relevante, que pode ter influenciado no funcionamento do modelo SWAT, é que os limites máximos de vários parâmetros do banco de dados original do programa tiveram que ser alterado, como exemplo o limite máximo para o tamanho da bacia simulada, máximo de área e volume do reservatório, outro fator, seria que o dimensionamento do canal é considerado o mesmo para toda a extensão do rio, e que este fator não foi adicionado ao banco de dados do modelo neste estudo.

A validação do modelo SWAT através da comparação das médias pelo Teste  $t$  – Student não pode ser considerado como um bom indicativo para um ajuste aceitável, pois este considera todo o período simulado, e enquanto os outros métodos estatísticos utilizados neste trabalho consideraram os dados mensais nos cálculos e estes encontraram bons resultados apenas na calibração e não nos cenários. Isso pode ter ocorrido devido a grande heterogeneidade da bacia, não apenas altimétrica, com climática, de solos, e pluviométrica.

Considera-se que um levantamento detalhado das características físicas dos solos na bacia seria de grande importância para futuros estudos de modelagem nesta área, representando de forma melhor o escoamento e as taxas de infiltração, permitindo assim uma simulação mais confiável de cenários em função de mudanças no uso e ocupação do solo. Para estudos futuros de simulação de cenários, a calibração por sub-bacias deveria ser considerada, pois poderia resultar em um melhor ajuste, e conseqüentemente nos resultados dos fatores simulados.

Assim, apesar de nem todos os resultados encontrados serem favoráveis, o estudo é de grande importância, pois apontou características do modelo SWAT que devem ser consideradas, por ser o primeiro estudo de simulação realizado com o

SWAT no Brasil, para determinação da vazão em bacias de grande escala e de características tão heterogêneas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21 GLOBAL. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001, **HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.aneel.gov.br> , Acesso em outubro de 2001.

ARNOLD, J.G., J.R. WILLIAMS, R. SRINIVASAN, K.W. KING, AND R.H. GRIGGS, 1994. SWAT - Soil and Water Assessment Tool, USDA, Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, 808 East Blackland Road, Temple, TX 76502, revised 10/25/94.

ARNOLD, J.G.; MUTTIAH, R.S.; SRINIVASAN, R.; ALLEN, P.M. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. **Journal of Hydrology**, v.227, p.21-40, 2000.

ASSAD, E.D.; MASUTOMO, R.; ASSAD, M.L.L. Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 24 (5):677-686, maio/1992.

Ávila, Clayton Jacques Cardoso Pinheiro; Assad; Eduardo Delgado. Verdesio; Juan José. Eid, Nabil Joseph. Soares, Wougran. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos de **Geoprocessamento da Informação Hidrológica**. O Estado das Águas no Brasil. ANEEL.[http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/\\_vti\\_bin/shtml.exe/texto/187-196.html/map1](http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/_vti_bin/shtml.exe/texto/187-196.html/map1)

BAFFAUT, C.; ARNOLD, J.R.; SCHUMACHER, J.S. Fecal coliform fate and transport simulation with SWAT. 2003. 2<sup>nd</sup> International SWAT Conference. TWRI Technical Report 266. Baria/Italy.

BARSANTI, P.; DISPERATI, L.; MARRI, P.; MIONE, A. Soil erosion evaluation and multi-temporal analysis in two brazilian basins. 2003. 2<sup>nd</sup> International SWAT Conference. TWRI Technical Report 266. Baria/Italy.

BENITES, E.T.;MOTA, J. L. O; REYNOSO, D. S. F. Aplicación del modelo SWAT en la cuenca “el tejocote”, Atlacomulco, estado de México. 2000. X Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 4: Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. Chihuahua, México.

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

BURROUGH, P. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendon Press, 1986.

CALIJURI, M.L.; MEIRA, A.D.; PRUSK, F.F. Geoprocessamento Aplicado aos Recursos Hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas, 1998. **Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento**. Lavras: UFLA, SBEA, 1998, p.200-225.

CAVINATTO, V., 1995, *Caracterização Hidrológica do Estado de Mato Grosso*. PRODEAGRO/SEPLAN/FEMA, Cuiabá, MT.

CARPENTER, T.; SPERFSLAGE, J.; GEORGANKAKOS, K.; SWEENEY, T.; FREAD, D. National threshold runoff estimation utilizing gis in support of operational flash flood warning systems. **Journal of Hydrology**, v.224, p.21-44, 1999.

**Ciclo Hidrológico e Gerenciamento Integrado**. José Galizia Tundisi. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a18v55n4.pdf> Acessado em : junho de 2004.

CODEVASF/CES - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco.  
Levantamento semi-detalhado dos solos do Projeto Jequitaiá/MG. 1977

COLLISCHONN, W., 2001. Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/RS.

CONCEIÇÃO, M. da; GOMES, I.A.; ARAÚJO, W.S.A. de; CUNHA, T.J.F. da; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.da C.; Caracterização de solos orgânicos do Rio de Janeiro: Propriedades físicas e morfológicas como subsídio a classificação. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA – Solos; n° 04, p. 1-6, 1999.

CHOW, Ven Te. HANDBOOK OF APPLIED HIDROLOGY. Ed. McGraw-Hill, Inc. 1964. EUA

COUTO, L. & SANS, L.M.A., 2003. Requerimento de água das culturas. Sete Lagos/MG. Circular Técnica, Ed. EMBRAPA.

Formatado: Inglês (EUA)

DENT, D.; YONG, A. **Soil survey and land evaluation**. London, G. Allen e Unwin, 1981. 278p.

DEVANTIER, B.A.; FELDMAN, A.D. Review of gis applications in hydrologic modeling. Journal of Water Resources Planning and Management, v.119, p.246-60,1993.

Ecoplan Engenharia Ltda. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá**. Relatório final, 2004. Fundação Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso – FEMA/MT. Disponível em: <http://www2.fema.mt.gov.br/materia.asp?id=612>  
Acessado em maio/2004.

Edward Partington; David Wells; Henry Manguerra; What's new with EPA / Office of water's BASINS water quality modeling system. Disponível em: <http://www.epa.gov/ost/basins>. Acessado em junho, 2004.

FOHRER, K.; ECKHARDT, K.; HAVERKAMP, S.; FREDE, H.G. Applying the SWAT model as a decision support tool for land use concepts in peripheral regions in Germany. 1999. pages 24-29. 10 th International Soil Conservation Organization Meeting. Purdue University and USDA-ARS National soil Erosion Research Laboratory.

FORMAN, R. T. T. and GODRON, M. - *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons. 1986, 619p.

GOODRICH, D.C.; FAURES, J.; WOOLHISER, D.A.; LANE, L.J.; SOROOSHIAN, S. Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability. **Journal of Hydrology**, v.173, p.283-308,1995.

GRAYSON, R.B.; MOORE, I.D.; McMAHON, T.A. Physically-based hydrologic modeling: II. Is the concept realistic? **Water Resources Research**, v.26, n.10, p.2659-2666,1992.

GRIGG, N. S. **Water resources management: principles, regulations, and cases**. New York: McGraw-Hill Book, 1996. 540 p.

HUTCHINSON, M. F., 1989, "A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data With Automatic Removal of Spurious Pits", **Journal of Hydrology**, v. 106, pp. 211-232.

HUTCHINSON, M. F., 1996, "A Locally Adaptive Approach to the Interpolation of Digital Elevation Models", **In: Proceedings of 3rd International Conference / Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling**, Santa Fe, January 21-26, Disponível em: <http://www.ncgia.ucsb.edu/conf>. Acessado: em: abril de 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. 9º Distrito de Meteorologia. Estação 83361 – Cuiabá/MT. Site consultado para obtenção de dados da estação:

<http://www.inmet.gov.br/sistemas/inmetWeb/produtos/climatologia/informacaoCadastralEstacao.jsp>

INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO. **Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro**. 2001. Acessado em: outubro de 2004. Disponível em: [http://www.igm.pt/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/indice.htm](http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm).

JENSON, S.; DOMINGUE, J. Extraction topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.54, p.1593-1600, 1988.

KOSTRA, Z. **Study of soil moisture spatial distribution in mountain catchment using gis**. In: EGIS'94, 1994, p.1042-1050. Acessado em: julho de 2004. Disponível em: <http://www.odyssey.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94118.html>

KRYSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D.; BECKER, A. Development and Test of a Spatially Distributed Hydrological / Water Quality Model for Mesoscale Watersheds. **Ecological Modeling**, v.106, p.261-289, 1998.

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. 269 p.

LIMA, E.B.N.R., 2001. **Modelação integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/RJ. 184 p.

MACHADO, R. E., 2002. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo/SP.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP) **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** vol.27, n.4. Viçosa. Julho/Agosto. 2003

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 2003. *Revista Brasileira de Ciências do Solo.* 27:727-733

MAIA NETO, F.F. & CHAVES, I.B. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro, Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

MAIDMENT, D. Gis and hydrologic modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T., ed. **Environmental Modeling with GIS.** New York, Oxford, 1993. p.146-67.

MENDES, C. A. (1996). Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 1, 47-66.

MULLER, A. C., 1996. **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** São Paulo: Makron Books. 412p.

RAFAELI NETO, Sílvio Luís. **Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações.** São Paulo, 2000. 231p.

Tese (doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

OMETTO, J.C. Bioclimatologia Vegetal. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo/SP. 1981.

PONTES, S.H.N.; FERNANDES, I.V. Atualização do método das isozonas para a região amazônica. Anais do VIII Encontro de Iniciação Científica e Pós-graduação do ITA. São Paulo/SP. 2002.

OLIVEIRA, M.Q.C. Impacto de mudanças no uso do solo nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia/Ba. 1999.

PAPPAGALLO, G.; LO PORTO, A.; LEONE, A. Use of the SWAT model for evaluation of anthropic impacts on water resources quality and availability in the Celone Creek basin (Apulia – Italy). 2003. 2<sup>nd</sup> International SWAT Conference. TWRI Technical Report 266. Baria/Italy.

PCBAP – Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, 1997, v.2. Site: [www.fema.gov.br](http://www.fema.gov.br), consultado em junho de 2005.

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

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N. and LIMA, M.A. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas. Jaguariúna, EMBRAPA/CNPMA, 1997. 83p. (EMBRAPA. CNPMA. Documentos, 8)

PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. 419p.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; Capítulo 02 - Água e o Desenvolvimento Sustentável. Eneas Salati, Haroldo Mattos de Lemos & Eneida Salati. Páginas 41 - 47. **Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 2.º Edição Revisada e Ampliada. Escrituras. São Paulo - 2002.

REICHARDT, K., 1990. A água em sistemas agrícolas. Ed. Manole Ltda. [local, nu. Páginas]

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F., 1999. Pedologia: base para distinção de ambientes. 3 ed. Viçosa: NEPUT.

SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. 1967, 'The influence of texture on the moisture characteristics of soils. IV. A method of estimating the available water capacities of profiles in the field', **J. Soil Sc.** 18: pp174-181.

SALTER, P.J. & WILLIAMS, J.B. 1969, 'The influence of texture on the moisture characteristics of soils. V. Relationships between particle size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water', **J. Soil Sc.** 20: pp126-131.

SANTOS, R.C. Classificação textural aplicada à cobertura do solo de uma bacia hidrográfica usando sensoriamento remoto. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SCHUMANN, A.H., FUNKE, R. & SCHULZ, G.A. (2000). Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling. **Journal of Hydrology**, 240, 45-61.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SEPLANTEC). 1995b. *Recursos Hídricos no Estado da Bahia-Ênfase no Semi-árido*. Salvador. 105p.

SEPLAN-MT. Secretaria de Estado de Planejamento do Estado de Mato Grosso. **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Mato Grosso**, 2002. Servidor de Mapas. Disponível em: <http://www.seplan.mt.gov.br/> Acessado em: março de 2004.

SHARPLEY, A.N.; WILLIAMS, J.R. **EPIC – Erosion productivity impact calculator, 1. model documentation**. Washington: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1990. 145 p. (Technical Bulletin, 1798).

SHIRASHI, F.K.; **Avaliação do efeito da construção do APM Manso no controle das cheias nas áreas urbanas da cidade de Cuiabá e Várzea Grande – MT**. COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro, 2003.

SIBAC – Sistema de Monitoramento Integrado da Bacia do Rio Cuiabá, 2000. **Relatório de Modelagem Integrada da Bacia do Rio Cuiabá**, PROPEP.

SOARES, J. V. Introdução à Hidrologia Florestal. 1999. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Notas de Aula).

Soil and Water Assessment Tool. **User's manual**. Version 2000. S.L. NEITSCH, J.G. ARNOLD, J.R. KINIRY, J.R. WILLIAMS DRAFT-April, 2001. Site consultado em fevereiro/2004: <http://www.brc.tamus.edu/swat/doc.html>

SOUZA, M.J.M.; WHITE, R.E.; MALCOLM, B. Applying AVS2000 to predict runoff and phosphorus movement from an agricultural catchment to support the modeling of chlorophyll A production. 2003. 2<sup>nd</sup> International SWAT Conference. TWRI Technical Report 266. Baria/Italy.

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

SUI, D. and MAGGIO, R. Integrating gis with hydrological modeling: practices, problems and prospects. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.23, p.33-51, 1999.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER Jr., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **J. Soil Sci.**, 102:18-22, 1966.

TEIXEIRA, T. P. B., 1997, **Avaliação dos Desempenhos Operacionais e Econômicos dos Sistemas de Abastecimento de Água ou Esgotamento Sanitário, Através da Determinação de Indicadores Básicos Regionais, Ajustados aos Novos Conceitos de Modernização do Setor de Saneamento**. Monografia de Especialização em Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, DESA/UFMT, Cuiabá, MT.

TIM, U.S. Emerging technologies for hydrologic and water quality modeling research. **Transactions of the ASAE**, V.39, n.20, p.465-476, 1996.

TORRICO, J.J.T. Práticas Hidrológicas. 2 ed. Rio de Janeiro: TRANSCON, 1975. 120 p.

TUCCI, C. E. M. 1987. Modelos Determinísticos. In: BARTH, F. T., POMPEU, C. T., FILL, H. D., TUCCI, C. E. M., KELMAN J., BRAGA, B. P. F. **Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH. p. 213-324.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Conservation Service. Hydrology. National Engineering handbooks. Washington: USDA, 1986 (Section 4).

VALENTE, R.O.A., 2001. Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo/SP.

VIANELLO, R.L. and ALVES, A.R., 1991. *Metereologia básica e aplicações*. Viçosa/MG. Impr.Univ.-UFV.

VIEIRA, S. **Estatística experimental**. 2 ed. São Paulo : Atlas, 1999.

VITAL, A. R., COSTA, E. S., CURVO, M. 1996, **Projeto de Recuperação e Conservação da Bacia do Rio Cuiabá**, FEMA-MT, Cuiabá, MT.

WILSON, B.; WANG, B. **Prediction of Surface Drainage Networks for Gis an Water Quality Models**. 3p. <http://www.bae.umn.edu/annrpt/> acessado em... (1998 Annual Report).

WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**. 282. USDA-ARS

ZEILHOFER, P.; 2001. “Aplicabilidade de Mapas Topográficos 1:100.000 para a Modelação de Relevo e Obtenção de Parâmetros Fisiográficos na Bacia do Rio Cuiabá”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.6, n.3.

## 8 ANEXOS

### 8.1 CALIBRAÇÃO

Tabela 01 - Teste  $t$  – Student, comparando as médias das vazões observadas e simuladas ajustadas, para todo o período.

Teste-t: duas amostras em par para médias

<i>Vazões:</i>	<i>Observadas</i>	<i>Ajustadas</i>
Média	302.3896533	370.0306
Variância	20775.98469	36926.76
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.898657148	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1.699501326	
P(T<=t) uni-caudal	0.082225508	
t crítico uni-caudal	2.131846486	
P(T<=t) bi-caudal	0.164451016	
t crítico bi-caudal	2.776450856	

Tabela 02 - Teste  $t$  – Student, comparando as médias das vazões observadas e simuladas não ajustadas, para todo o período.

Teste-t: duas amostras em par para médias

<i>Vazões:</i>	<i>Observadas</i>	<i>Sem ajuste</i>
Média	302.3896533	412.7954
Variância	20775.98469	42533.01
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.936732963	
Hipótese da diferença de média	0	

gl	4
Stat t	-2.828612067
P(T<=t) uni-caudal	0.023705879
t crítico uni-caudal	2.131846486
P(T<=t) bi-caudal	0.047411758
t crítico bi-caudal	2.776450856

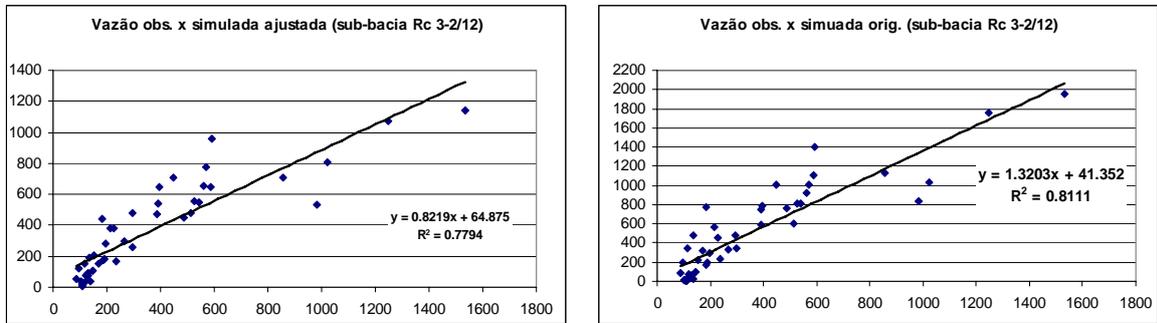


Figura 1- Regressão da vazão observada da estação RC 3-2, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes (orig.) e os ajustados.

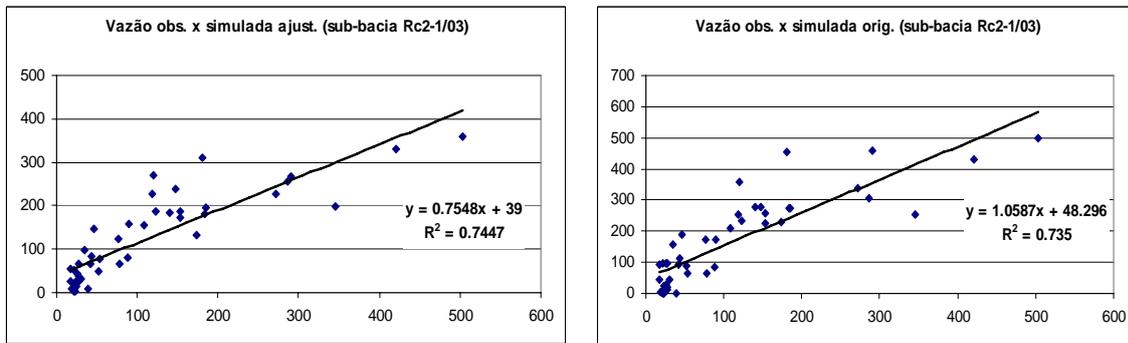


Figura 2- Regressão da vazão observada da estação RC 2-1, e vazão simulada sub-bacia 3 com os valores sem ajustes (orig.) e os ajustados.

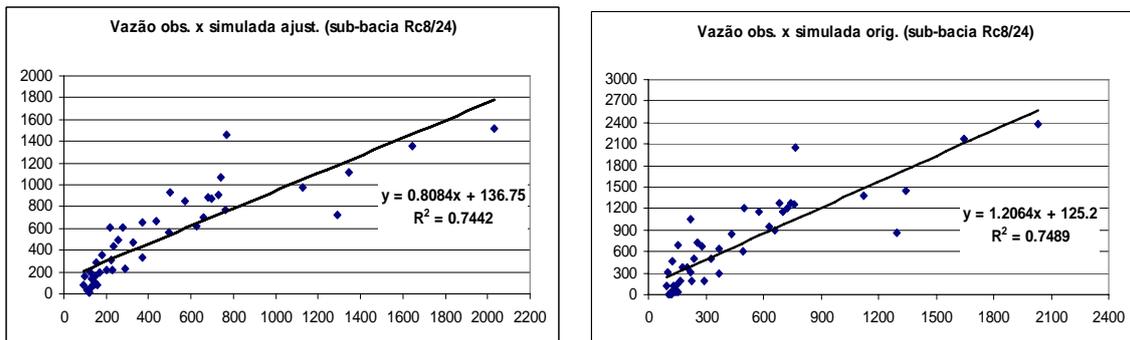


Figura 3- Regressão da vazão observada da estação RC 8, e vazão simulada sub-bacia 24 com os valores sem ajustes (orig.) e os ajustados.

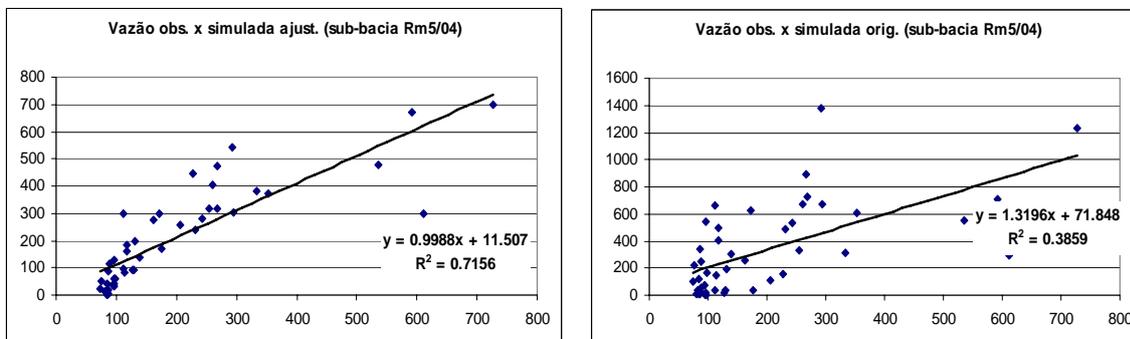


Figura 4- Regressão da vazão observada da estação Rm 5, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes (orig.) e os ajustados.

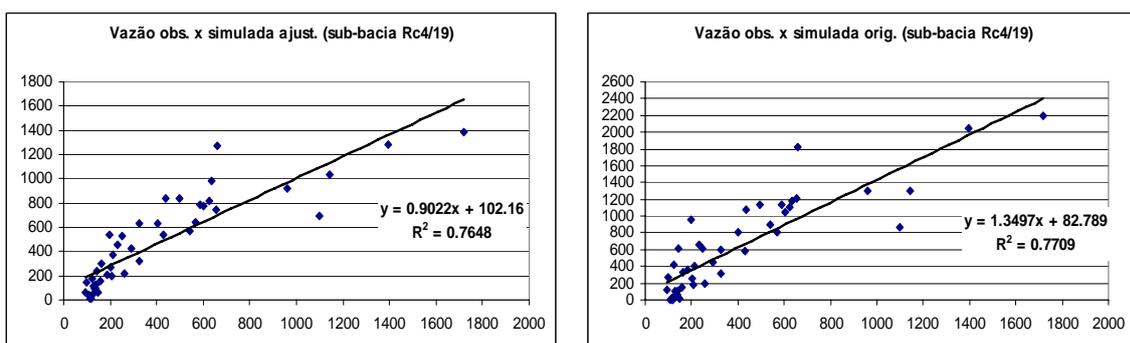


Figura 5- Regressão da vazão observada da estação RC 4, e vazão simulada sub-bacia 19 com os valores sem ajustes (orig.) e os ajustados.

### 8.1.1 Calibração - Sem os meses de seca.

Tabela 03 - Teste *t* – Student, comparando as médias das vazões observadas e simuladas ajustadas, para todo o período, excluindo os meses de seca.

Teste-t: duas amostras em par para médias  
Sem os meses de seca

<i>Vazões:</i>	<i>Observadas</i>	<i>Simuladas</i>
Média	372.3023212	406.6547636
Variância	31823.93964	39157.91629

Observações	5	5
Correlação de Pearson	0.992723883	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-2.569625845	
P(T<=t) uni-caudal	0.031001654	
t crítico uni-caudal	2.131846486	
P(T<=t) bi-caudal	0.062003308	
t crítico bi-caudal	2.776450856	

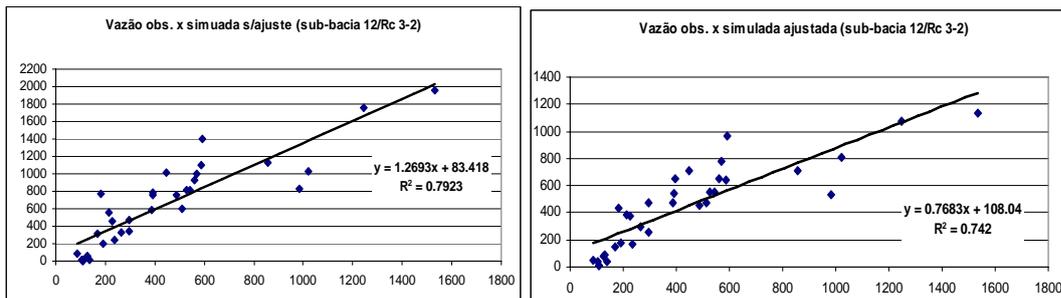


Figura 6- Regressão da vazão observada da estação RC 3-2, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de seca.

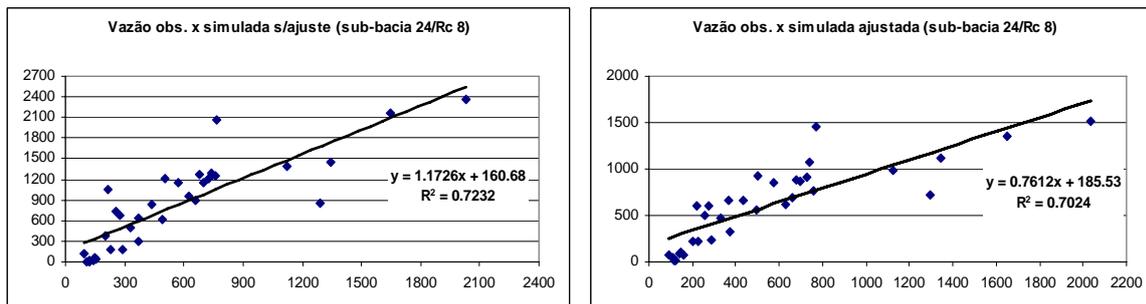


Figura 7- Regressão da vazão observada da estação RC 8, e vazão simulada sub-bacia 24 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de seca.

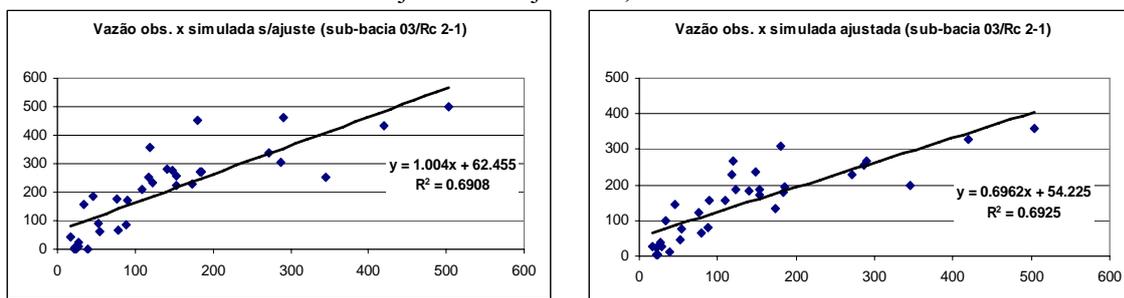


Figura 8 - Regressão da vazão observada da estação RC 2-1, e vazão simulada sub-bacia 03 com os valores sem ajustes (e os ajustados, excluindo os meses de seca.

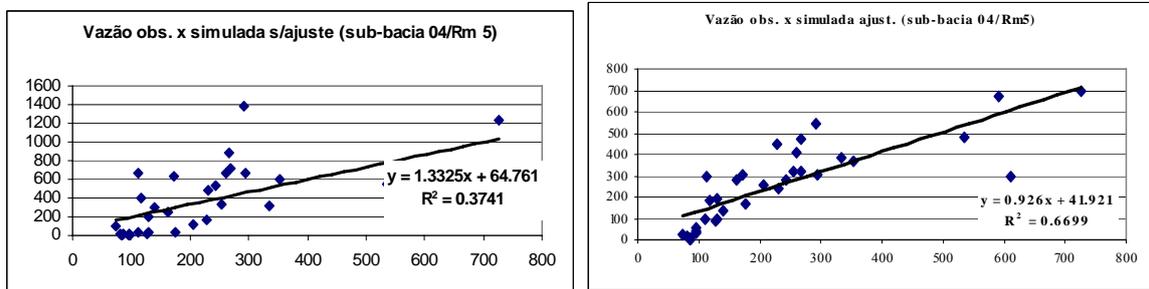


Figura 9 - Regressão da vazão observada da estação Rm 5, e vazão simulada sub-bacia 04 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de seca.

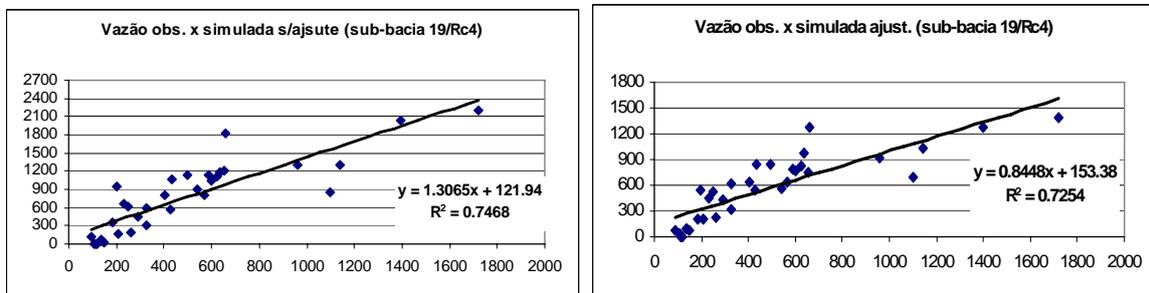


Figura 10 - Regressão da vazão observada da estação Rc 4, e vazão simulada sub-bacia 19 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de seca.

### 8.1.2. Calibração - Sem os meses de chuva.

Tabela 02 - Teste *t* – Student, comparando as médias das vazões observadas e simuladas ajustadas, para todo o período, excluindo os meses de chuva.

Teste-t: duas amostras em par para médias

Sem os meses de chuva

<i>Vazões:</i>	<i>Observada</i>	<i>Simulada</i>
Média	174.3359	201.7057
Variância	6406.986	10372.65
Observações	5	5

Correlação de Pearson	0.975247
Hipótese da diferença de média	0
gl	4
Stat t	-2.06433
P(T<=t) uni-caudal	0.053961
t crítico uni-caudal	2.131846
P(T<=t) bi-caudal	0.107922
t crítico bi-caudal	2.776451

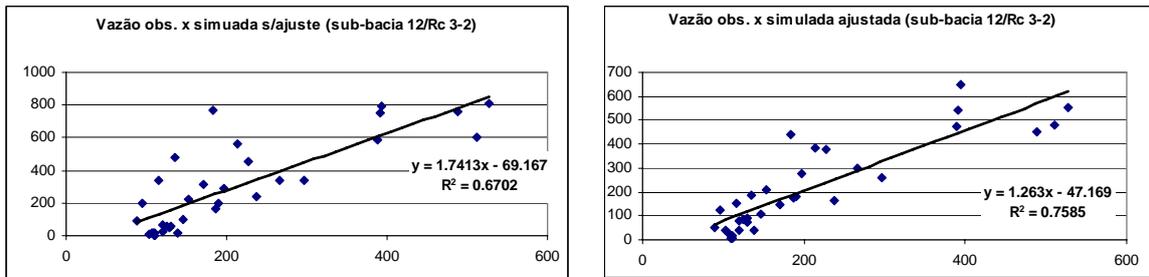


Figura 11 - Regressão da vazão observada da estação Rc 3-2, e vazão simulada sub-bacia 12 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de chuva.

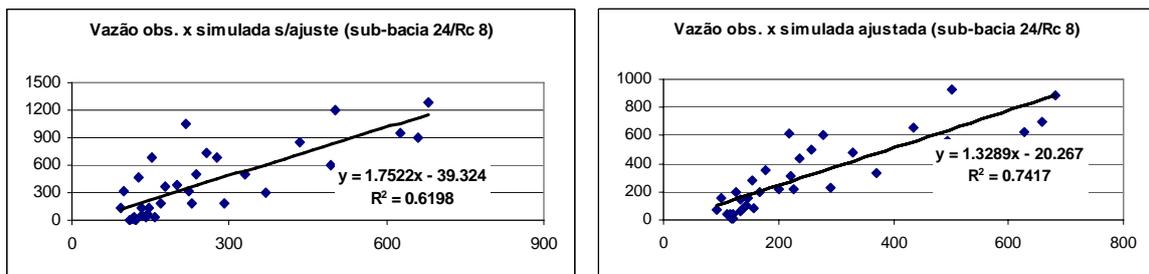


Figura 12 - Regressão da vazão observada da estação Rc 8, e vazão simulada sub-bacia 24 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de chuva.

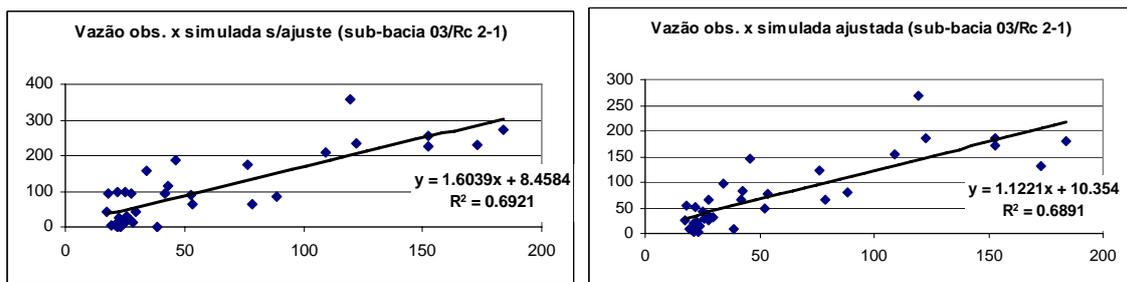


Figura 13 - Regressão da vazão observada da estação Rc 2-1, e vazão simulada sub-bacia 03 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de chuva.

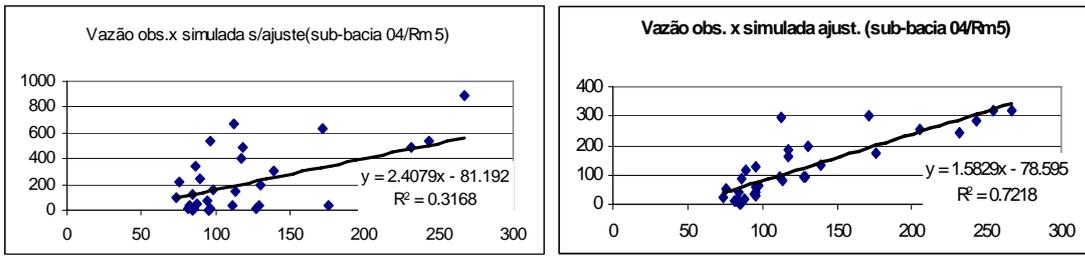


Figura 14 - Regressão da vazão observada da estação Rm 5, e vazão simulada sub-bacia 04 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de chuva.

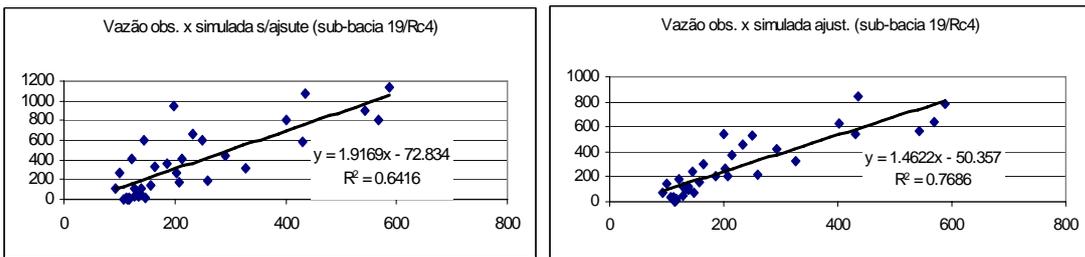


Figura 15 - Regressão da vazão observada da estação Rc 4, e vazão simulada sub-bacia 19 com os valores sem ajustes e os ajustados, excluindo os meses de chuva.

## 8.2 CENÁRIO *i* – MANSO

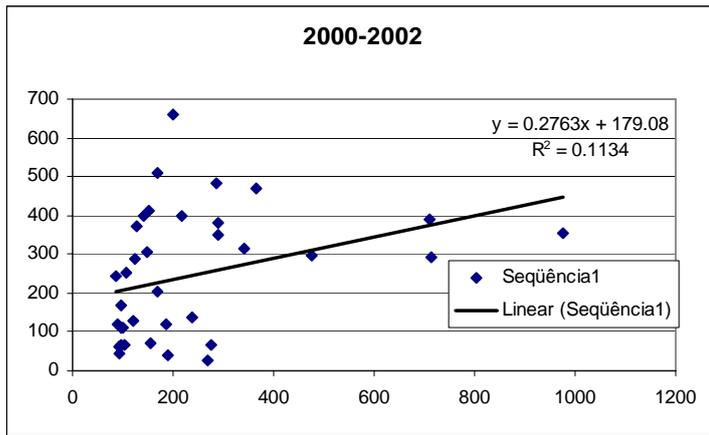


Figura 16 - Regressão da vazão observada da estação RC 3-2, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 12.

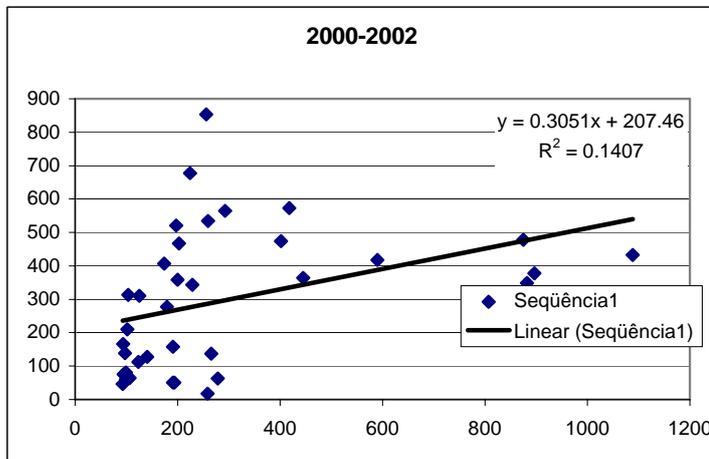


Figura 17- Regressão da vazão observada da estação RC 8, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 24.

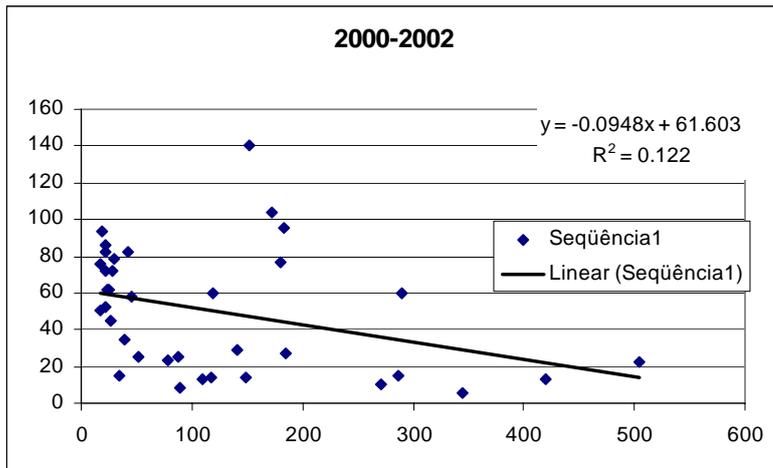


Figura 18- Regressão da vazão observada da estação RC 2-1, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 3.

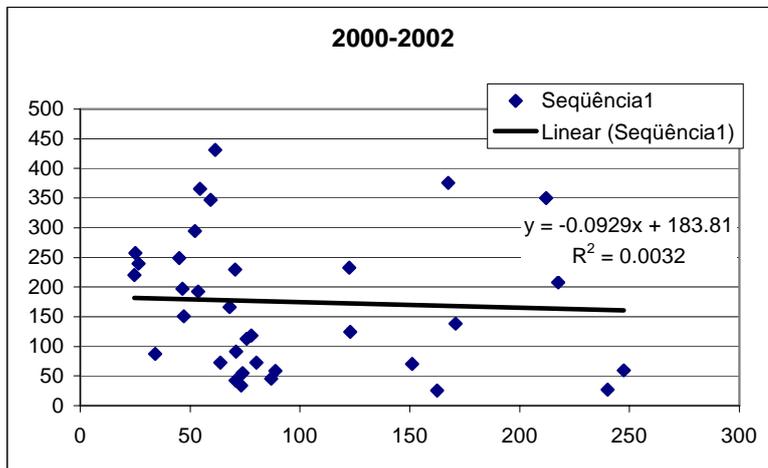


Figura 19- Regressão da vazão observada da estação Rm 5, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 04.

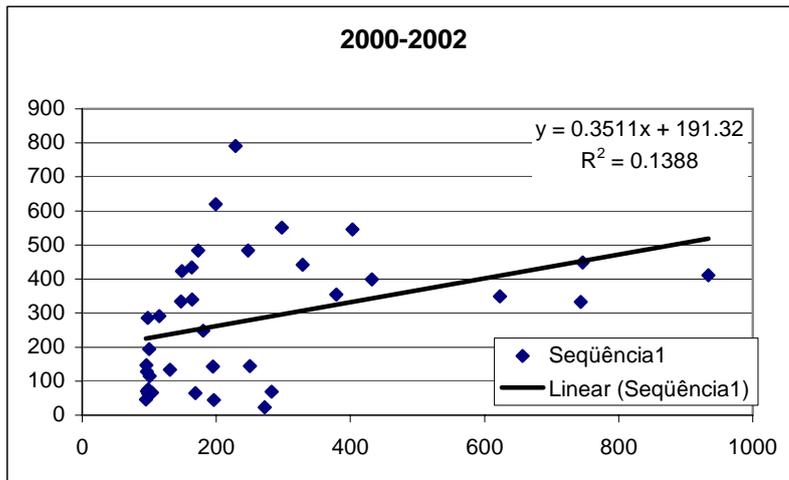


Figura 20- Regressão da vazão observada da estação Rc 4, e vazão simulada ajustada da sub-bacia 19.