



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**  
**CAMPUS DE JI-PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**BRUNO IGLESIAS DINATO**

**APLICAÇÃO DO SWAT PARA SIMULAÇÃO DE SEDIMENTOS E VAZÃO NA  
BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO**

Ji-Paraná  
2013

**BRUNO IGLESIAS DINATO**

**APLICAÇÃO DO SWAT PARA SIMULAÇÃO DE SEDIMENTOS E VAZÃO NA  
BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Ana Lúcia Denardin da Rosa

Ji-Paraná

2013

Dinato, Bruno Iglesias

D583a 2013 Aplicação do SWAT para simulação de sedimentos e vazão na  
bacia do Rio Ji-Paraná-RO / Bruno Iglesias Dinato; orientadora, Ana  
Lúcia Denardin da Rosa. -- Ji-Paraná, 2013  
55 f. : 30cm

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. –  
Universidade Federal de Rondônia, 2013  
Inclui referências

1. Bacias hidrográficas - Rondônia. 2. Recursos hídricos.  
3. Gestão ambiental. 4. Meio ambiente. 5. Solos – Manejo. I. Rosa,  
Ana Lúcia Denardin da. II. Universidade Federal de Rondônia.  
III. Título

CDU 556.51(811.1)

Bibliotecária: Marlene da Silva Modesto Deguchi CRB 11/ 601



**TÍTULO:** APLICAÇÃO DO SWAT PARA SIMULAÇÃO DE SEDIMENTOS E VAZÃO  
NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO.

**AUTOR:** BRUNO IGLESIAS DINATO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, no dia 03 de maio de 2013.

Henrique Bernini (Membro)

Professor do Departamento de Engenharia Civil  
Faculdade de Rondônia (FARO)

Andreza Pereira Mendonça (Membro)

Professora do Instituto Federal de Rondônia  
Instituto Federal de Rondônia (IFRO)

Ana Lúcia Denardin da Rosa (Orientadora)

Professora do Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Ji-Paraná, 03 de maio de 2013.

## *Dedicatória*

*Dedico este trabalho de pesquisa a minha mãe Ercília Iglesias Tchechen Dinato e ao meu pai Jorge Luiz Dinato por todo apoio e trabalho para minha educação. Dedico ainda ao meu irmão e minha cunhada Eduardo Iglesias Dinato e Débora Cristina Dinato por todo incentivo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Durante todo o caminho, encontrei muitas dificuldades, mas para cada dificuldade sempre houve um amigo para transformar essa dificuldade em oportunidade de aprendizado e crescimento, por isso agradeço primeiramente a Deus pelos amigos e família que tenho. Agradeço muito aos meus pais por todo incentivo e pela minha educação, ao meu irmão Eduardo I. Dinato, por toda ajuda, incentivo e companheirismo, à minha cunhada Débora C. Dinato por toda felicidade trazida consigo para a família.

Gostaria de agradecer a Ana L. D. da Rosa pela orientação que culminou nesse trabalho. Agradeço aos professores Andreza Mendonça e Henrique Bernini por toda a colaboração no aprimoramento desta obra. Agradeço ao professor Johannes Gerson Janzen por todo conhecimento transmitido e incentivo à pesquisa. Nesta obra gostaria de agradecer ainda a todos os professores que fizeram diferença no meu crescimento acadêmico e aos professores que me proporcionaram conhecimento base para o início da vida acadêmica. Gostaria de agradecer aos professores: Marcelo B. da Silva, Elisabete L. Nascimento, Gunther Brucha, Gercina N. R. Carmo Jr., Margarita M. D. Orozco, Alex Mota dos Santos, Beatriz M. Gomes, Kécio Leite e Nara L. R. de Andrade. Agradeço aos meus amigos Angela C. Guidelli, Eloiza R. Cremonese, Vanessa H. Andrade, Aline R. Vieira, Lincoln Pontes, Helder S. Necker, Plínio S. Leal, André Paulon, Vinicius S. Souza, Rafael R. Bezerra, Agni de Brito, Shadai Mendes, Larissa Corilaço e Ronei Silva por todas as contribuições que tornaram possível a realização dessa obra. Deixarei aqui o meu agradecimento a todos os discentes da Turma 2009 do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Rondônia pelo tempo em que estivemos trilhando nosso caminho na universidade.

*"Chave que guarda o poder das  
Tendas! Mostre seus verdadeiros  
poderes sobre nós e ofereça-os à valente  
Sakura que aceitou essa missão!  
Liberte-se!"*

(Sakura Card Captors)

## RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná - RO sofreu uma ocupação desordenada, o que afetou de forma drástica as suas características quali-quantitativas. Nesse sentido, a modelagem hidrossedimentológica é uma poderosa ferramenta para auxiliar na correta gestão da bacia hidrográfica, pois possibilita um melhor aproveitamento dos recursos naturais e a preservação destes. Dentre os vários modelos existentes capazes de realizar essa modelagem, destaca-se o SWAT, que vem sendo abordado por vários autores em diferentes regiões. Portanto, esse trabalho tem por objetivo analisar a dinâmica de vazão e sedimentos na bacia do rio Ji-Paraná utilizando o modelo SWAT. Para tanto, foi construído um banco de dados composto por informações de precipitação, clima, topografia, uso e classificação do solo. Posteriormente, calibrou-se o modelo SWAT para a bacia do rio Ji-Paraná com dados de vazão e sedimentos, disponibilizados pela ANA, analisando espacialmente e temporalmente os resultados obtidos pelo modelo. Para a divisão das bacias utilizou-se as estações fluviométricas da ANA. O modelo foi avaliado pelos coeficientes  $r^2$  e coeficiente de NASH, a maioria das bacias obtiveram valores de  $r^2$  satisfatórios para calibração da vazão, porém, nenhuma bacia obteve valores relevantes de  $r^2$  para as variáveis de concentração de sedimentos, sendo que este coeficiente variou de 0,03 até 0,41 para sedimentos e 0,24 até 0,9 para vazão. A maioria das bacias apresentaram valores satisfatórios para o coeficiente NASH na calibração da vazão, entretanto, nenhuma bacia apresentou dados relevantes quanto a calibração de sedimentos, em que o coeficiente NASH variou de -9,22 até 0 para a variável concentração de sedimentos e de 0,14 até 0,87 para vazão. Assim, o modelo apresentou uma boa capacidade de calibração dos dados de vazão.

**Palavras-chave:** Processos hidrossedimentológicos, Modelagem, SWAT.

## **APPLICATION FOR THE SWAT SIMULATION OF FLOW AND SEDIMENT BASIN RIVER JI-PARANÁ - RO**

### **ABSTRACT**

The river basin of Ji-Paraná - RO suffered a disorderly occupation which affected drastically its quali-quantitative characteristics. In that sense, hydrosedimentological modeling is a powerful tool to help the correct river basin management, as it enables a better use and conservation of natural resources. Among the various existing models, the SWAT highlight's itself, as it has been addressed by several authors in different regions. Therefore, this paper aims to analyze the dynamics of flow and sediment in the river basin of Ji-Paraná using SWAT model. To do so, we built a database comprising information of precipitation, climate, topography, land use and soil classification. Subsequently, calibrated the model SWAT for the basin of Ji-Paraná river with sediment and flow data, provided by ANA, spatially and temporally analyzing the results obtained by the model. For the division of the basins, we used the gauged stations of ANA. The model was evaluated by coefficients  $r^2$  and NASH, most basins obtained  $r^2$  values satisfactory for flow calibration, but no basin obtained  $r^2$  values relevant for the variables of sediment concentration. Most basins showed satisfactory values for the calibration coefficient NASH in the flow, but no basin showed relevant data of sediment calibration, when NASH coefficient varied from -9.22 to 0 for the variable concentration of sediment and 0, 14 to 0.87 for flow, the coefficient  $r^2$  ranged from 0.03 to 0.41 for sediment and 0.24 to 0.9 for flow. The model showed a good ability to calibrate the flow data.

**Keywords:** Hydrosedimentological processes, Modeling, SWAT.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>Objetivo geral.....</b>	<b>12</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 CICLO HIDROLÓGICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.1 MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2 SWAT .....</b>	<b>16</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1 Localização e Situação Ambiental.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2 Solos, Cobertura Vegetal e Relevo .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2 Clima e Dados de Vazão.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 SIMULAÇÃO SWAT.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1 Entrada das Variáveis .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2 Calibração .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.3 Variáveis Calibradas .....</b>	<b>33</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS DO RIO JI-PARANÁ .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA HIDROSEDIMENTOLOGICA DA BACIA DO JI-PARANÁ .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3 COMPORTAMENTO DA SIMULAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4 AVALIAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO SWAT.....</b>	<b>50</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>
-------------------------	-----------

## INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná - RO sofreu uma ocupação desordenada, incentivada por meio dos projetos de colonização implantados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) no início da década de 70, período este em que não havia nenhum estudo referente ao planejamento de ocupação dessa bacia. Desse modo, tais ações de ocupação ocasionaram o desmatamento de grandes áreas na bacia hidrográfica, principalmente ao que tange as atividades agrícolas pastoris, as quais eram focos de tais projetos.

Com efeito os solos da bacia do rio Ji-Paraná, como característica típica dos solos da Região Amazônica que enfrentam essa problemática, ficaram expostos a impactos físico-químicos como erosão; redução das reservas de nutrientes; pré-disposição à toxicidade por Alumínio (Al); redução da porosidade total e infiltração de água; e degradação da estrutura do solo.

Nesse sentido, a gestão da bacia hidrográfica é muito importante, uma vez que quando efetuada de forma adequada possibilita um melhor aproveitamento dos recursos naturais e sua preservação. Srinivasan e Arnold (1994) apontam o uso da modelagem hidrossedimentológica como ferramenta para o desenvolvimento de uma correta gestão da bacia hidrográfica.

Assim, o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT), vem ganhando destaque em cenário nacional e internacional, pois foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas. Ele já foi aplicado com sucesso em diversos estudos, dentre os quais podem ser mencionados: Baldissera (2005); Lopes (2008); Machado (2002); e Malutta (2010).

Portanto, a aplicação do SWAT na bacia do rio Ji-Paraná poderia fornecer dados simulados de vazão, sedimentos e qualidade da água. O modelo pode trabalhar com diversos usos, coberturas e tipos de solos o que possibilita uma análise completa do cenário atual da bacia como cenários alternativos e cenários futuros.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Analisar a dinâmica de vazão e sedimentos na bacia do rio Ji-Paraná utilizando o modelo SWAT.

### **Objetivos específicos**

- a) Construir banco de dados constituído por dados de vazão e sedimentos da bacia de estudo juntamente com dados de precipitação, clima, topografia, uso e classificação do solo;
- b) Calibrar o modelo SWAT para a bacia do rio Ji-Paraná;
- c) Analisar espacialmente e temporalmente os resultados obtidos pelo modelo.

## **1 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1 CICLO HIDROLÓGICO E BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Segundo Chow, Maidment e Mays (1988), a água, como substância mais abundante da Terra, é a principal constituinte de todos os seres vivos, tornando-se assim uma força importante que constantemente muda a superfície terrestre. Esta é um fator chave na climatização do planeta e para a existência e progresso da civilização humana.

Segundo Filho e Bondarovsky (2000), a água dispõe-se da seguinte forma: 97% é água salgada que está principalmente nos oceanos e apenas 3% está disponível como água doce. 2% encontra-se em geleiras e apenas 1% está disponível em rios e atmosfera, dados segundo.

Cabe destacar que esse recurso natural passa por um ciclo definido como ciclo hidrológico. Tal fenômeno pode ocorrer em dois sentidos: superfície-atmosfera, sob a forma de vapor, sendo esse considerado o principal elemento responsável pela contínua circulação de água no globo; e atmosfera-superfície, com a água retornando a superfície nas fases líquida e sólida, por meio de precipitações (TUCCI, 2009).

Uma maneira de compreender os fenômenos envolvidos no ciclo hidrológico e o balanço de sua ocasionalidade é estudá-lo em pequenos núcleos de ocorrência desse fenômeno, as chamadas bacias hidrográficas. Tucci (2009) define bacias hidrográficas como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório.

Prioste (2007) complementa ainda que a bacia hidrográfica como uma unidade fisiográfica que recolhe a precipitação e age como um reservatório de água e sedimentos, defluindo-os para uma única seção fluvial, a qual se denomina exutório. Esse autor ainda ressalta que as bacias hidrográficas são limitadas por divisores topográficos ou divisores de água, os quais se tratam das cristas de elevações no terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes.

Assim sendo, para um bom gerenciamento e preservação desse recurso natural é necessária uma boa gestão da bacia hidrográfica, pois é por meio desta ação que surge a possibilidade de assegurar às atuais e futuras gerações a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos com base no manejo integrado dos recursos hídricos (BRASIL, 2006).

## 1.2 PROCESSOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS

Um dos maiores problemas observados em uma bacia hidrográfica é a excessiva produção de sedimentos. Essa problemática pode provocar a redução do potencial de produtividade do solo, lixiviamento de fertilizantes e nutrientes presente no solo, acidificação ou salinização do solo e até mesmo degradação física, como discutido por Ranzini e Lima (2002).

Como método de avaliar a ocorrência desse problema, emprega-se a análise dos processos hidrossedimentológicos. Segundo Lopes (2008), esses processos resultam da interação entre as ações hidrológicas e de transporte de sedimentos, pois a água é um dos principais geradores do desprendimento de partículas de rochas e solos que contribuirão para a produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

Cabe destacar, dentre os fatores que afetam o processo hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica, a sua ocupação, pois as ações antrópicas afetam diretamente esse ciclo acelerando os processos erosivos, modificando as margens dos rios, aumentando a quantidade de depósitos e a instabilidade dos leitos fluviais. Como expostos por Minella (2003) e Sequinato (2007), ambos citados por Rodrigues (2012), as atividades que mais influenciam o ciclo hidrossedimentológico em bacias hidrográficas são: o desmatamento, a agropecuária, a urbanização, a mineração, a construção de estradas, a retificação e o barramento dos cursos de água.

Salienta-se ainda que nas regiões tropicais e subtropicais exista uma maior ocorrência de fenômenos intensos nos regimes pluviométricos, quando comparadas às regiões temperadas, gerando assim desequilíbrio do ciclo hidrossedimentológico que potencializa consequências ainda mais prejudiciais (TUCCI, 2005). O desequilíbrio do ciclo hidrossedimentológico aumenta as chances de assoreamento de corpos hídricos e diminui a qualidade da água, discutido por Barcelos (2005).

Outro fator atuante nos processos hidrossedimentológicos é a erosão, a qual é definida por Magalhães (2001), como um processo mecânico que age em superfície e profundidade, em certos tipos de solo e sob determinadas condições físicas, naturalmente relevantes, tornando-se críticas pela ação catalisadora do homem.

Mota (1995) idealiza que os processos erosivos podem ser acelerados principalmente por meio das práticas agrícolas inadequadas, a ocupação incorreta das áreas, alterações no escoamento natural das águas, movimentos de terra e impermeabilizações de terrenos.

### 1.2.1 MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA

O termo modelagem pode ser entendido por uma ótica geral, como a elaboração de um modelo para a representação de algo. Assim, este possui a função de representar um sistema real ou imaginário por meio de uma linguagem, um meio, e segundo um ponto de vista. Os aspectos mais desejáveis em um modelo são a simplicidade e fidelidade ao sistema que descreve (TRIVELATO, 2003).

Os modelos podem ser classificados em contínuos ou discretos. São contínuos quando há continuidade no tempo e discretos quando as mudanças de estado se dão em intervalos de tempo. A maioria dos sistemas hidrológicos são classificados como contínuos, porém, sua representação se dá por modelo discreto, em função da economia e da precisão dos resultados, visto que quanto maior a sua precisão, maior seu custo. Um modelo ainda pode ser classificado como conceitual ou empírico, sendo que o primeiro leva em consideração nas suas funções os processos físicos e o segundo ajusta valores calculados aos dados observados, através de funções que não tem nenhuma relação com os processos físicos envolvidos (TUCCI, 2005).

O sucesso do modelo reside na eficiência do monitoramento, pois este é calibrado pelos dados monitorados para atingir parâmetros mais próximos à realidade. Por isso, a modelagem e o monitoramento são métodos científicos mutuamente complementares, que são efetuados sempre paralelamente (KOBAYAMA; MANFROI, 1999).

Ao que se confere a garantia de qualidade dos resultados obtidos por modelos, estes podem ser validados através da comparação de suas respostas, com os valores experimentais. Na modelagem, a construção do modelo, a análise deste e a comparação de resultados com experimentos ou observações são etapas comumente presentes na descrição de um processo por equações (CARVALHO, 2003).

Nesses termos, a modelagem hidrossedimentológica configura-se como uma importante ferramenta na avaliação quali-quantitativa da produção e distribuição de sedimentos em bacias hidrográficas num tempo e custo acessíveis. Para aplicação de diversos modelos hidrossedimentológicos, é necessário o conhecimento prévio de algumas variáveis. Essas serão as variáveis que alimentarão o modelo para obtenção da resposta desejada. Dentre elas, destacam-se : uso e cobertura do solo, tipo de solo, clima e relevo.

Entre os softwares utilizados na modelagem hidrossedimentológica, podem ser citados: *Kinematic Runoff and Erosion Model* (KINEROS), SWAT e USLE 2D.

O software Kineros é baseado em uma rede de planos e canais que representam os cursos d'água na bacia, normalmente aplicado em conjunto com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Woolhiser et al., 1990). O mesmo foi aplicado nos estudos de Duru e Hjelmfelt (1994) e Silva e Santos (2008).

Já o Usle 2D utiliza um Modelo Digital de Elevação (MDE) juntamente com um SIG para a estimativa da perda de solo de bacias.

Acerca do modelo SWAT, este é utilizado na escala de bacia hidrográfica com a finalidade de verificar a influência antrópica na sua dinâmica. É um modelo matemático, geralmente aplicado com o SIG (Arcmap). Frisa-se ainda que o SWAT, sobressai dentre os modelos anteriormente mencionados por ser computacionalmente eficiente e permitir avaliar impactos de longo prazo.

### 1.2.2 SWAT

O modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) foi desenvolvido pelo Dr. Jeff Arnold da Agricultural Research Service - ARS do United States Department of Agriculture - USDA (MALUTTA, 2010).

Segundo Srinivasan e Arnold (1994), o SWAT é um modelo matemático de parâmetros distribuídos e contínuos, permitindo assim um número de diferentes processos físicos serem simulados em bacias hidrográficas com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo e escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água.

Os componentes principais do modelo SWAT são hidrologia, clima, sedimentos, temperatura do solo, crescimento vegetal, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola (LOPES, 2008).

A componente hidrológica na metodologia do modelo inclui sub-rotinas do escoamento superficial, percolação, escoamento sub-superficial lateral, escoamento subterrâneo e evapotranspiração (MACHADO; VETTORAZI, 2003).

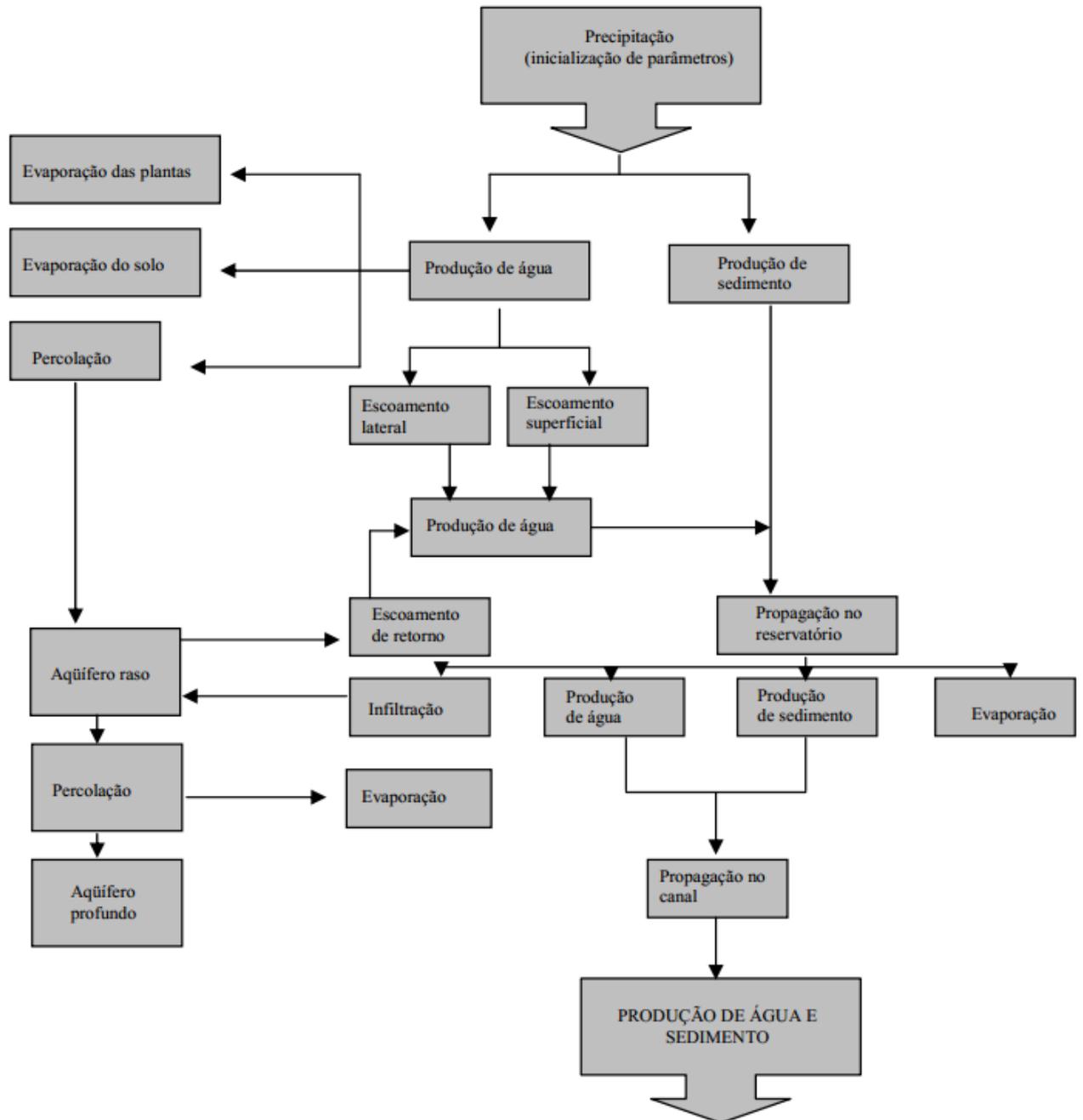
O escoamento superficial é simulado pelo SWAT a partir da precipitação diária pelo método curva número ou número da curva (CN). A eficiência deste método foi vislumbrada no trabalho de Winchell et al. (2008) ao verificar a aplicação do modelo em pequenas bacias hidrográficas rurais ao longo dos Estados Unidos agrícola. Segundo Lopes et al. (2008), o

SWAT particiona a bacia hidrográfica em unidades de resposta hidrológica (HRUs) embasadas no cruzamento de dados como usos e cobertura do solo, tipos de solo e declividade. Neste momento, ocorre o reconhecimento pelo modelo destas características da bacia.

A produção de sedimentos causada pela precipitação e pelo escoamento superficial é calculada pela metodologia do SWAT com a Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) (LOPES et al.,2008, apud WILLIAMS, 1975).

As condições de cobertura vegetal e de resíduos das culturas são essenciais para a estimativa do desprendimento e transporte de partículas do solo. O SWAT estima diariamente o crescimento de plantas pela aplicação de uma versão simplificada do modelo de crescimento de planta EPIC (LOPES et al.,2008, apud WILLIAMS et al., 1984).

Este modelo utiliza os conceitos de desenvolvimento fenológico da planta com base na unidade de calor acumulada diariamente (graus dias), do índice de colheita, do potencial de biomassa e do ajustamento do estresse devido à água e temperatura. O SWAT simula o crescimento de culturas anuais e perenes (LOPES, 2008). Os processos de cálculo do SWAT estão representados na Figura 1.



**Figura 1** – Fluxograma de processamento do SWAT.

Fonte: Grossi (2003), modificado de King et al.(1996).

No mais, é importante destacar que o modelo SWAT é bem versátil dada a sua aplicabilidade em vários estudos, exibidos na Tabela 1. Ele não possui limitações quanto ao tamanho da bacia hidrográfica, pois foi executado com sucesso em amplitudes variando entre 1 km<sup>2</sup> a aproximadamente 29.000 km<sup>2</sup>.

**Tabela 1** - Lista de aplicações do SWAT.

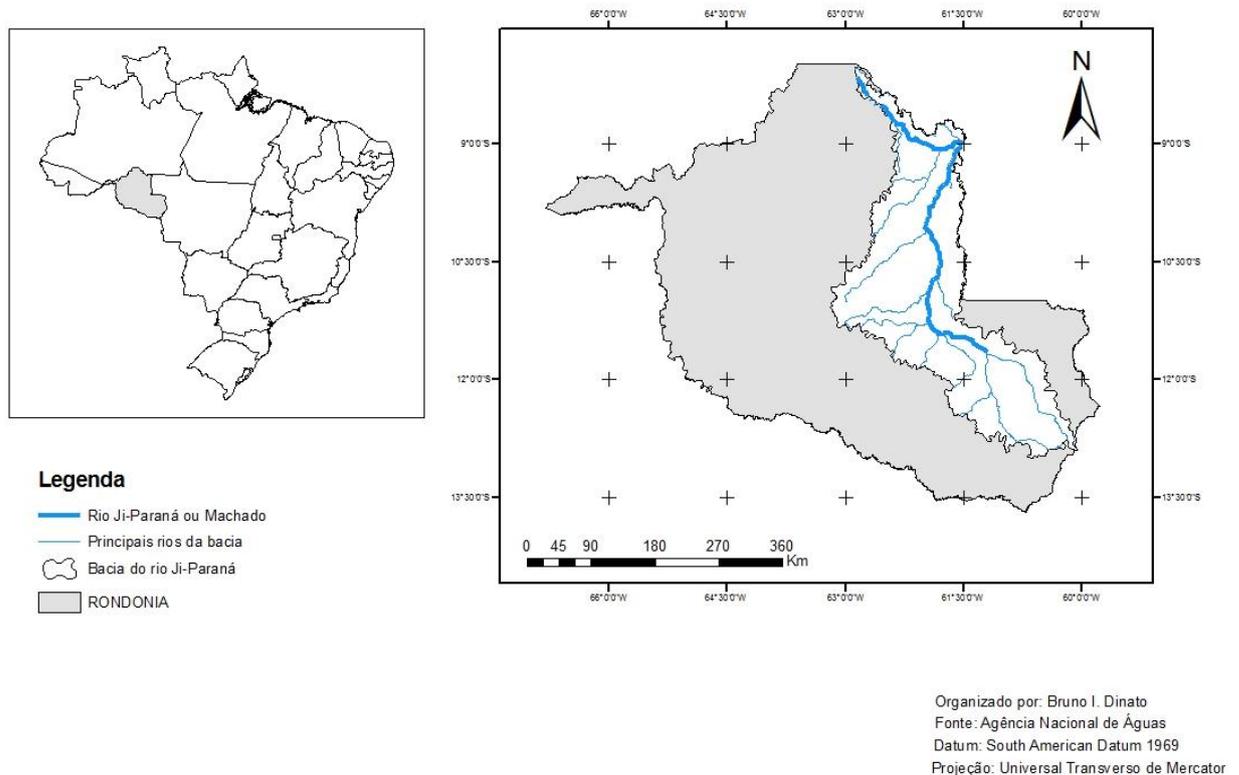
<b>Autor</b>	<b>Área da bacia</b>	<b>Tipo de aplicação</b>	
		<b>Vazão</b>	<b>Sedimentos</b>
Machado (2002)	59,73 km <sup>2</sup>	X	X
Moro (2005)	59,73 km <sup>2</sup>	X	
Baldissera (2005)	28.922,00 km <sup>2</sup>	X	
Armas (2006)	1710,00 km <sup>2</sup>	X	
Adriolo et al. (2008)	535,00 km <sup>2</sup>		X
Blainski et al. (2008)	15,22 km <sup>2</sup>		X
Souza et al. (2009)	787,80 km <sup>2</sup>	X	
Uzeika (2009)	1,19 km <sup>2</sup>		X

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1.1 Localização e Situação Ambiental

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná (FIGURA 2), ou Machado, é uma das sete principais bacias do estado de Rondônia, segundo a divisão realizada pelo estudo de Silva e Zuffo (2002). Ela está localizada na Amazônia Ocidental entre os paralelos de 08° 00' e 13° 00' de Latitude Sul e meridianos de 60° 00' e 63° 00' de Longitude Oeste.



**Figura 2** – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ji-Paraná.

A extensão dessa bacia é de 80.630,566 km<sup>2</sup>, sendo a maior dentre as bacias totalmente inseridas no estado. Ela encontra-se situada na porção leste de Rondônia, banhando a maior parte dos municípios deste estado, servindo tal rio como meio de irrigação de áreas agrícolas e fonte de lazer e turismo (SILVA e ZUFFO, 2002).

O principal rio desta bacia, rio Ji-Paraná, tem suas nascentes formadas por dois rios: Comemoração e Pimenta Bueno, os quais apresentam baixo grau de alteração do uso e cobertura do solo em seus trechos iniciais, o rio Ji-Paraná também recebe a contribuição de outros cinco tributários principais: Rolim de Moura, Urupá, Jarú, Machadinho e Preto (KRUSCHE et al., 2005).

A importância desta bacia é tamanha que a cidade de Ji-Paraná-RO é influenciada diretamente pelo Rio Machado, pois esta se desenvolveu nas duas margens deste rio (SILVA et al., 2009). Destacando que o município de Ji-Paraná é o segundo maior, em termos populacionais, do estado de Rondônia. No entanto, o desenvolvimento antrópico do estado em relação à bacia hidrográfica do Rio Machado deu-se de forma insustentável, pois como

ressalta Krusche et al. (2005), a bacia de drenagem do Rio Machado apresenta uma das regiões com maiores taxas de desmatamento na Amazônia.

Assim, revela-se uma ocupação desordenada pelos populares nas margens desse corpo hídrico, o que leva a uma degradação ambiental deste, como constatou Oliveira e Oliveira (2009) ao analisar as influências antropológicas no bairro Dom Bosco, o qual tem uma alta densidade hidrográfica e acompanha o Rio Machado por cerca de 3 km. Áreas que deveriam estar preservadas por Lei são ocupadas por residências, degradando a hidrografia local.

Situação semelhante foi descrita por Fausto et al. (2009) ao analisar a importância da preservação dos recursos naturais no Município de Ji-Paraná, constatando a degradação da qualidade da água por esgoto doméstico e a diminuição das matas ciliares.

Vale salientar que o Rio Machado pode ser alvo de contaminação também pelas fossas domésticas da região de Ji-Paraná, pois segundo Silva et al. (2009), o aquífero da cidade de Ji-Paraná possui uma grande vulnerabilidade ambiental, por se tratar de um sistema urbano raso, poroso e permeável, além da baixa profundidade dos níveis estáticos, tornando-o susceptível à introdução de compostos nitrogenados, provenientes da matéria degradada nas fossas. Logo, tais contaminantes podem trazer agravos à saúde dos habitantes que fazem uso dos poços dessa região, como também dos populares que se servem de águas não tratadas do Rio Machado devido a este ser ligado ao aquífero por relações hidrológicas.

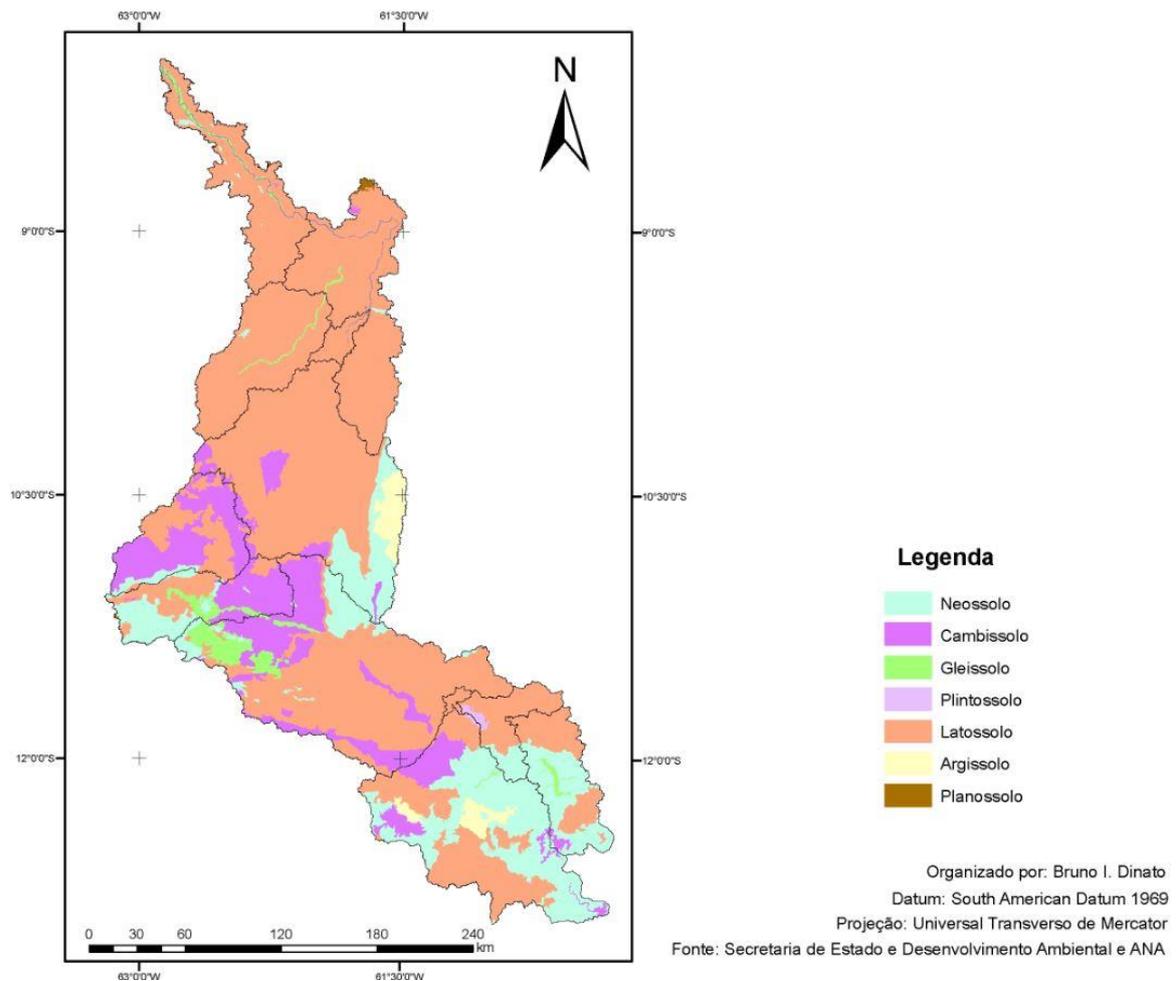
Ressalta-se também que a sociedade ji-paranaense sofre prejuízos materiais devido à ocupação irregular das margens do Rio Machado, pois se constata todos os anos a ocorrência de enchentes pelo transbordamento da calha do rio, obrigando dessa forma as famílias que vivem no entorno de suas margens a desocuparem suas casas. Sendo esses acontecimentos descritos por Neves (2011) e Panobianco (2010).

### **2.1.2 Solos, Cobertura Vegetal e Relevo**

A região encontra-se representada estratigraficamente pelo embasamento cristalino Pré-Cambriano, denominado de Complexo Jamari, que compreende unidades litoestratigráficas e sistemas estruturais envolvidos em longa geodinâmica, com registros nos primórdios do Paleoproterozóico (1,8 a 1,6 bilhões de anos), culminando, segundo Bacci (2005), na deposição das chamadas coberturas Cenozóicas num período mais recente (2 milhões de anos até o recente). Conforme Quadros e Rizzotto (2007), as rochas do Complexo

Jamari têm ampla distribuição na porção centro-leste de Rondônia, perfazendo os municípios de Ariquemes a Ji-Paraná, e no extremo oeste do estado, divisa com o Acre.

Os tipos de solos da bacia do rio Ji-Paraná foram obtidos por meio do Zoneamento Socio-Economico-Ecológico (ZSEE) do Estado de Rondônia (FIGURA 3), os quais estavam em grau de detalhamento escalar de 1:250000 e foi publicado durante o ano de 1997.



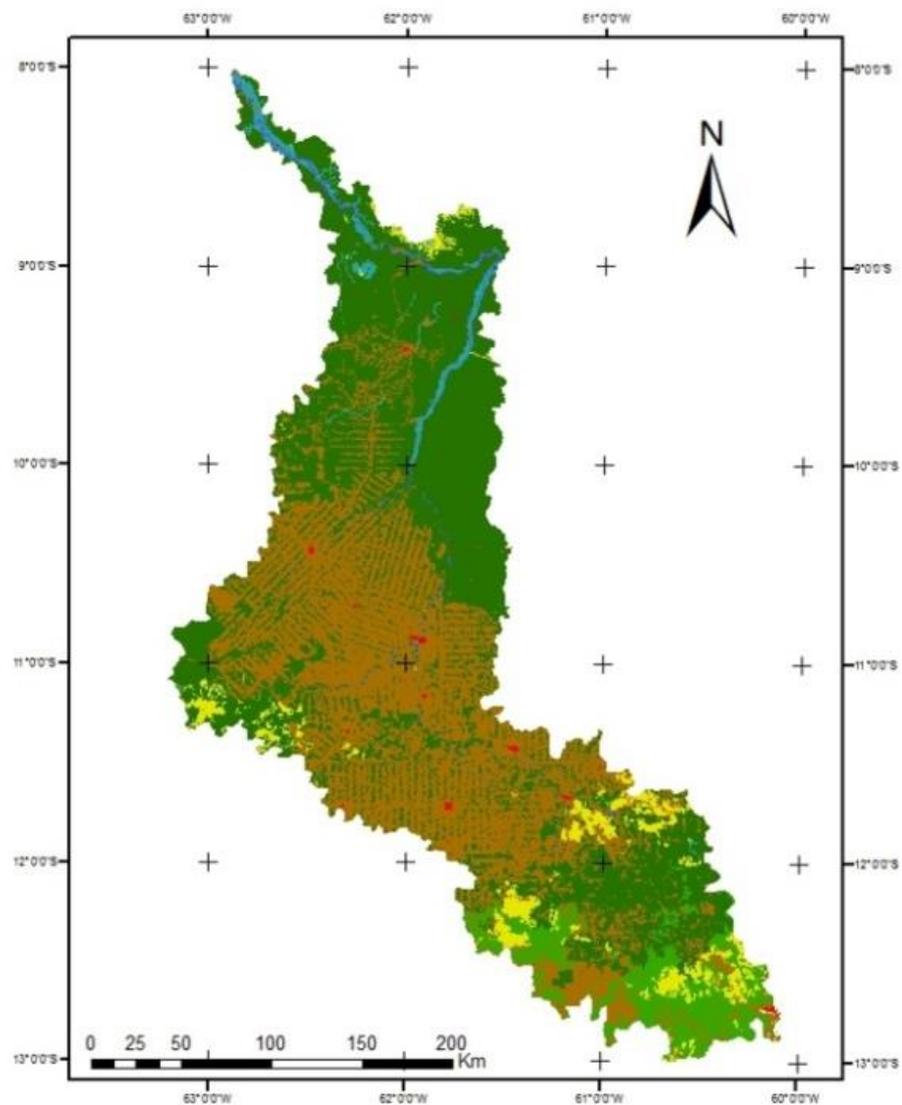
**Figura 3** – Classificação dos solos da bacia do rio Ji-Paraná.

As propriedades físico-hídricas inerentes de cada classe de solo existente nessa bacia hidrográfica utilizadas na simulação, bem como as fontes de captação dos dados desta bacia estão sumarizadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Propriedades dos solos utilizadas na simulação do SWAT.

<b>Propriedade do solo</b>	<b>Fonte dos dados</b>
Nome do solo	ZSEE (1997)
Número de camadas no Perfil do solo	ZSEE (1997)
Grupo hidrológico do solo	Baldissera (2005)
Profundidade das raízes	Baldissera (2005)
Porosidade do solo em que ânions são excluídos	Baldissera (2005)
Selamento superficial	Baldissera (2005)
Textura	ZSEE (1997)
Profundidade	ZSEE (1997)
Densidade do solo seco, ou aparente, ou global	ZSEE (1997)
Capacidade de armazenamento de água	Baldissera (2005)
Carbono orgânico	Baldissera (2005)
Condutividade hidráulica saturada	Baldissera (2005)
Percentual de argila	ZSEE (1997)
Silte	ZSEE (1997)
Areia	ZSEE (1997)
Pedra	ZSEE (1997)
Albedo do solo em condições saturadas	Baldissera (2005)
Fator de erodibilidade do solo	Baldissera (2005)
Condutividade elétrica	ZSEE (1997)

Mercuri et al. (2009) desenvolveu a parametrização de dados dos solos brasileiros, visto a pouca disponibilidade de dados regionais, facilitando a aplicação de modelos hidrológicos. Esses dados são provenientes do trabalho de Baldissera (2005). No que concerne o uso e cobertura do solo (FIGURA 4), estes foram extraídos por meio da fusão dos dados de cobertura vegetal e ocupação do solo, disponibilizados no ZSEE.



### Legenda

- Floresta Estacional Semidecidual
- Floresta Ombrófila
- Pastagem
- Cerrado
- Área Urbana
- Água
- Formação Pioneira Fluvial

Organizado por: Bruno I. Dinato  
 Datum: South American Datum 1969  
 Projeção: Universal Transverso de Mercator  
 Fonte: Agência Nacional de Águas e ZSEE

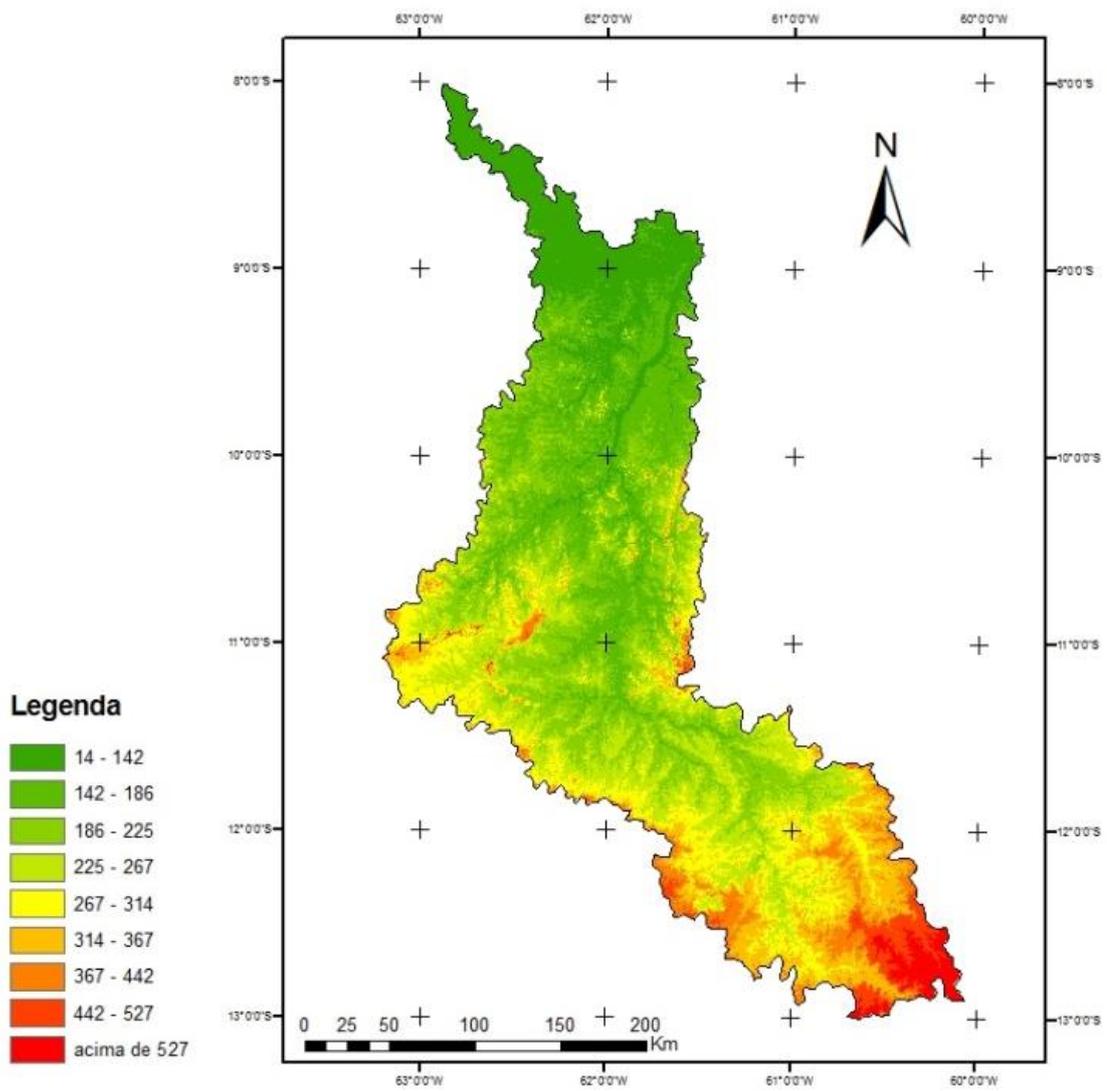
**Figura 4** – Cobertura vegetal e ocupação do solo.

Scandolaro (1999); e Quadros e Rizzotto (2007) mencionam que o Complexo Jamari é representado por ortognaisses de composição predominantemente granítica a granodiorítica, gnaisses paraderivados, metagabros e metaultramáficas, metamorfisadas em grau médio a alto. Não ocorrem afloramentos rochosos do embasamento cristalino nos pontos amostrais

selecionados para estudo, sendo, entretanto, observados no leito e às margens do rio Ji-Paraná.

Segundo Krusche et al. (2005), a maior parte da área de drenagem do rio Ji-Paraná possui solos eutróficos, predominantemente latossolos e podzólicos, com potencial agrícola, ao contrário do que ocorre na maior parte do estado, em que há predominância de solos antigos, extremamente intemperizados, com baixos níveis de nutrientes, elevada acidez, baixa capacidade de troca catiônica e condições de drenagem pobre.

O estado de Rondônia apresenta altitudes que variam entre 70 e 600 metros, sendo suas principais unidades de relevo: Planícies Amazônicas; Depressões (Amazônia Meridional, Guaporé e Solimões); Planaltos (Amazônia Meridional e dos Parecis); Pantanal do Guaporé (BRASIL, 1978). A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, por estar nessa região, apresenta as mesmas configurações de relevo, tal como se observa na Figura 5, a qual foi obtida através de imagens ASTER GDEM V2. Dias (2011) destaca ainda que altitude média da bacia do Rio Ji-Paraná varia entre os 130 a 580 metros e a cobertura vegetal predominante da região é composta por floresta ombrófila.



**Figura 5** – Relevo na bacia do rio Ji-Paraná.

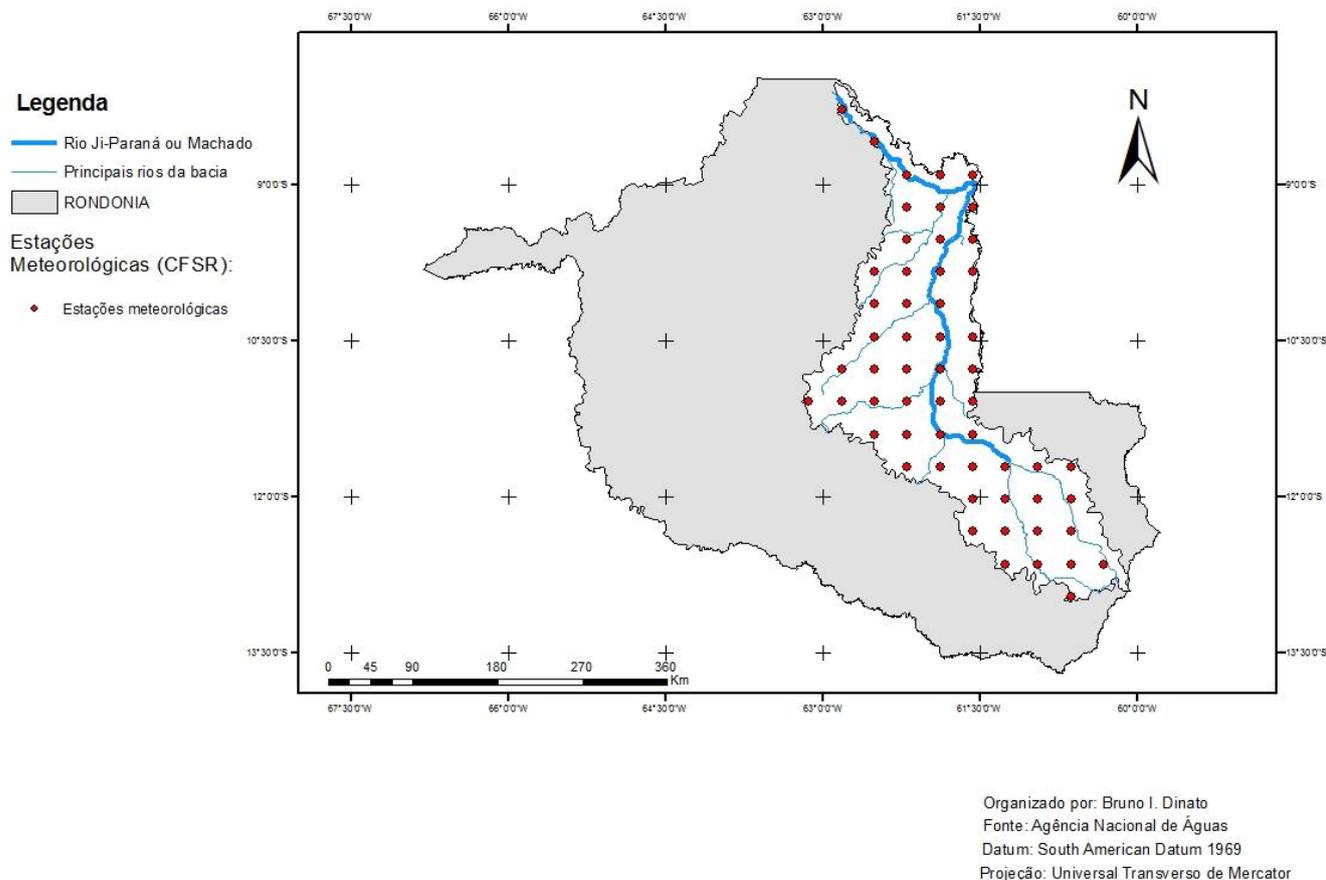
### **2.1.2 Clima e Dados de Vazão**

A área de estudo tem o clima caracterizado como AW (tropical-quente e úmido) na classificação de Köppen, como revela a Secretária do Estado de Desenvolvimento Ambiental – SEDAM – (2009).

Para aplicação do modelo SWAT, como dito anteriormente, são necessários os dados climatológicos, os quais foram obtidos por meio da metodologia Freitas et al. (2010).

Essa metodologia consiste na criação de estações virtuais para o aferimento de dados provenientes de imagens de sensores disponíveis na Global Precipitation Climatology Project (GPCP) – (2012), ou seja, de forma simples, tal método reside em especializar pontos nas junções de pixels das imagens adquiridas. No caso do presente estudo, a distância entre as estações virtuais é definida pela resolução das imagens.

Posteriormente a tais pontos serão atribuídos valores das seguintes variáveis climatológicas: precipitação, temperatura, velocidade do vento, umidade relativa e radiação solar. Cabe destacar que esse método é ressaltado por Quadro et al. (2012) como uma maneira eficaz de obtenção de dados meteorológicos, dada ao seu baixo erro quando comparado aos dados medidos por estações. A Figura 6 apresenta as estações virtuais criadas para a bacia do rio Ji-Paraná.



**Figura 6** – Estações Meteorológicas virtuais na bacia do rio Ji-Paraná.

Conforme destaca Butt, Oliveira e Costa (2011), a chuva na região é de monções e, portanto, só ocorre durante a época do ano em que o continente é aquecido acima dos níveis de temperatura da superfície do oceano e se torna um centro de convecção, onde há uma ampla oferta de umidade para a condensação.

A precipitação pluviométrica anual na bacia do estudada é, em média, acima de 2.000 mm, com umidade relativa do ar média de 82% e temperatura média anual oscilando de 24 °C na estação chuvosa a 25 °C na seca (AGUIAR et al., 2006; WEBLER; AGUIAR; AGUIAR, 2007). Vale ressaltar que em Ji-Praná, segundo o estudo de (SOUZA, 2012), as chuvas de tempo de retorno igual a 5 anos e de 5 minutos, tem intensidade de 113,121 mm/h, sendo essas de alto fator erosivo.

Os dados de vazão utilizados neste procedimento foram obtidos por meio do banco de dados de estações fluviométricas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Destaca-se que as informações desse banco vêm sendo utilizadas em vários estudos

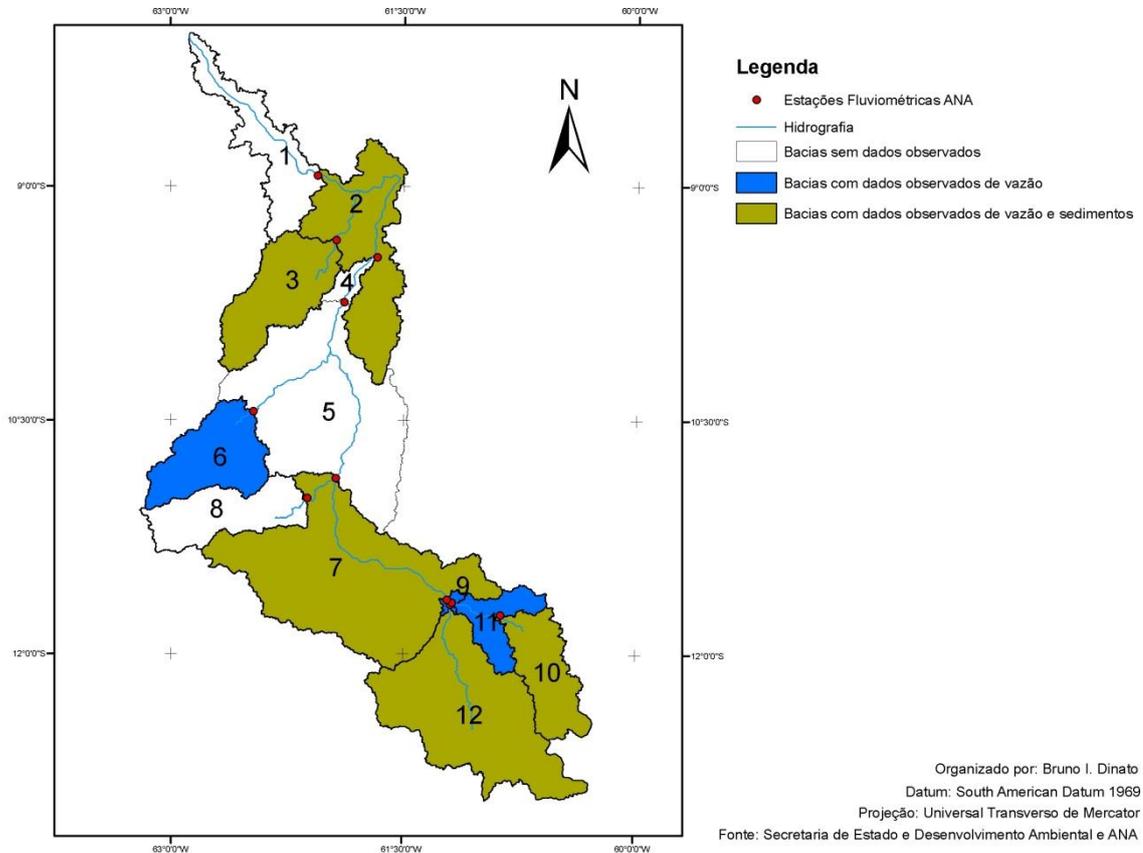
similares, dentre os quais: Oliveira et al. (2011); Paiva et al. (2011); Salles (2012); Sangoi (2007); Silva, Chaves e Camelo (2011).

Na Tabela 3 apresentam-se algumas informações mais detalhadas das estações utilizadas no estudo. cabe frisar que para a elaboração do trabalho utilizou-se apenas o período 1995 a 1998, pois este possui uma série de dados consistente e apresentar menos falhas. As falhas interferem na calibração do modelo, diminuindo a sua eficácia.

**Tabela 3** - Estações fluviométricas presentes na bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná.

Bacia	Código	Nome	Latitude	Longitude	Série dos Dados (anos)		Número de meses efetivos	
					Vazão	Sedimentos	Vazão	Sedimentos
02	15580000	TABAJARA	S 08° 55' 56"	O 62° 03' 20"	28	28	307	40
03	15575000	PIRATININGA	S 09° 20' 50"	O 61° 56' 05"	21	6	226	23
04	15571200	REBIO JARU	S 09° 27' 21"	O 61° 40' 12"		-		
05	15571100	FÁBIO BARRAGEM	S 09° 44' 35"	O 61° 52' 54"		-		
06	15565000	JARU	S 10° 26' 45"	O 62° 27' 56"	24	-	264	
07	15560000	Ji-PARANÁ	S 10° 52' 25"	O 61° 56' 08"	29	31	310	88
08	15558500	FAZENDA APURÚ	S 11° 00' 06"	O 62° 07' 02"		-		
09	15559000	SÍTIO BELA VISTA	S 11° 39' 93"	O 61° 12' 54"	21	-	224	
10	15552600	FAZENDA FLOR DO CAMPO	S 11° 44' 56"	O 60° 52' 40"	24	28	270	61
11	15552700	PONTE COMEMORAÇÃO	S 11° 40' 13"	O 61° 10' 52"		-		
12	15558000	PIMENTA BUENO	S 11° 41' 01"	O 61° 11' 03"	20	20	218	69

De posse das estações foi possível gerar a Figura 7, que apresenta a disposição destas sobre bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná e elas foram utilizadas para a criação das 12 sub-bacias.



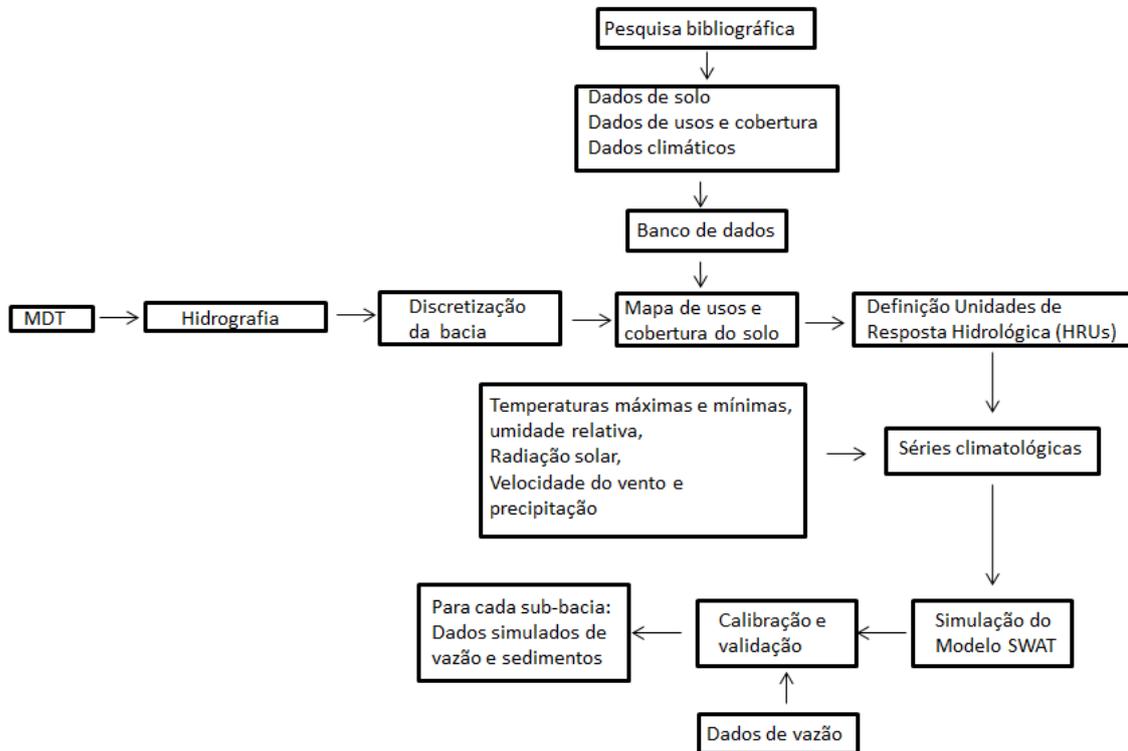
**Figura 7** - Localização das estações fluviométricas do estado de Rondônia utilizadas neste estudo.

No que concerne os dados de sedimentação, estes estavam disponíveis apenas nas estações Piratininga; Ji-Paraná; Pimenta Bueno e Fazenda Flor do Campo.

## 2.2 SIMULAÇÃO SWAT

Como mencionado anteriormente no item 1.2.2 dessa obra, o modelo SWAT foi escolhido dada as vantagens de seu uso, o qual também está destacado no trabalho de Silva (2010). Este foi utilizado por meio do Software ArcGIS ArcSWAT 9.3.3.

O período simulado foi entre os anos de 1995 e 1998, os procedimentos executados encontram-se esquematizados na Figura 8. Nos tópicos a seguir as etapas de execução de entrada dos dados e calibragem serão explanadas.



**Figura 8** - Fluxograma do modelo SWAT.

### 2.2.1 Entrada das Variáveis

Em sua aplicação, o sistema foi alimentado pelas seguintes variáveis: Modelo digital do terreno hidrológicamente consistente (MDEHC); Tipos de solo; Rede hidrográfica; Máscara com o limite da bacia; Uso e cobertura do solo na bacia; Dados climatológicos e pluviométricos.

O modelo digital da bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, apresentado na Figura 5, foi gerado por meio de imagens ASTER V2, disponíveis no sítio da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), as imagens são do ano de 2011. Elas passaram por um processo de correção de pixels, utilizando a metodologia Fill e a metodologia Agree, explicitadas no trabalho de Sadeq, Drummond e Li (2012).

Posteriormente, de posse do MDEHC, a rede hidrográfica pode ser gerada ao adicioná-lo no software ArcSwat 2009 (WINCHELL et al., 2008).

A máscara foi criada com a função de delimitar o MDEHC na geração da hidrografia, sendo que para tal utilizou-se o shape da bacia do Rio Ji-Paraná, disponibilizado pela ANA.

### **2.2.2 Calibração**

A fim de verificar se os dados obtidos pela simulação do SWAT eram passíveis de serem utilizados, o modelo passou por um processo de calibração, ou seja, os dados de vazão e sedimentos simulados foram comparados com dados reais dessas variáveis. A calibração foi desenvolvida para o período entre 1995 e 1998.

Os coeficientes empregados na avaliação da eficiência da simulação SWAT foram o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH), para ajuste dos dados simulados para com os dados medidos.

Segundo Lopes (2008), o coeficiente de determinação analisa o desempenho da acurácia dos dados enquanto o coeficiente NASH analisa individualmente os dados verificando a diferença de sua magnitude, sendo esse um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar a precisão de modelos hidrológicos (MACHADO et al., 2003). Valores de NASH maior que 0,4 e  $R^2$  maior que 0,5 indicam o desempenho satisfatório do modelo (GREEN e VAN GRIENSVEN, 2008). Salientando-se que o cálculo desses coeficientes foi obtido pelo *software* SWAT-CUP.

### **2.2.3 Variáveis Calibradas**

O software SWAT-CUP foi utilizado para a calibração de 8 variáveis, sendo que no presente estudo não foi desenvolvido o ranking de variáveis para calibração. As variáveis utilizadas foram: Coeficiente de rugosidade de Manning, coeficiente REVAP, profundidade limiar da água no aquífero superficial necessária para o fluxo de retorno ocorrer, fator de compensação ESCO, curva SCS número f, condutividade hidráulica efetiva em canal principal, condutividade hidráulica saturada e atraso nas águas subterrâneas.

O coeficiente de Manning é um coeficiente de rugosidade utilizado para o cálculo de vazão em canais. Segundo Chow (1959), o coeficiente varia de acordo com a profundidade e a configuração da seção.

O coeficiente REVAP é função da evaporação de água do solo. Segundo Silva (2011), esse coeficiente é significativo em bacias onde a zona saturada não está muito abaixo da superfície ou em locais onde plantas com raízes profundas se desenvolvem, ele varia principalmente com o uso do solo.

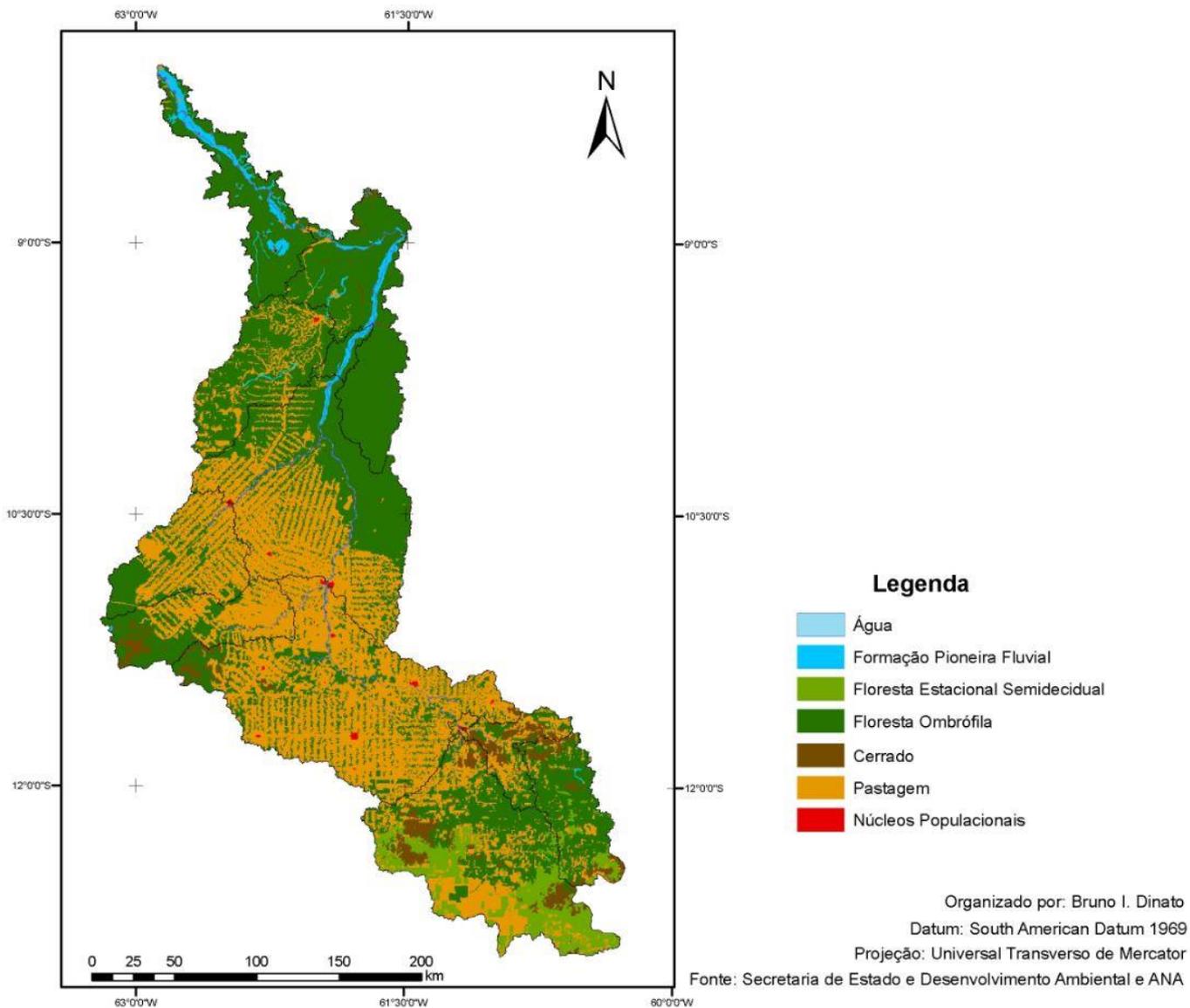
A profundidade limiar da água no aquífero superficial necessária para o fluxo de retorno ocorrer é a quantidade de água no aquífero raso para haver a percolação para o profundo. O fator de compensação de evaporação do solo (ESCO), segundo Lopes (2008), é o coeficiente da distribuição da profundidade para a demanda de evaporação do solo. O coeficiente ESCO é utilizado para corrigir o escoamento superficial através da evaporação do solo.

O escoamento SCS número f, segundo Silva (2011), é uma constante que determina o valor inicial da curva de escoamento no método curva número. O atraso nas águas subterrâneas é o tempo de atraso para recarga do aquífero.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS DO RIO JI-PARANÁ**

A área de estudo apresenta uma elevação média de 130 metros. A distribuição do uso e ocupação do solo era: 0,43% de água, 1,87% de florestas aluviais e fluviais, 4,95% eram florestas Estacionais Semidecíduais, 50,37% eram florestas ombrófilas e áreas de transição para o cerrado, 3,63% da área da bacia era composta por cerrado, 38,5% da bacia era composta por pastagem e 0,24% era composta por núcleos populacionais, conforme é possível visualizar na Figura 9.



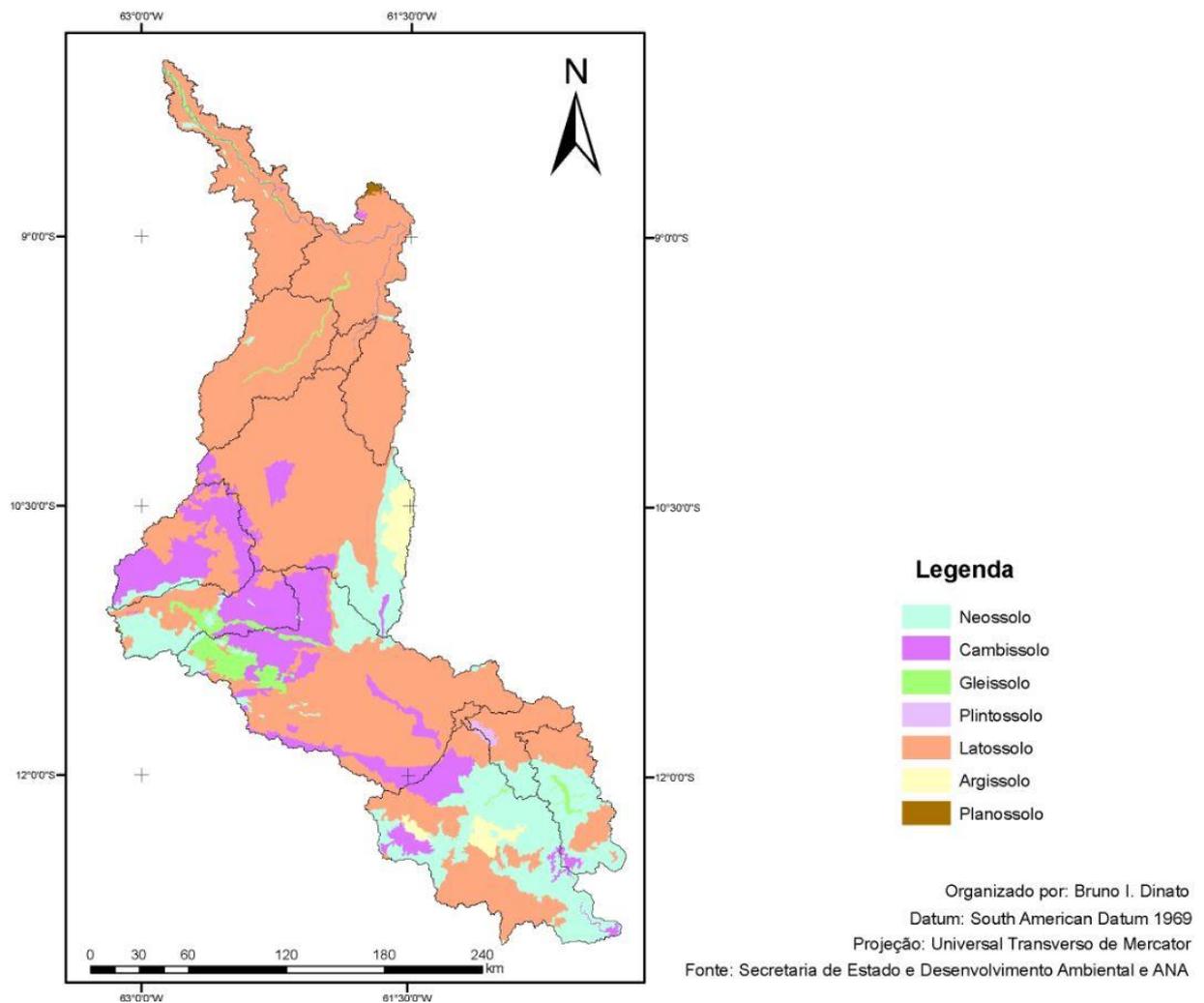
**Figura 9** – Classificação de uso e ocupação da bacia do rio Ji-Paraná.

A bacia não configura um relevo acidentado, é difundida da seguinte maneira: uma área que corresponde a 42,49% da área total da bacia apresenta declividade no intervalo de 0 a 3% e declividade de 3 a 6% corresponde a uma área de 29,84% da bacia, de 6 a 12% tem 22,01% da área da bacia e acima de 12% uma área de 5,65% da bacia do rio Ji-Paraná. A declividade ao longo da bacia sofre pequenas alterações, sendo as maiores declividades encontradas nas bacias mais ao sul.

A distribuição dos solos da bacia se divide em sete classes taxonômicas: 2,1% dos solos da bacia são Argissolos, 13,92% pertencem a classificação dos Cambissolos, 2,54%

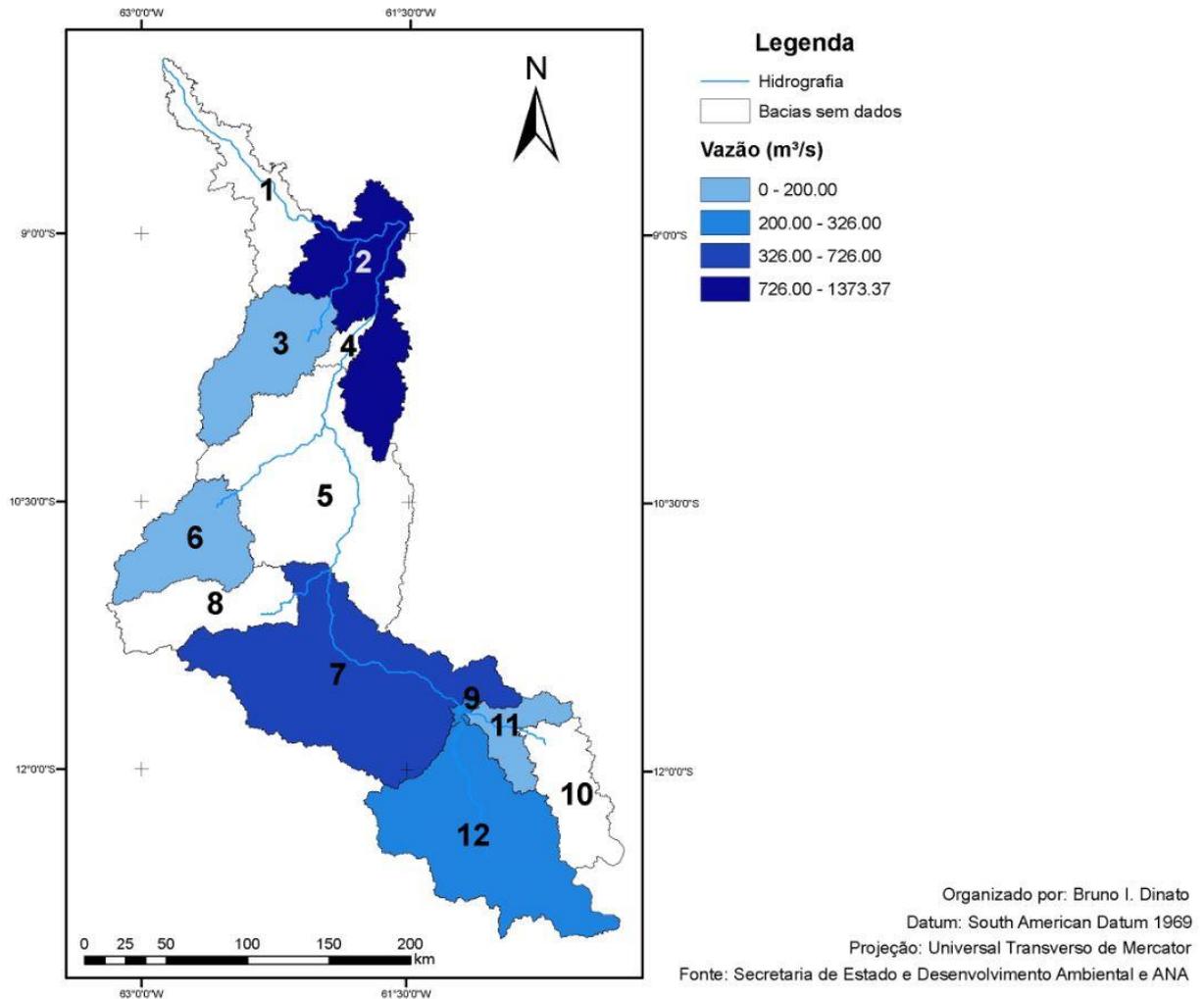
pertencem ao grupo dos Gleissolos, 64,12% são classificados como Latossolos, 16,88% são Neossolos e 0,43% são Planossolos e Plintossolos.

Segundo Salomão et al. (2007), os Neossolos são solos muito erodíveis, em função da água acumulada na superfície do solo. Essa classe de solo é inadequada a culturas anuais. Mercuri et al.(2009) define os Latossolos como solos bem drenados, argilosos ou muito argilosos. Os solos argilosos têm um coeficiente de *Runoff* elevado, resultando em uma maior vazão no escoamento superficial.



**Figura 10** – Classe taxonômica dos solos da bacia do rio Ji-Paraná.

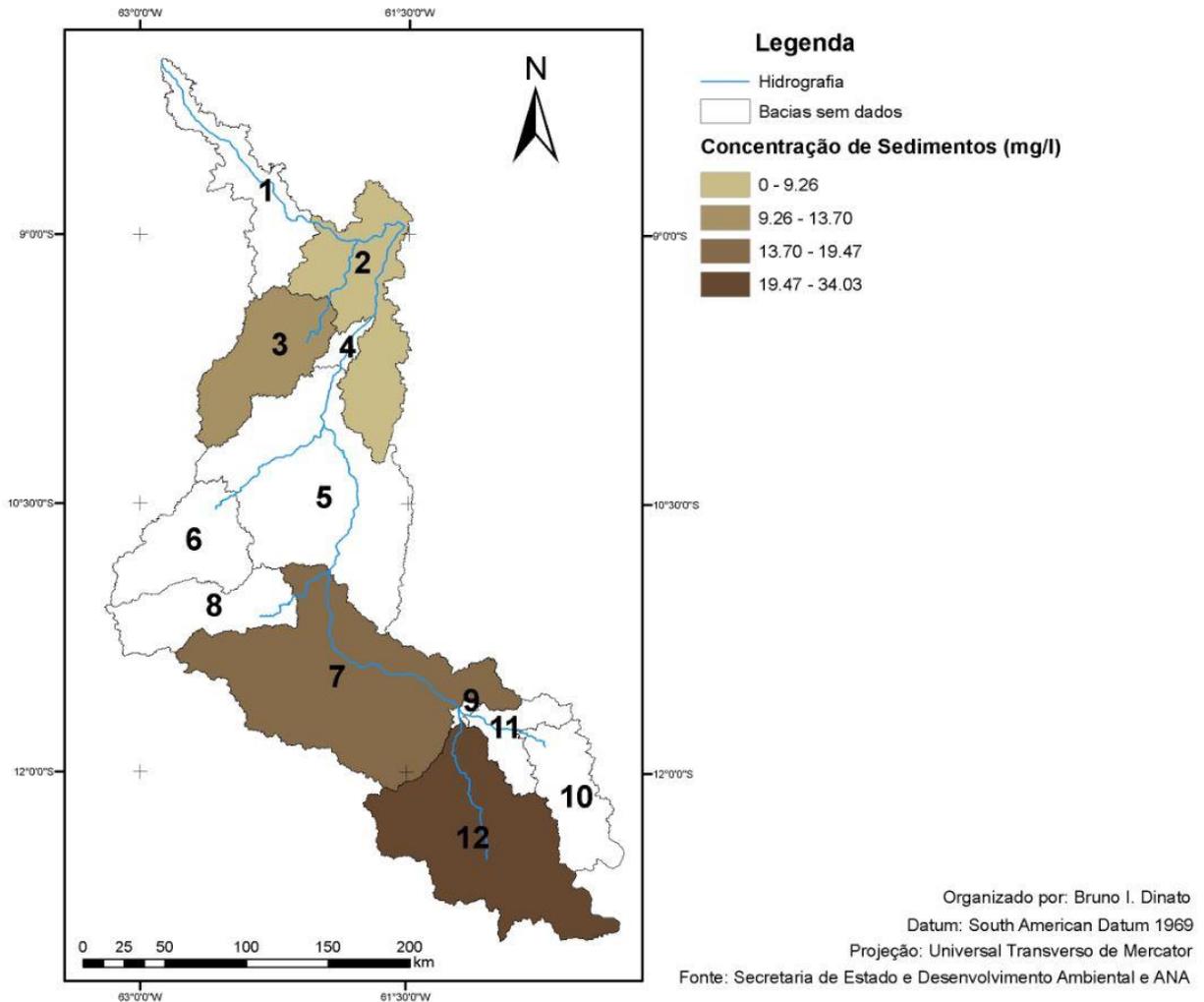
Os dados de vazão apresentaram um coeficiente de determinação com a concentração de sedimentos 0,04 e 0,2. No estudo de Filizola et al. (1999) obteve-se uma correlação linear média de 0,2 para estações localizadas no rio Amazonas, condizendo com a correlação obtida para a bacia do rio Ji-Paraná.



**Figura 11** – Distribuição da vazão observada na bacia do rio Ji-Paraná.

Está incluída nesta área de estudo a reserva biológica do Jaru que ocupa 4,3% da área de toda a bacia do rio Ji-Paraná e 26,6% da bacia 7 (delimitada pela estação da ANA localizada na cidade de Ji-Paraná), sendo esta a maior bacia delimitada por esse trabalho, a qual não dispõe a maior concentração de sedimentos, apesar de sua região de pastagem ser de aproximadamente 70% da sub-bacia. Os prováveis motivos para essa concentração de sedimentos encontrada são as áreas preservadas e aos tipos de solos presentes na região, sendo que são encontrados predominantemente os Latossolos.

A bacia com a maior concentração de sedimentos é a bacia 12, ela possui 30% de sua área ocupada por pastagem e o restante tem a predominância de vegetação nativa, 5% da área apresenta declividade maior que 12%, e os solos encontrados na região são predominantemente Neossolos, sendo esses mais suscetíveis a erosão segundo Salomão et al. (2007). Esses fatores somados ao tipo de manejo do solo utilizado na região podem resultar na maior concentração de sedimentos dessa bacia, quando comparadas às demais.



**Figura 12** – Distribuição da concentração de sedimentos observados na bacia do rio Ji-Paraná.

Carneiro et. al. (2009) explanam em seu estudo que diferentes usos e ocupação do solo podem provocar alterações nas características físico-hídricas de um Neossolo, como alteração no volume total de poros, densidade do solo, quando comparados a Neossolo com vegetação de cerrado. Ressaltam ainda que essa diferença pode ocorrer devido ao fluxo de máquinas agrícola ou animais.

Dessa forma, é possível concluir que Neossolos em áreas com vegetação nativa estão menos vulneráveis à erosão. Desse modo, pode-se inferir que as bacias 8 e 10 precisam de um sistema de manejo bem controlado, visto que são as áreas mais suscetíveis à erosão, uma vez que apresentam grande parte de suas áreas com Neossolos e com uso de pastagem.

Somando-se a isso, aproximadamente 4,6% da área da bacia 8 e 3,4% da bacia 10 apresenta uma declividade no intervalo acima de 12% , conforme tabela 4.

Os resultados expostos por Carneiro et. al (2009) mostram alterações nas características de Latossolos arenosos. Porém, apresentaram fatores de compactação menor que os Neossolos, indicando uma menor suscetibilidade à erosão.

Como pode ser observada na Tabela 4, a maior parte da bacia do rio Ji-paraná é composta por Latossolos, sendo os tipos presentes ao norte da bacia, Latossolos arenosos, com 70% de areia (ZSEE, 1997). Dessa forma, a bacia 3 é vulnerável quanto ao tipo de solo, visto que sua área é coberta em 97% por Latossolos arenosos e apresenta 6% de sua área com declividade acima de 12%. No entanto, como observado na Figura 12, não é a bacia com maior concentração de sedimentos. Esse fator pode ocorrer devido a sua área ser composta em 80% por florestas.

As bacias 1 e 2 são compostas em sua maioria por Latossolos, mas não apresentam grandes áreas com altas declividades e ambas tem suas áreas compostas em mais de 90% por florestas, acarretando em uma menor produção de sedimentos se comparadas com o restante da bacia do rio Ji-Paraná.

A bacia 7 tem grande contribuição na produção de sedimentos, quando analisadas as bacias com dados observados, apresenta 70% de sua área ocupada por pastagem. Os solos predominantes da bacia são Latossolos com 68% de argila (ZSEE, 1997) em sua composição, e Cambissos, com 46% de argila (ZSEE, 1997), o que dificulta o processo erosivo, porém, em áreas sem vegetação o solo fica suscetível à erosão.

Essa constatação pode ser observada no estudo de Santos et al. (1998), realizado em Minas Gerais, que mostrou existir uma variação de até 97% na produção de sedimentos em Cambissolo, quando comparados os usos de solo exposto e vegetação nativa, bem como quando existe o período de queimadas e aração, onde há o solo exposto a produção de sedimentos aumenta.

Situações semelhantes podem ocorrer na bacia 6 por ter solos semelhantes aos encontrados na bacia 7 e grandes áreas ocupadas por pastagem. Na tabela 4 estão sintetizadas as características de usos e ocupação dos solos das bacias que compõe a Bacia o Rio Ji-Paraná, bem como os tipos de solos e declividades.

**Tabela 4** – Características da bacia do rio Ji-Paraná.

Bacia	Solos		Uso e Ocupação		Declividade	
	Classificação dos Solos	Área ocupada na bacia (%)	Tipos de uso e ocupação	Área ocupada na bacia (%)	Intervalo	Área (%)
1	Cambissolo	0,20	Água	1,46	0 – 3	50,67
	Gleissolo	4,56	Floresta Aluvial	17,52	3 – 6	30,78
	Latossolo	92,52	Floresta Ombrófila	79,02	6 – 12	16,30
	Neossolo	2,76	Cerrado	0,33	Acima de 12	2,31
			Pastagem	1,40		
		Núcleo Populacional	0,32			
2	Cambissolo	0,43	Água	0,89	0 – 3	44,86
	Gleissolo	0,60	Floresta Aluvial	4,09	3 – 6	32,10
	Latossolo	97,06	Floresta Ombrófila	92,05	6 – 12	19,15
	Neossolo	0,19	Cerrado	0,86	Acima de 12	3,49
	Planossolo	1,32	Pastagem	1,71		
3	Gleissolo	1,96	Floresta Aluvial	0,96	0 – 3	39,62
	Latossolo	97,82	Floresta Ombrófila	73,55	3 – 6	28,39
	Neossolo	0,28	Pastagem	25,27	6 – 12	25,73
			Núcleo Populacional	0,28	Acima de 12	6,31
4	Latossolo	100	Água	2,33	0 – 3	47,86
			Floresta Aluvial	19,54	3 – 6	29,02
			Floresta Ombrófila	75,09	6 – 12	19,45
			Pastagem	3,10	Acima de 12	3,74

Bacia	Solos		Uso e Ocupação		Declividade	
	Classificação dos Solos	Área ocupada na bacia (%)	Tipos de uso e ocupação	Área ocupada na bacia (%)	Intervalo	Área (%)
5	Argissolo	6,39	Água	0,51	0 – 3	39,20
	Cambissolo	7,43	Floresta Aluvial	0,65	3 – 6	27,97
	Latossolo	72,40	Floresta Ombrófila	52,79	6 – 12	23,65
	Neossolo	13,77	Pastagem	45,72	Acima de 12	9,17
		Núcleo Populacional	0,32			
6	Cambissolo	57,71	Água	0,08	0 – 3	39,20
	Latossolo	36,61	Floresta Ombrófila	39,91	3 – 6	27,97
	Neossolo	5,74	Pastagem	59,99	6 – 12	23,65
			Núcleo Populacional	0,08	Acima de 12	9,17
7	Cambissolo	23,26	Água	0,52	0 – 3	44,40
	Gleissolo	6,62	Floresta Ombrófila	27,06	3 – 6	31,01
	Latossolo	61,74	Cerrado	1,96	6 – 12	20,72
	Neossolo	8,45	Pastagem	69,96	Acima de 12	3,93
		Núcleo Populacional	0,56			
8	Cambissolo	33,22	Água	0,34	0 – 3	44,29
	Gleissolo	7,87	Floresta Ombrófila	44,28	3 – 6	31,46
	Latossolo	29,38	Cerrado	6,85	6 – 12	19,72
	Neossolo	29,51	Pastagem	48,58	Acima de 12	4,59
	Planossolo	0,09	Núcleo Populacional	0,01		
9	Latossolo	95,65	Água	0,23	0 – 3	55,75
	Plintossolo	4,41	Floresta Ombrófila	18,92	3 – 6	25,93
			Pastagem	73,79	6 – 12	16,59
			Núcleo Populacional	7,12	Acima de 12	1,79

Bacia	Solos	Uso e Ocupação		Declividade		
	Classificação dos Solos	Área ocupada na bacia (%)	Tipos de uso e ocupação	Área ocupada na bacia (%)	Intervalo	Área (%)
10	Cambissolo	2,77	Floresta Aluvial	0,19	0 – 3	44,52
	Gleissolo	3,32	Floresta Decidual Estacional	10,37	3 – 6	31,84
	Latossolo	43,76	Floresta Ombrófila	65,78	6 – 12	20,30
	Neossolo	50,21	Cerrado	12,37	Acima de 12	3,40
			Pastagem	11,35		
11	Latossolo	72,71	Floresta Ombrófila	37,35	0 – 3	39,87
	Neossolo	20,67	Cerrado	23,33	3 – 6	29,35
	Plintossolo	6,68	Pastagem	39,31	6 – 12	25,21
			Núcleo Populacional	0,07	Acima de 12	5,62
12	Argissolo	5,87	Floresta Decidual Estaciona	28,42	0 – 3	41,33
	Cambissolo	11,74	Floresta Ombrófila	32,58	3 – 6	29,49
	Gleissolo	0,20	Cerrado	9,19	6 – 12	24,21
	Latossolo	36,18	Pastagem	29,87	Acima de 12	5,03
	Neossolo	45,85				
	Plintossolo	0,23				

### 3.2 PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA DO JI-PARANÁ

O modelo SWAT fornece parâmetros hidráulicos e hidrológicos. Os dados obtidos estão dispostos na Tabela 4, no quais se encontram sumarizadas as informações obtidas nas análises deste estudo para a Bacia do rio Ji-Paraná.

**Tabela 5** – Valores de parâmetros calibrados pelo SWAT.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>	<b>P-value</b>
Manning "n" valor para o canal principal.	0,16	0,91
Águas subterrâneas "REVAP" coeficiente.	0,15	0,90
Profundidade Limiar da água no aquífero superficial necessária para o fluxo de retorno ocorrer (mm).	1,56	0,78
Fator de compensação de evaporação do solo (ESCO)	0,89	0,74
Escoamento SCS número f curva	0,07	0,47
Condutividade hidráulica efetiva em aluvião canal principal.	78,80	0,36
Condutividade hidráulica saturada	0,28	0,36
Atraso águas subterrâneas (dias).	158,31	0,29

Em primeira análise dos dados acima, observa-se que o P-value dos parâmetros encontrados possui uma alta magnitude, e que estes variaram de 0,29 a 0,91. Logo, tais informações são de grande significância estatística, pois ao descartar uma destas informações cometer-se-ia no mínimo um erro do tipo de valor de 0,29.

Na bacia do Ji-Paraná o valor do número de Manning foi de 0,16. Lyra et al. (2010) descrevem que o coeficiente de rugosidade de Manning é um dos principais parâmetros para descrição da vazão sobre uma superfície. Além disso, a determinação deste é uma das dificuldades para que seja aplicada a equação de Manning em obras e estudos no copos hídricos de uma bacia.

Destaca-se que a alta magnitude do coeficiente de Manning obtido nesse estudo constata que a bacia do rio Ji-Paraná possui suas seções de forma geral bastante irregular, formado possivelmente pelo aumento natural da rugosidade da superfície, seja pela presença de vegetação ou até mesmo pelo próprio relevo. No mais, este índice indica uma tendência de provocar grande turbulência no escoamento (BRANDÃO; BARROS, 2007; SANTOS, 2009).

Apesar dos fatores expostos, Novo et al. (2011) apresenta em seu estudo uma variação do coeficiente de rugosidade de Manning de 0,022 até 0,2. O trabalho foi desenvolvido para três pontos do rio Amazonas.

O coeficiente REVAP da bacia em estudo possui o valor de 0,15. Essa variável indica o movimento da água na interface entre as zonas saturada e não saturada com a formação de franjas capilares que fluem em sentido ascendente e é função da demanda de água pela evapotranspiração (LOPES, 2008). Frisa-se que tal valor encontra-se dentro do intervalo obtido no estudo de Salles (2012) para a bacia do Ribeirão Pípiripau, onde tal parâmetro variou de 0,02 a 0,2. Neste estudo, a bacia tinha uma área aproximada de 1129 ha, contendo floresta ombrófila mista, agricultura e Pinus.

Ao que se refere à Profundidade Limiar da água no aquífero superficial necessária para o fluxo de retorno ocorrer, para a bacia do Rio Ji-Paraná foi de 1,56 mm. Este pequeno valor deve-se à grande capacidade de infiltração do solo da bacia, que proporciona que a água infiltre atingindo o aquífero em pequenas profundidades. Além disso, este fator pode ser um indicativo da grande quantidade de matéria orgânica na região, tal como Mendonça et al. (2009) conceituam como uma boa correlação linear entre a capacidade de infiltração com a matéria orgânica.

O ESCO da bacia do Ji-Paraná foi de 0,89. Este encontra-se dentro do valor estabelecido por Winchell et al. (2005), o qual segundo o estudo varia de 0,01 a 1,0. À medida que o valor para ESCO é reduzida, o modelo é capaz de extrair mais da demanda evaporativa de níveis mais baixos. Winchell et al. (2005) define que quando a variável ESCO tem valor 1, o fator de compensação de evaporação da água no solo não altera os valores de evaporação, mas quando o valor se aproxima de zero, aumenta a demanda de evaporação em níveis menores.

O SCS consiste em um método simples e largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas. Este para a bacia do Ji-Paraná foi estimado em 0,07. Logo, foi influenciado direta e indiretamente pelo uso e cobertura do solo da região, devido a este se basear no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida em um dado evento é uma função da altura total da lâmina precipitada e das abstrações iniciais, que representa as perdas que ocorrem, principalmente, devido à infiltração, à interceptação vegetal e à retenção em depressões do terreno (CARLESSO et al., 2007).

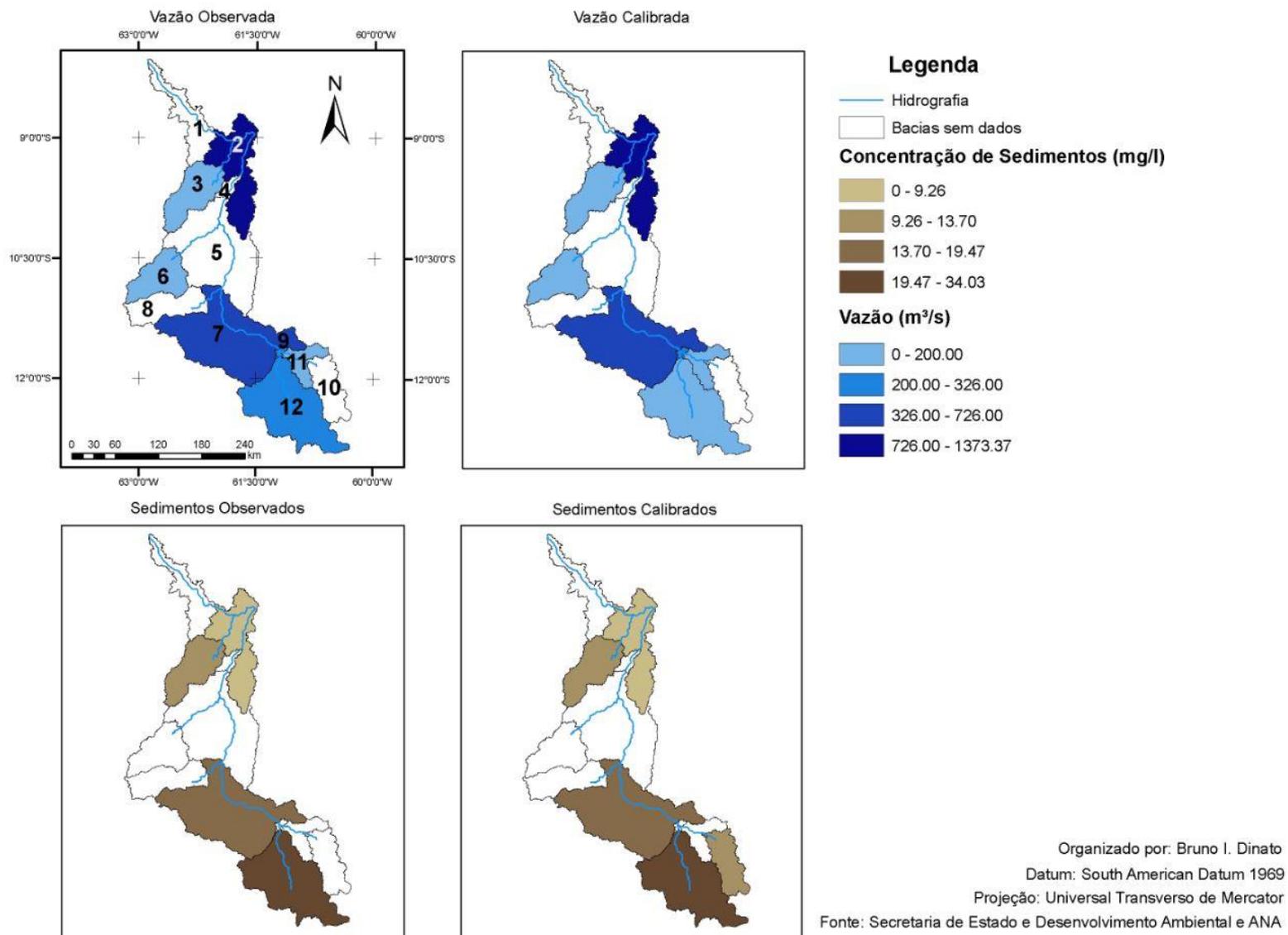
A condutividade hidráulica é uma das propriedades do solo que melhor indicam as diferenças estruturais nas diversas camadas que constituem o perfil. Sua magnitude depende da distribuição, forma e tortuosidade dos poros, da superfície específica e da porosidade total

(PEREIRA et al., 2008). Para a bacia em estudo, a condutividade hidráulica efetiva em aluvião canal principal foi de 78,80. Já a condutividade hidráulica saturada apresentou-se no valor de 0,28, sendo que esta foi influenciada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos por água, tornando-se dependente, portanto, da forma, arranjo, quantidade e continuidade dos poros no solo, tendo uma relação direta com a capacidade de transporte de solutos e substâncias químicas (MESQUITA; MORAES, 2004).

O atraso das águas subterrâneas para a bacia em estudo é de 158,31 dias. Este corresponde ao tempo de retardo entre a saída de água do perfil do solo e a entrada em um aquífero raso, o que dependerá do nível piezométrico e das propriedades hidráulicas das formações geológicas na zona vadosa e na zona de água subterrânea (SALLES, 2012). No estudo apresentado por Gitau e Chaubey (2010) apresentam valores para várias bacias fora do Brasil, com valores variando de 0 até 88 dias.

### **3.3 COMPORTAMENTO DA SIMULAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO**

Na Figura 13 encontram-se especializados os dados vazão e sedimento para a bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná. Nela estão contidas informações da calibração e dos dados reais.



**Figura 13** – Distribuição da vazão e concentração de sedimentos na bacia do rio Ji-Paraná.

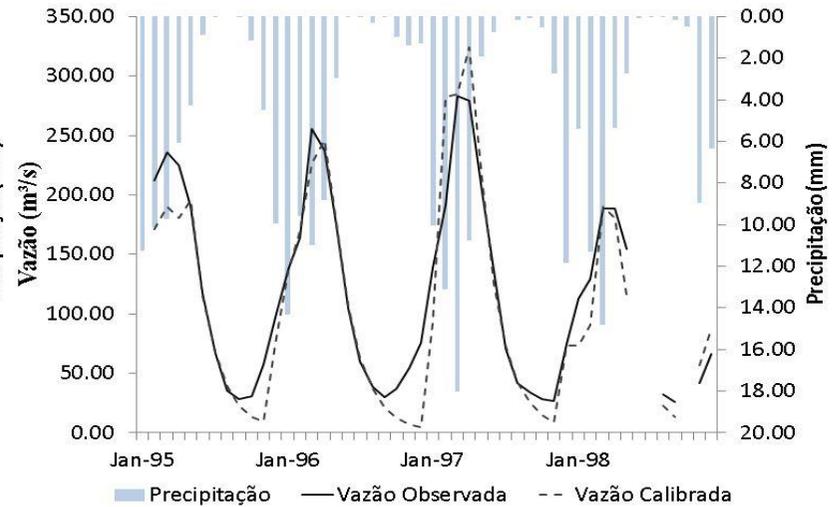
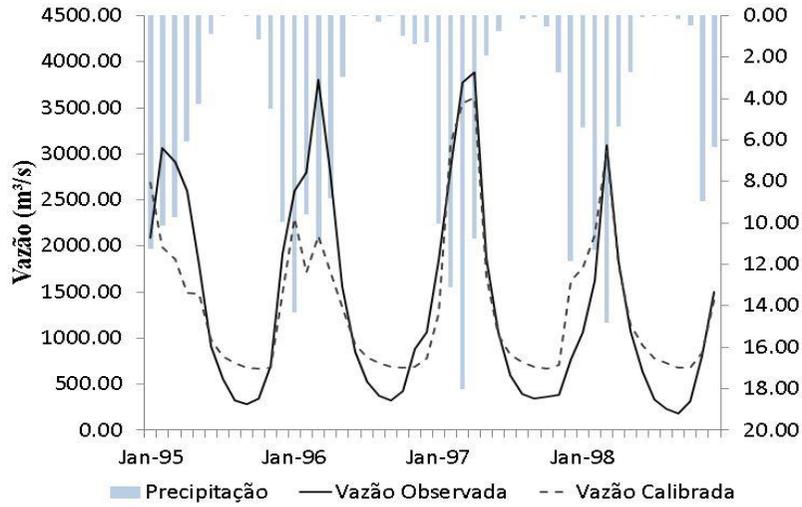
Na Figura 13 constata-se que a vazão calibrada obteve comportamento semelhante à vazão observada. Como padrão, a maior magnitude desta variável encontra-se na bacia 2, sendo a mesma a bacia mais próxima da foz da bacia do rio Ji-Paraná. Logo, tal fato seria comum de ocorrer visto que esta recebe a vazão das outras bacias. Destaca-se, no entanto, que as vazões simuladas diferiram em grande ordem para com os dados medidos.

Ao relacionar os dados de vazão e sedimentos, nota-se que as bacias que mais possuem sedimentos foram as que apresentaram menor vazão. Porém, essa relação é esclarecida por Minella, Merten e Magna (2011) como passível de apresentar padrões temporais complexos durante eventos de chuva governados pela geomorfologia, uso e manejo do solo e precipitação. Além disso, este fato tem implicações relevantes no entendimento e na descrição dos processos erosivos e de produção de sedimentos em bacias.

Cabe frisar que a bacia 12, localizada na porção sul, foi a que apresentou maior concentração de sedimento. Segundo Lopes Kobiyama e Santos (2007), bacias com altas concentrações de sedimentos estão mais predispostas à degradação da qualidade de água para os usos humanos (consumo, atividade industrial e agrícola, além da recreação). No mais, esta característica também pode impedir a penetração da luz e calor, reduzindo a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos corpos de água e alterar a vida aquática, além de prejudicar a navegação ou elevar o nível de água provocando enchentes locais mais frequentemente.

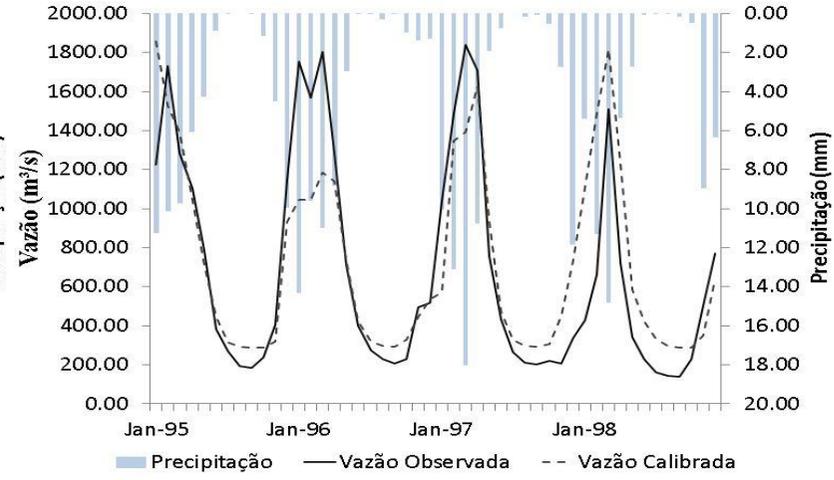
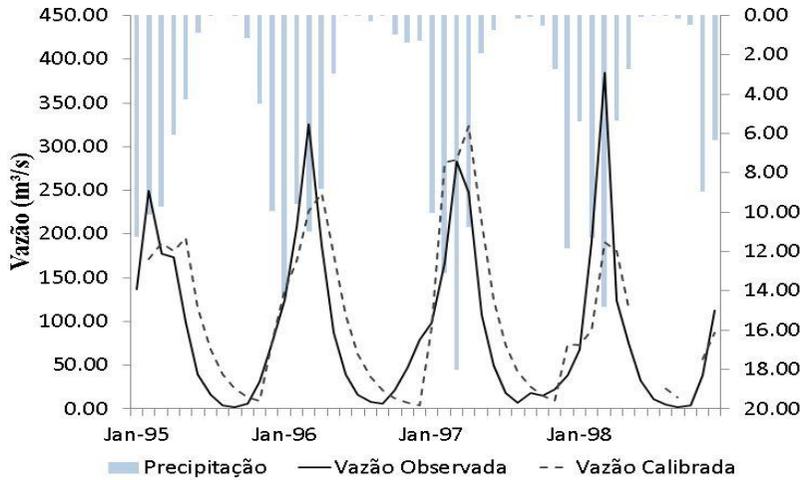
Entretanto, como possível benefício dessa característica para a bacia 12, Carvalho (1994) elucida que a taxa elevada de carregamento de sedimentos transporta nutrientes, fertilizando terras já formadas e ainda, dependendo da concentração de sedimentos, permite transportar microrganismos ou matéria orgânica que melhora a fauna fluvial.

A Figura 14 encontra-se relacionando os dados de vazão calibrados e observados, para com as informações de precipitação obtidas junto a ANA.



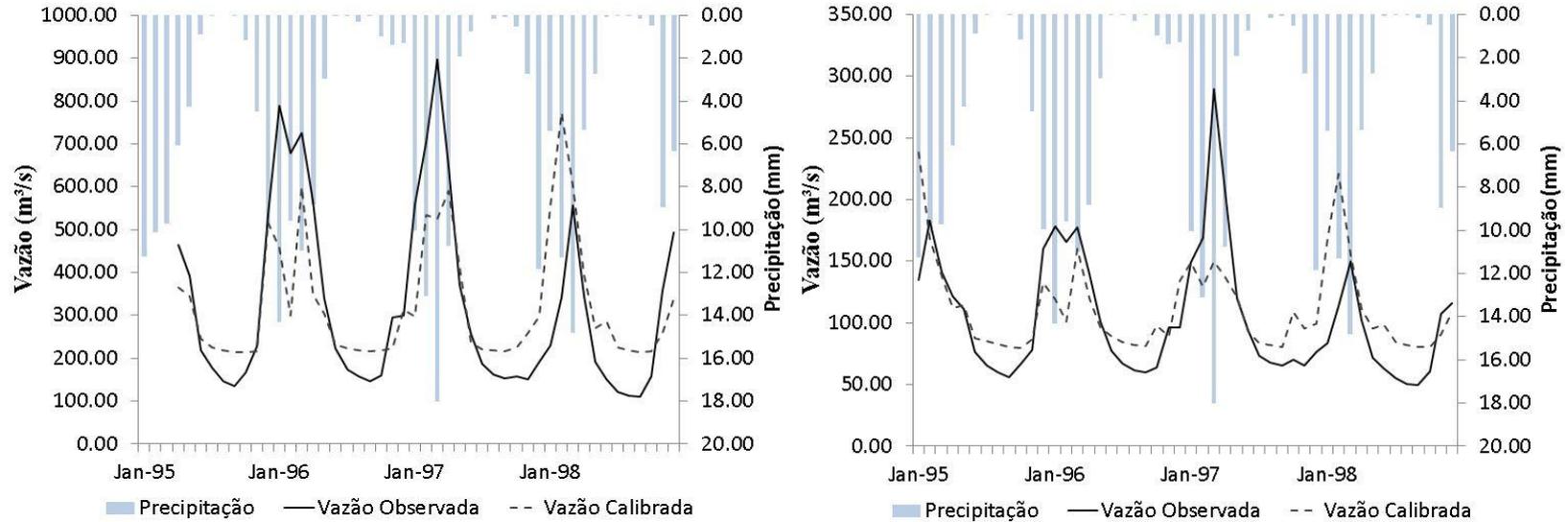
a) Gráfico de vazão bacia 2.

b) Gráfico de vazão bacia 3.

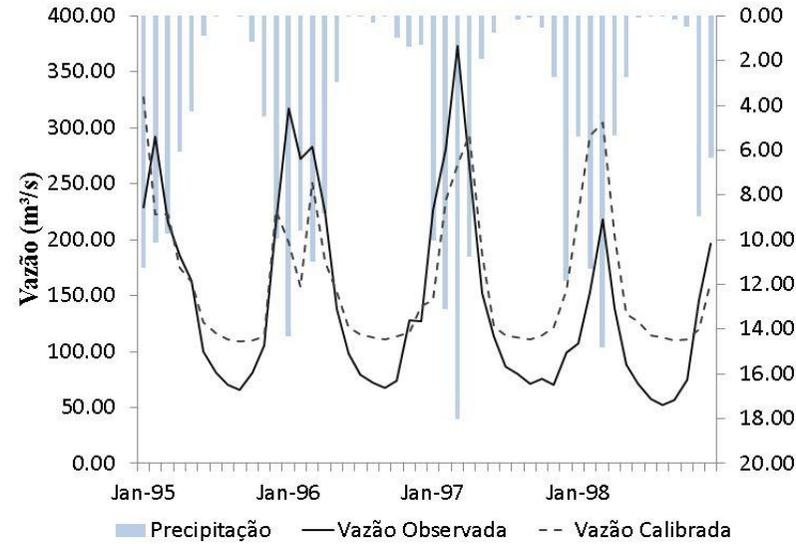


c) Gráfico de vazão bacia 6.

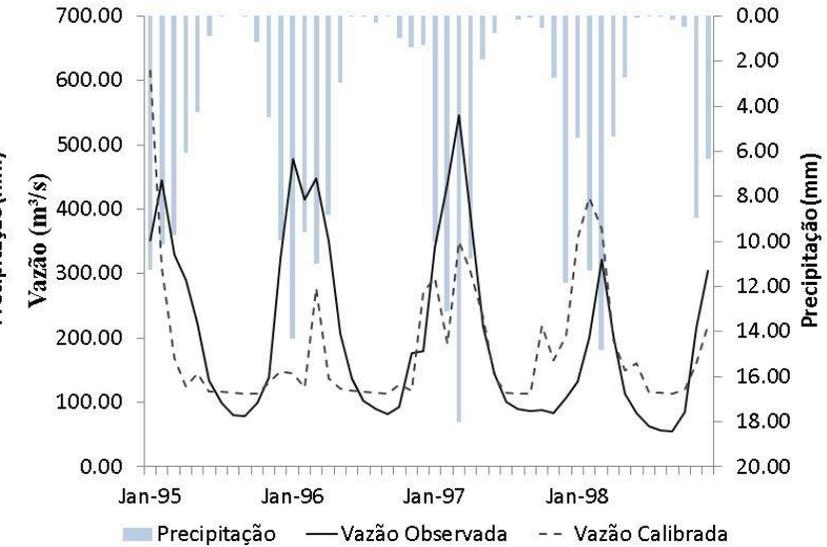
d) Gráfico de vazão bacia 7.



e) Gráfico de vazão bacía 9.



f) Gráfico de vazão bacía 10.



g) Gráfico de vazão bacía 11.

h) Gráfico de vazão bacía 12.

**Figura 14** – Gráficos de vazão observada e calibrada para as sub-bacias do rio Ji-Paraná.

De forma geral, a tendência de variação dos dados calibrados correspondeu aos dados observados, em magnitude similar e com comportamento aproximado. Portanto, pode-se constatar que o SWAT é uma poderosa ferramenta para análise de tendências comportamentais de vazão. No entanto, para o caso estudado, esta superestimou os valores de concentração de sedimentos, sendo a primeira variável passível de ser aprimorada pela calibração. A segunda variável não obteve valores satisfatórios, tendo em vista a pequena disponibilidade de dados observados.

Quando avaliadas as respostas da vazão em relação à chuva e ao escoamento superficial na bacia (Figura 14), notou-se que há sincronismo entre estes dois parâmetros, principalmente para volumes de precipitação mais elevados, ou seja, há uma tendência que precipitações elevadas provoquem uma maior vazão nas bacias. Logo, tal relação é diretamente proporcional.

Para Conceição et al. (2005), o sincronismo da vazão com chuvas indica que há pouca retenção da chuva pelo solo quando o escoamento superficial é elevado. Pode também estar associado à baixa distribuição da profundidade do solo e pouca demanda de evapotranspiração.

### **3.4 AVALIAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO SWAT**

Como processo de avaliação do modelo empregado e para posterior ajustamento do modelo SWAT para corresponder aos padrões fidedignos da realidade dos fenômenos hidrosedimentológicos, os dados de vazão e sedimentos gerados na simulação do SWAT foram posteriormente comparados com os dados observados por meio do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH). Os resultados dessas análises são denotadas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Coeficientes de ajuste de vazão e sedimentos.**

Micro-bacia	VAZÃO		SEDIMENTOS	
	R <sup>2</sup>	NASH	R <sup>2</sup>	NASH
2	0,78	0,76	0,03	-9,22
3	0,9	0,87	0,08	-0,29
6	0,74	0,58	-	-
7	0,71	0,71	0,41	-0,63
9	0,48	0,48	-	-
10	0,37	0,33	0,11	-0,9
11	0,57	0,52	-	-
12	0,24	0,14	0,04	0

De forma geral, constata-se que a variável vazão abstraiu-se de uma forma mais real aos dados observados, quando analisados os valores do coeficiente de determinação, pois este encontrou-se no intervalo de 0,24 a 0,9, sendo que três das oito estações analisadas apresentaram valores menores que 0,5. Logo, a maioria dos dados possuiu uma relação significativa entre a variação dos dados simulados que podem ser explicados pela variação dos observados.

Mata et al. (2010) destaca que o coeficiente  $r^2$  apresenta relação forte - acima de 0,6, médio - 0,60 - 0,50 e fraco - menos de 0,50. Portanto, para a simulação de vazão deste trabalho, a relação na maioria das bacias variou de médio a forte.

Valores de  $r^2$  próximos a esses foram observados em estudos similares utilizando o SWAT como o de Machado (2002), o qual obteve um  $r^2$  de 0,94 para a vazão ao aplicar o SWAT para microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, localizado em São Paulo. O estudo de Baldissera (2005), ao simular a vazão para a bacia do rio Cuiabá no Mato Grosso obteve valores  $r^2$  de 0,76 a 0,77, sendo os mesmos menores que alguns coeficientes obtidos nesse estudo.

Em relação ao coeficiente  $r^2$  para as comparações realizadas com os dados dos sedimentos estes variaram de 0 a 0,41, sendo que a maioria das estações analisadas possuiu uma relação de forte a média para com os dados simulados. Machado (2002) observou valores de significância semelhante ao deste estudo com magnitude 0,96, ao analisar os sedimentos com simulação do SWAT para a bacia Ribeirão dos Marins – SP. Blainski, Garboss e Malutta (2008) encontraram um  $r^2$  de 0,89 em análise análoga para bacia hidrográfica do Lajeado dos Fragosos – Santa Catarina, confirmando novamente a similaridade da significância dos resultados apresentados nesse trabalho para a região da bacia do rio Ji-Paraná para com estudos em bacias de regiões diferentes.

No que concerne às análises dos dados com o coeficiente de NASH, este mostrou uma boa relação entre a magnitude dos dados de vazão calibrados e observados. Das 8 bacias analisadas, 5 apresentaram um comportamento satisfatório com o coeficiente variando de 0,14 a 0,87. Porém, nenhuma bacia obteve dados complacentes com a realidade para concentração de sedimentos, os quais estiveram variando de 0 a -9,22. Collischonn (2001) explana que o valor de NASH pode variar de negativo infinito até 1, o ajuste perfeito; adequado, se superior a 0,75; e aceitável, se entre 0,36 e 0,75.

Cabe frisar, no entanto, que essa mesma tendência de não aceitação dos dados simulados no SWAT para com os dados observados é identificada em vários trabalhos como o de Malluta (2010) que obteve um intervalo do coeficiente NASH variando de 0,45 a 0,48 para calibração da vazão em seu estudo da bacia do Rio Negrinho - SC.

O Baldissera (2005) para a bacia do rio Cuiabá que alcançou intervalos do coeficiente de -0,22 a 0,19 para a vazão e de -2,36 a 0,60 para os sedimentos.

A possível ocorrência desse fator pode ser pela menor disponibilidade de dados observados de concentração de sedimentos, o que inviabilizou a calibração do modelo para essa variável. Bem como também limitação do modelo para descrever os fenômenos para as características da área em estudo.

Portanto, apoiando-se nessa segunda heurística, torna-se necessário que o modelo seja mais bem adaptado às regiões de estudos diferentes de sua criação. Como prova desse argumento, corrobora o trabalho de Eckhardt et al. (2001) que vislumbrou um aumento na eficiência do modelo ao modificar parâmetros e dados para representar uma determinada região característica da Alemanha que possui bacias de encostas íngremes e solos predominantemente rasos de aquíferos “*hard rock*”.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresenta uma correlação média entre dados observados e dados calibrados. Obteve assim, uma magnitude levemente significativa na maioria das bacias analisadas. Os dados de vazão tiveram distribuição similar entre dados observados e calibrados, mostrando uma boa resposta quanto à calibração do modelo. Porém, a calibração não obteve êxito na correção da diferença de magnitude dos dados de sedimentos.

Os dados de sedimentos na área de estudo obtiveram uma magnitude não representativa da distribuição da concentração de sedimentos. Isso se deve à baixa quantidade de dados observados utilizados na calibração, razão que provavelmente motivou os baixos valores de correlação com os dados observados.

Algumas variáveis calibradas apontaram um *p-value* alto. Porém, há a necessidade de dados de campo para melhor analisar o comportamento dessas variáveis, visto que o modelo não apresentou uma boa magnitude entre dados observados e calibrados para sedimentos.

O modelo utilizado apresenta algumas fragilidades, de modo que foi desenvolvido para bacias norte americanas e precisa ser melhor avaliado e caso necessário modificado para melhor representar as bacias amazônicas e brasileiras.

Para futuros estudos recomendo a utilização de versões mais recentes do modelo, onde há correções importantes, ou versões alternativas do modelo (SWAT-G) visando um modelo que melhor representa as regionalidades da bacia.

Visando uma melhor avaliação do SWAT recomenda-se a utilização de uma bacia de controle menor, com uma variedade de solos menor, visando à diminuição da quantidade de variáveis e uma maior quantidade de dados obtidos *in situ*.

## REFERÊNCIAS

ADLER, R.F. and Coauthors: The version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). **Journal of Hydrometeorology**, V. 4, 2003.

AGUIAR, R. G.; VON RANDOW, C.; PRIANTE FILHO, N.; MANZI, A. O.; AGUIAR, L. J. G.; CARDOSO, F. L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 248-257, 2006.

BACCI, D. C. **Esboço geológico da Gleba Machadinho D'Oeste, RO**. Comunicado técnico 17. ISSN 1415-2118. Campinas, SP: EMBRAPA. Dez. 2005.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. Cuiabá, UFMT, 2005. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá. 2005, 132p.

BARCELOS, A. A. **Geração de sulcos em meio coesivo e caracterização hidrossedimentológica de sua evolução**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 217 p.

BLAINSKI, E.; MALUTTA, S.; GARBOSSA, L.H.P. Simulação da perda de solo e do regime hidrológico na bacia hidrográfica do lajeado dos fragosos – Santa Catarina. In CONGRESSO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. 22., Rosario, 2010. **Anais...**, Rosario: AACCS.

BRANDÃO, J.L.B.B.; BARROS, M.T.L. Determinação de áreas de inundação para uma bacia urbana. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. São Paulo, **Anais...**, São Paulo: ABRH.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais**. Folha SC – 20: Porto Velho. Rio de Janeiro, v. 16, 1978.

BRASIL. **Lei n. 9433**, 13 de março de 1990. Política Nacional de Recursos Hídricos.

BUTT, N.; OLIVEIRA, P. A.; HEIL COSTA, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondônia, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. D11120, p. 1-8, 2011.

CARLESSO, Reimar ; SPOHR, R. B. ; ELTZ, F. L. F. ; KNIES, A. E. ; FIORIN, T. T. . Estimativa do escoamento superficial no sul do Brasil: modelo modificado de Smith e número da curva (USDA-SCS). In: **Seminário Técnicas de Riego e Fertirriego**, 2007, Cuenca, Equador. Anais do Seminário Técnicas de Riego e Fertirriego, 2007. v. 1. p. 1-15.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D; REIS, E.F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.R. Atributos Físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, L. S. **Modelagem e Simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas**. Bahia **Análise e Dados – Salvador**. V. 13, n. 2, p. 267-274, 2003.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, 1994.

CHOW, V.T. **Open Channel Hydraulics**. McGraw –HillBook Co., New York, 1959.

CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. **Hidrologia Aplicada**. 1 ed. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 1994. 584 p.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese (Doutor em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. 270 p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:777-788, 2005.

DIAS, R. H. S. **Aplicação de geotecnologias na verificação da influência do uso e ocupação do solo no escoamento superficial na cidade de Ji-Paraná-RO**. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011. 94p.

DURU, J. O.; HJELMFELT, A. T. Investigating prediction capability of HEC-1 and KINEROS kinematic wave runoff models. **Journal of Hydrology**, V. 157, 1994.

ECKHARDT, K.; HAVERKAMP, S.; FOHRER, N.; FREDE, H.G. SWAT-G , a version of SWAT99.2 modified for application to low mountain range catchments. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 27, n. 9-10, pp. 641-644, 2002.

FAUSTO, I. R. S.; SAKUNO, I. Y. T.; OLIVEIRA, J. G. D. A importância da preservação dos recursos naturais para viver bem. In: I MOSTRA ACADÊMICO CIENTÍFICA UNIJIPA, 2009, Ji-Paraná. **Anais ... Ji-Paraná : UNIJIPA**, 2009. v. 1. p. 58-73.

FILHO, A.C.P.; BONDAROVSKY, S. **Água, bem econômico e de domínio público**. Brasília, n. 12, p. 13-16, 2000.

FILIZOLA, N.P.; GUYOT, J. L.; BOAVENTURA, G. Fluxo de sedimentos em suspensão na Amazônia – uma análise a partir da base de dados da ANNEL. **Manaus '99 - Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins**, Manaus, v. 17, n. 7, pp. 1265-1266, 1999.

FREITAS, A.C.V.; FRANCHITO, S.H.; RAO, V.B. Análise dos dados de precipitação provenientes de diferentes fontes, sobre a América do Sul, com ênfase no Brasil. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. V. 5, n. 1, p.5, 2010.

GITAU, M.W.; CHAUBEY, I. Regionalization of SWAT Model Parameters for Use in Ungauged Watersheds. **Water**, v.2, p.849-871, 2010.

GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY PROJECT. Disponível: <<http://precip.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em: 3 jan. 2013.

GREEN, C. H.; VAN GRIENSVEN, A. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. **Environmental Modelling & Software**, v.23, p.422-434, 2008.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica - BASINS 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do Rio Pardo, SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em energia na agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 101 p., 2003.

KOBIYAMA, M.; MANFROI, O.J. **Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas**. In: Curso de Extensão: O Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal (1999: Curitiba). Curitiba: Curso de Eng. Florestal - UFPR, 1999. P. 111-118.

KRUSCHE, A. V. et al . Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 35, n. 2, 2005

LOPES, N. H. Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Florianópolis, UFSCAR, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

LOPES, N. H. Y.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e vazão em microbacias experimentais na região norte do estado de Santa Catarina, Brasil. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ABRH, 2007.

LYRA, G.B.; CECÍLIO, R.A.; ZANETTI, S.S.; LYRA, G.B. Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.4, p.343-350, 2010.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. São Paulo, USP, 2002.. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002, 144 f.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.147-155, 2003.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, tipos e formas de controle. In VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 7, 2001. Goiânia, **Anais...**, Goiânia: UFG, 2001.

MALUTTA, S. **Aplicação do modelo SWAT na bacia do rio Negrinho – SC**. Florianópolis, UFSCAR, 2010. Monografia ( Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010, 97 f..

MATA, C.L.; CARVALHO, O.A.; CARVALHO, A.P.; GOMES, R.A.T. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia por meio da equação universal de perda de solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n. 2, 2007.

MENDONÇA, L. A. R. et al. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Eng. Sanit. Ambient.** 2009, vol.14, n.1.

MERCURI, E. G. F.; DEPPE, F. A. C.; LOHMANN, M.; SIMÕES, K. Metodologia da geração de dados de entrada e aplicação do modelo SWAT para bacias hidrográficas brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009.

MESQUITA, M. G. B. F. & MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p. 963-969, 2004.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F.. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 15, n.12, 2011.

MOTA, Suetônio. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES,1995.

NEVES, W. **Ji-Paraná: Rio Machado transborda e preocupa autoridades**. Rondônia Digital, [Rondônia], 8 de abril de 2011. Disponível em: <<http://rondoniadigital.com/destaque/ji-parana-rio-machado-transborda-e-preocupa-autoridades/>>. Acesso em: 16 Abr. 2011.

NOVO, E.M.L.M; RENÓ, V.F.; BARBOSA, C.C.F.; RUDORFF, C.M. Integração de informações de multi-sensores para estimar alterações da rugosidade hidráulica da várzea de Baixo Amazonas em função da remoção da floresta inundável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: INPE, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S.; MORAIS, N. R. Modelos de previsão de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.

OLIVEIRA, L.; OLIVEIRA, D. F. Influências antropológicas no bairro Dom Bosco situado no primeiro distrito da cidade de Ji-Paraná/RO/BR. **Revista Ciência e Consciência**, ULBRA, 2009.

PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; MEIRELLES, F.S.C.; SCHETTINI, E. B.C.; FAN, F.M. Modelagem Hidrológica de uma bacia com uso intensivo de Água: Caso do rio Quaraí – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 16, n.4, 2011.

PANOBIANCO, D. Rio Machado passa de 11 metros e deixa desabrigados em Ji-Paraná (RO). **Jornal do Brasil**, São Paulo. 15 de fev. de 2010. Disponível em: <[http://www.brasilwiki.com.br/noticia.php?id\\_noticia=20669](http://www.brasilwiki.com.br/noticia.php?id_noticia=20669)>. Acesso em: 16 Abr. 2011.

PEREIRA, T. I.; UHDE, L. T.; GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D.J.; VOGELMANN, E. S. Condutividade Hidráulica Saturada e propriedades físicas do solo em área de pastagem degradada em Argissolo na Depressão Central do RS. In VII

REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Santa Maria. **Anais...**, Santa Maria: UFSM, 2008.

PRIOSTE, M. A. O. **Bacia hidrográfica do rio das Ostras: proposta para gestão ambiental sustentável**. Rio de Janeiro, UERJ, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

QUADRO, F. L.; DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G. Análise Climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, V. 27, n. 2, 2012.

QUADROS, M. L. E. S.; RIZOTTO, G. J. **Geologia e recursos minerais do estado de Rondônia: Sistema de Informações Geográficas – SIG**. Porto Velho: CPRM, 2007.

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucalyptus, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, São Paulo, n. 61, p. 144-159, 2002.

RODRIGUES, L. C.; BOVO-SCOMPARIN, V. M.; TRAIN, S.; SUSICLEY, J.; BORTOLINI, J. C.; PAULA, A. C. M.; REIS, L. M. Grupos morfológicos funcionais da planície de inundação do alto rio Paraná. In XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE FICOLOGIA, 14, 2012, João Pessoa, **Anais...**, Paraíba: SBFIC, 2012.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim Climatológico de Rondônia – 2008**. Porto Velho: SEDAM, 2009.

SADEQ, H.; DRUMMOND, J.; LI, Z. Evaluation of aster gdem v.2 using gps checkpoints, osgb dem values and photogrammetrically derived dems. **International Archives of the Photogrammetry**. V.32. 2012.

SALLES, Leandro de Almeida. **Calibração e validação do modelo Swat para a predição de vazões na Bacia do Ribeirão Pípiripau**. Brasília: UnB, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012. 114p.

SALOMÃO, F.X.T.; VECCHIATO, A.B.; WEBER, O.L.S.; DORES, E.F.G.C.; SPADOTTO, C.A.; PINTO, A.A. Estudo do comportamento físico-hídrico de solos da região sudeste de Mato Grosso visando à proteção dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 1., 2007, Cuiabá. **Anais...**, Cuiabá: UFG, 2007.

SANGOI, R.G. **Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos na bacia hidrográfica experimental de São Martinho da Serra – RS**. Santa Maria: UFSM, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 132p.

SANTOS, L.L. Modelos hidráulico-hidrológicos: Conceitos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, n. 03, pp 01-19, 2009.

SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CRUZ, A.B.; TEIXEIRA, W.G. Perda de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, V. 33, n. 2, p. 183-189, 1998.

SCANDOLARA, J. E. **Mapa geológico do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 1999. Escala 1: 1.000.000. 1 mapa color. digitalizado.

SILVA, A. C.; DOURADO, J. C.; KRUSCHE, A. V.; GOMES, B. M. Impactos físico-químicos da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná - RO. **Revista de Estudos Ambientais (Online)**, v. 11, p. 101-112, 2009.

SILVA, C.R.; CHAVES, H.M.L.; CAMELO; A.P. Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada utilizando dados hidrossedimentológicos locais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, V. 35, 2011.

SILVA, L. P.; ZUFFO, C. Recursos hídricos em Rondônia: conservando para o futuro. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste Campo Grande, 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, ABRH, 2002. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/novo/ii\\_simp\\_rec\\_hidric\\_centro\\_oeste\\_campo\\_grande80.pdf](http://www.abrh.org.br/novo/ii_simp_rec_hidric_centro_oeste_campo_grande80.pdf)>. Acesso em: 16 Abr. 2011.

SILVA, L. R. S. **Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas**. Brasília: UNB, 2010. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Universidade de Brasília, Brasília, 2010, 223p.

SILVA, P.G. **Simulação do fluxo hídrico e da produção de sedimento da bacia do rio Araranguá, SC, a partir da aplicação do modelo hidrológico SWAT**. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2011. Monografia (Bacharelado em Oceanografia), Universidade do Vale do Itajaí, 2011.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v.12, n. 5, 2008.

SOUZA, V. A. S. **Eventos de precipitações extremas na Amazônia Ocidental: Rondônia – Brasil**. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011. 64p.

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

TRIVELATO, G. C. **Técnicas de Modelagem e Simulação de Sistemas Dinâmicos**. Relatório Técnico INPE-9665-NTC/358. 19 p. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2003.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciências e aplicação**. 4. Ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. Ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2005.

WCRP. **Report of the workshop on global large scale pre-precipitation data sets for the World Climate Research Programme**, WCP-111, WMO/TD-No. 94, 45 pp, , 1986.

WEBLER, A. D. ; AGUIAR, R. G. ; AGUIAR, L. J. G. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. **Revista Ciência e Natura**, v. Esp., p. 55-58, 2007.

WINCHELL, M., SRINIVASAN, R., DI LUZIO, M., ARNOLD, J. (2008). **Arcswat 2.0 Interface for SWAT2005 - User's Guide**. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas.Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA Agricultural Research Service, Texas. 448p.

WOOLHISER, D.A.; SMITH, R.E.; GOODRICH, D.C. KINEROS, **A kinematic runoff and erosion model: Documentation and User Manual**. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130 pp, 1990.