

Utilização de imagens ASTER como auxílio na aplicação de modelos hidrológicos de perdas de solo

Waltencir Menon Júnior¹
Alan Bronny Almeida Pires de Moura¹
Rosana Lino de Faria¹
Ricardo Tavares Zaidan¹

¹LGA - DGEO/ICH - Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF
José Lourenço Kelmer, s/n. Bairro São Pedro – 36036-900 – Juiz de Fora - MG, Brasil
{waltencirjunior, alan.bronny}@hotmail.com
rosanafariaf@yahoo.com.br
ricardo.zaidan@ufjf.edu.br

Abstract. In last decades, the use and improvement of remote sensing techniques have enabled a major progress for the Earth Sciences. The Digital Elevation Model - DEM due to the variety of applications allowed the capture and manipulation of data applied to watersheds. It is interesting that such advancement allowed create sensors such as *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* - ASTER, used in various branches of the Geosciences. The objective of this study was to apply the SWAT hydrological model in order to simulate the loss of sediment in the sub-basins of the Watershed Paraibuna River (BHRP - MG / RJ) in the period 2001/2011, aided by ASTER image. In using the SWAT model were used: cartographic data (DEM - ASTER, slope and land cover and use); map and soil parameters, daily climatic data, ArcGIS 9.3 and ArcSWAT 2.3.4. The model divided the basin in 13 URH's which were regrouped according to the sub-basins of the Cágado River, Paraibuna River, Peixe River and Preto River. The simulations showed that the two last sub-basins are responsible by 66% of the total of sediments produced on the BHRP, however, comparing the area of the sub-basin and the loss of sediments (ton/ha/yr), the sub-basins more affected were of Paraibuna and Peixe, i.e., needs a thorough analysis of the erosive process, using a scale of more detail.

Palavras-chave: ASTER, SWAT, Paraibuna River, Rio Paraibuna.

1. Introdução

Nas últimas décadas, diante da necessidade de se detalhar processos ocorridos na superfície terrestre, o uso e o aprimoramento das técnicas sensoriamento remoto (SR) - dentre elas a utilização de sensores orbitais, possibilitaram um grande salto para as Ciências da Terra. Tais dispositivos possibilitaram ao homem verificar através de imagens os diversos usos da terra e associá-las às técnicas de extração de informações, além da possibilidade de aplicar seus resultados em diversas áreas de estudo (Estudos Urbanos, Recursos Ambientais, Análises e Diagnósticos Ambientais). Assim, com a crescente mudança da paisagem, tornou-se necessário a atualização destas informações, e isso foi facilitado através da evolução dos sensores imageadores.

Em 1999, com o avanço tecnológico na área dos sensores que visam estudar os processos e fenômenos terrestres, foi lançada a plataforma orbital TERRA, como parte do programa da NASA chamado *Earth Observing System* - EOS. O objetivo principal foi colaborar para pesquisas sobre a dinâmica atmosférica global e suas interações com a superfície terrestre e oceano. Entre os diversos instrumentos abordo do satélite TERRA, destaca-se o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – ASTER, que oferece melhor resolução espacial de dados (15 a 90 m), e que dentre os seus canais de operação, o intervalo de 0,76 a 0,86 μm possibilita a geração de Modelos Digitais de Elevação - MDE (EMBRAPA, 2009).

Usualmente, aplicado em vários ramos das Geociências, os MDE's tornaram-se uma forma de adquirir dados precisos com um custo baixo, pois se trata de um produto em formato digital e é possível encontra-lo gratuitamente na Internet. Dentre as diversas informações possíveis de serem extraídas dos MDE's através do sensor ASTER destacam-se: modelos

topográficos; cartografia, geomorfologia e pedologia; estudos de uso e ocupação da terra - em áreas urbanas e rurais; ortocorreção de imagens de satélites e fotos aéreas em geral; modelos de declive; além da modelagem de bacias hidrográficas e drenagens (ENGESAT, 2010).

No processo de captura e manipulação de dados aplicados às bacias hidrográficas, um dos elementos de fundamental importância nos modelos hidrológicos é a topografia obtida através do MDE (GARBRUCH & MARTZ, 2000 apud MARCHIORO, 2008). Marchioro (op. cit.) ainda destaca que, através do MDE podem ser elaborados modelos em três dimensões que permitem identificar vales, rede de canais, padrão de drenagem, subdividir bacias, verificar declividade, orientação das encostas, direção dos fluxos hidrológicos superficiais, que oscilam em função da qualidade e resolução do MDE.

Dentre os diversos modelos hidrológicos, o utilizado nesta pesquisa é o *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT, desenvolvido para aplicação em bacias hidrográficas não monitoradas. Este modelo, dentre outras aplicabilidades, possui a capacidade de simular a produção de sedimentos de modo contínuo para bacias de curtos a longos períodos de tempo - acima de 100 anos - e, é eficiente para atuar em pequenas, médias e grandes bacias (maiores que 1.000 km² (ARNOLD et al., 1995; NEITSCH et. al., 2009).

Historicamente, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna - MG-RJ (BHRP) passou por inúmeras e importantes mudanças ao longo dos últimos séculos, desde que se tornou um importante elo de interligação entre o litoral e o continente, através da criação do Caminho Novo da Estrada Real. Ao passar das décadas, aglomerados populacionais cresceram e se desenvolveram na área desta bacia hidrográfica, seja para agricultura e pecuária, ou para o comércio e criação de indústrias. Porém seu processo histórico de uso e ocupação causou degradação de uma parte considerável da superfície original, deteriorando a paisagem através do uso urbano e/ou rural. Logo, a BHRP foi escolhida para a aplicação do modelo SWAT, auxiliado pelo uso de produtos do sensor ASTER, onde será possível uma melhor compreensão dos processos de uso e modelagem do relevo, além da dinâmica hidrológica de cada sub-bacia estudada. Ressalta-se que este estudo é parte integrante do projeto “Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna” desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado da Universidade Federal de Juiz de Fora (LGA/UFJF).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar, por meio de simulação, a perda percentual de solos de cada sub-bacia da BHRP, além de detectar qual destas obteve a maior contribuição na perda sedimentos, em relação às suas respectivas áreas na BHRP. O período de análise deste estudo foi para os anos de 2001 e 2011.

2. Área de Estudo

A Bacia do Rio Paraibuna (Figura 1) ocupa aproximadamente uma área de 8.617,55 km² entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. É composta por quatro sub-bacias e possui 37 municípios em sua área de cobertura, destacando o município de Juiz de Fora, este com o maior número populacional, 516.247 habitantes (IBGE, 2010).

A nascente do Rio Paraibuna e da sub-bacia que possui mesmo nome, está na serra da Mantiqueira no município de Antônio Carlos/MG, numa altitude de aproximadamente 1.200 metros e percorre aproximadamente 166 km, dos quais 44 km como divisa natural dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, até desaguar na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul a 250 metros de altitude. Outra sub-bacia que compõe a BHRP é a Bacia do Rio Preto que tem sua nascente na Serra do Itatiaia a 2.700 metros de altitude, localizada à sudoeste da bacia e junto ao Pico das Agulhas Negras. Este rio possui aproximadamente 170 km de extensão e deságua na margem direita do Rio Paraibuna, além disso, serve como divisa natural dos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. A terceira sub-bacia pertencente à BHRP é a bacia do Rio do Peixe, que nasce no município de Lima Duarte, a cerca de 1.200 m de altitude e

tem uma extensão de aproximadamente 140km, sendo que 50% do seu curso está dentro do município de Juiz de Fora. Por fim, a sub-bacia do rio Cágado possui sua nascente no município de Chácara, a cerca de 750 m de altitude e percorre cerca de 105km desaguando na margem esquerda do Rio Paraibuna (FEAM, 1996).

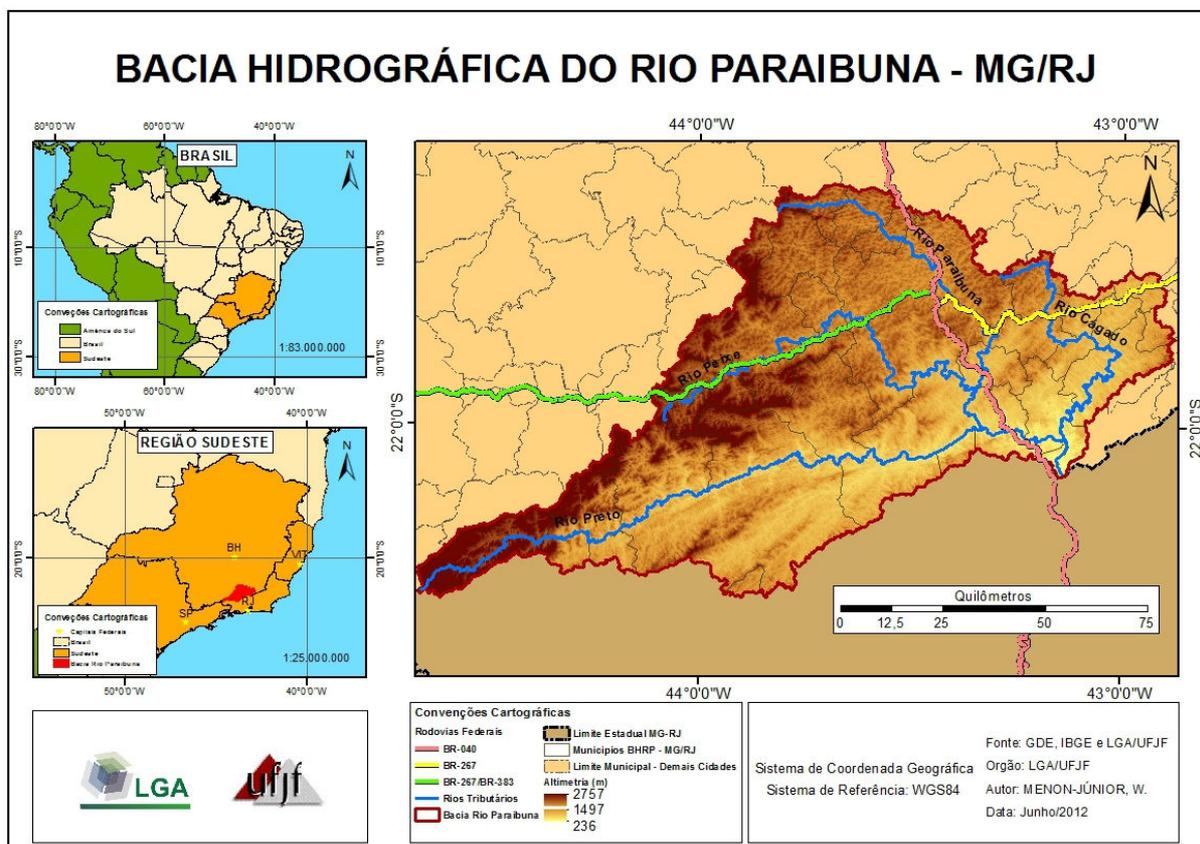


Figura 1. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna

3. Materiais e Métodos

3.1 SWAT

O SWAT é um modelo matemático que permite simular diferentes processos físicos em uma bacia hidrográfica. Este modelo foi desenvolvido para prever o impacto das práticas de manejo da terra sobre os rendimentos de sedimentos, água e produtos químicos agrícolas em grandes bacias hidrográficas complexas com diferentes solos, uso da terra e condições de gestão para longos períodos de tempo (intervalos de tempo diários, mensais e anuais) (NEITSCH et al., 2009).

Destaca-se que esse é um modelo de base física, com equações que descrevem a relação entre as variáveis de entrada (MDE – declividade e drenagem, mapas de pedologia, uso e cobertura da terra e dados climáticos diários) para, posteriormente, fazer as simulações desejadas ao estudo. O processamento desses dados será detalhado a seguir:

3.1.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Este modelo é utilizado para a análise da altimetria da bacia e foi obtido através do sensor óptico ASTER. O uso deste sensor é destacado pela qualidade geométrica dos seus MDE's e por integrar dados altimétricos e multiespectrais. Além disso, esse sensor cobre o espectro do visível ao infravermelho termal através de 14 bandas, distribuídas nos subsistemas VNIR (*Visible and Near-InfraRed*), SWIR (*Short Wave InfraRed*) e TIR (*Thermal InfraRed*). Porém,

os MDEs são gerados do par estereoscópico de imagens do infravermelho próximo, no subsistema VNIR (CAMARGO et al., 2009).

A aquisição da imagem do sensor ASTER, foi obtida a partir do *Global Data Explorer* através do recorte do polígono referente à BHRP. Tal imagem possui uma resolução espacial de 30x30m por pixel e será a partir desta imagem que o modelo SWAT irá gerar os limites da bacia hidrográfica, suas URH's e a respectiva rede hidrográfica.

3.1.2 Mapa e parâmetros pedológicos

A base de dados pedológicos foi extraída da Folha SF-23/24 atualizada do Projeto RADAMBRASIL (1983) por Carvalho (2010), e, para a caracterização dos horizontes de cada solo foram utilizados dados da literatura (BALDISSERA, 2005; MORO, 2005; LELIS, 2011), pois cada parâmetro determina qual solo é mais ou menos propenso à erosão. Para entrada dos parâmetros de solo foram determinados os perfis representativos, baseados em critérios morfológicos e de disponibilidade de parâmetros necessários para adicionar ao modelo.

3.1.3 Mapa de uso e cobertura da terra

O mapa de uso e cobertura da terra foi gerado através da classificação feita no software de processamento de imagens *ENVI 4.8*, a partir da composição das órbitas 217 (cenas 75 e 76) e 218 (cena 75) do satélite Landsat 5 (do dia 13/08/2010). Visando validar o mapa de uso e cobertura da terra, foi realizada uma análise comparada das imagens de satélite e aquelas disponibilizadas pelo software *Google Earth 6.0.3*.

3.1.4 Mapa de declividade

O mapa de declividade foi gerado pelo modelo SWAT, a partir da análise do MDE obtido do sensor ASTER. O SWAT faz a leitura de cada pixel da imagem e calcula o respectivo valor da declividade do ponto. A partir disso são definidas, manualmente, as classes de declividade que o modelo deve operar. Para este estudo foram adotados os critérios definidos por Embrapa (1979) (Tabela 1), trabalhando-se com 5 classes – número máximo permitido pelo modelo.

Tabela 1. Classes de Declividade, Embrapa (1979) adaptados ao modelo SWAT

Classes de Declividade	Declividade (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 e 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso à Escarpado	acima de 45%

3.1.5 Dados climáticos diários

Os dados climáticos foram obtidos das estações climatológicas de Juiz de Fora (MG), Barbacena (MG), Resende (RJ) e Paty do Alferes (RJ), disponíveis no site do INMET. Tais estações foram escolhidas por serem as mais próximas e/ou inscritas na área da bacia e que o modelo necessita para a execução.

3.1.6 Criação das URH's

Posteriormente, para a criação das URH's, que são partes da bacia que possuem uma única combinação de uso da terra/solo/manejo, e forneceram informações para o escoamento e produção de sedimentos na bacia associados com os dados climáticos, o modelo fez a combinação dos mapas de pedologia, uso e cobertura da terra e declividade (MORO, 2005). Após esta etapa, foram inseridos os dados climáticos de cada estação, e, posteriormente, definiu-se o intervalo de simulação para o modelo.

3.1.7 Execução do Modelo SWAT

Para a execução do modelo hidrológico SWAT, foi necessária a utilização da extensão *ArcSWAT* 2.3.4 para o software de geoprocessamento *ArcGIS* 9.3 que atuou como ferramenta de pré e pós processamento dos dados.

4. Resultados e Discussão

Para a classificação de perda percentual de sedimentos o modelo SWAT fez a combinação dos três planos cartográficos de informação: uso e cobertura da terra, pedologia e declividade. Após esta etapa, o modelo criou as 13 URH's e calculou os seus respectivos valores de sedimentos perdidos. Após esta etapa foram reagrupadas as URH's de acordo com as quatro sub-bacias (Rio Preto, Rio Peixe, Rio Paraibuna e Rio Cágado). Na figura 2 é apresentado o Mapa Percentual de Perda referente a cada sub-bacia. O período de estudo foram os anos de 2001 a 2011.

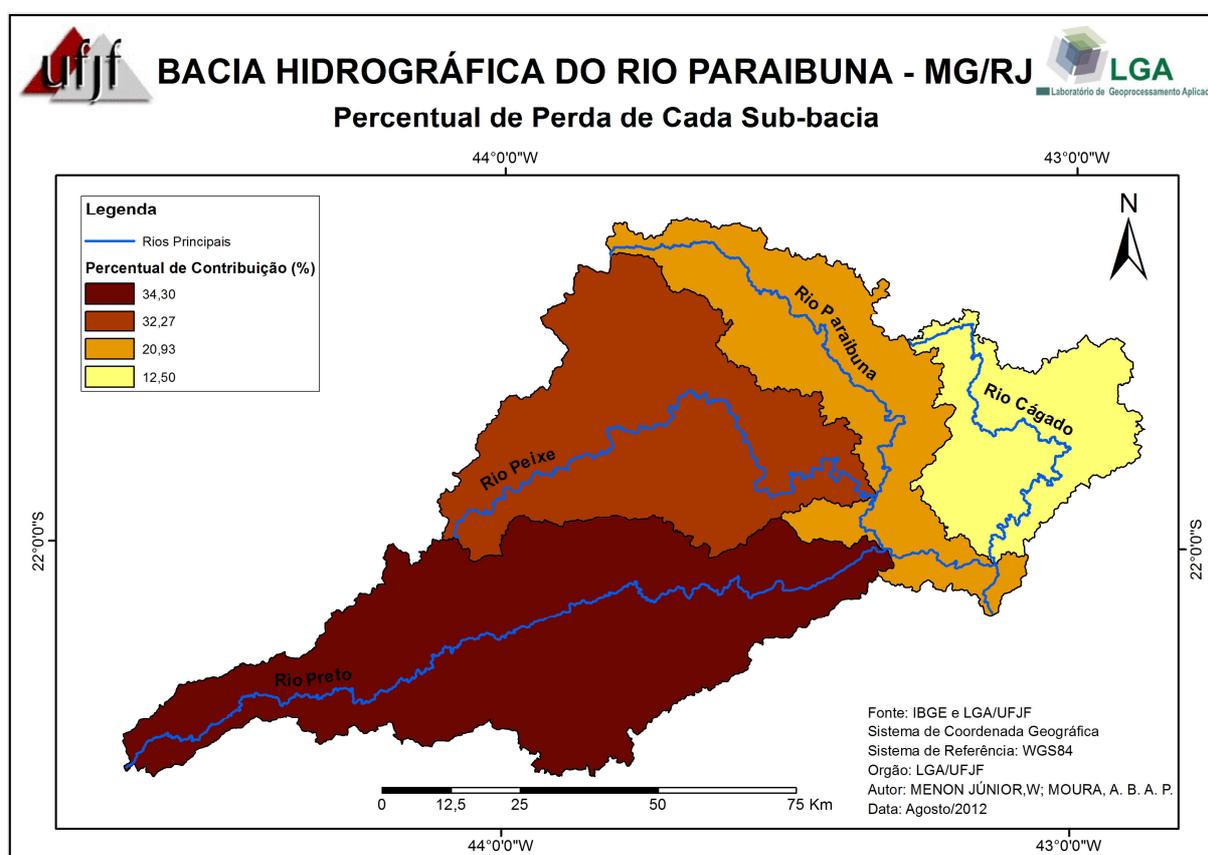


Figura 2: Mapeamento Classificatório de perda percentual de sedimentos por sub-bacia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna para o período entre 2001-2011

Conforme destacado na figura acima, a simulação feita pelo modelo SWAT mostra que a sub-bacia do Rio Preto contribuiu para a maior perda percentual de sedimentos 34,3%. Esta, também, é a maior sub-bacia da BHRP, com 39,6% da área total (tabela 2) ou 3.411,85 km²; tem a menor perda de sedimentos por hectare, 4,39 ton/ha/ano, e, o total produzido ao ano é em torno de 1.496.000 ton/ano.

A sub-bacia do Rio do Peixe é a segunda em maior contribuidora percentual de sedimentos, 32,27% do total. A área desta sub-bacia corresponde à 27,35% ou 2.357,2 km² da BHRP. Esta possui a maior perda de sedimentos por hectare, 5,97 ton/ha/ano, e, o total produzido ao ano chega à aproximadamente 1.408.000 ton/ano.

A terceira sub-bacia com maior área absoluta (km²) e área percentual é a do Rio Paraibuna, com 1.708,38 km² ou 19,82%. Apresenta a segunda maior perda de sedimentos por

hectare, 5,34 ton/ha/ano, e, o total produzido ao ano chega à 913.000 ton/ano, ou seja, contribui com 20,93% dos sedimentos perdidos na BHRP.

A última sub-bacia, pertencente ao Rio Cágado, conta com uma área de 1.140,22 km² ou 13,23% do total da BHRP. Com uma perda de 4,78 ton/ha/ano possui o menor total por hectare produzido ao ano. Ao longo do ano, é mostrado que nesta sub-bacia há a perda de aproximadamente 545.000 ton/ano, portanto, colabora com 12,5% do total dos sedimentos da BHRP.

Tabela 2. Dados obtidos de cada Sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

Sub-bacia	Área (km ²)	Área (%)	Sedimentos perdidos (t/ano)	Sedimentos perdidos (t/ha/ano)	Contribuição de sedimentos perdidos (%)
Rio Preto	3411,85	39,6	1495991	4,39	34,3
Rio do Peixe	2357,20	27,35	1407736	5,97	32,27
Rio Paraíba	1708,38	19,82	913016	5,34	20,93
Rio Cágado	1140,22	13,23	545026	4,78	12,5
TOTAL	8617,55	100	4361769	5,06	100

No entanto, o que se destacou na simulação foi a tonelagem por hectare ao ano (ton/ha/ano), pois, apesar da sub-bacia do Rio Preto ser a maior fornecedora de sedimentos (ton/ano), mostrou ser aquela que menos contribuiu por hectare ao ano, cerca de 4,39 ton/ha/ano. Ao passo que a sub-bacia do Rio do peixe, segunda em total de sedimentos perdidos (ton/ano) produziu 90.000 toneladas a menos e foi a maior contribuidora por hectare ao ano, chegando a um total de 5,97 ton/ha/ano, mesmo sendo 12,25% menor em área que a sub-bacia do Rio Preto.

A sub-bacia do Rio Paraíba com quase metade da área da maior sub-bacia da BHRP (Rio Preto), foi a segunda em sedimentos perdidos (ton/ha/ano), aproximadamente 5,34 ton/ha/ano, ou seja, 1 ton/ha/ano a mais que a do Rio Preto.

Apresentando valores de área total e contribuição percentual por volta de 1/3 da maior sub-bacia e com valores próximos à do Rio Preto, a sub-bacia do Rio Cágado obteve uma média de aproximadamente 4,78 ton/ha/ano.

5. Considerações Finais

Embora com resultados parciais, conclui-se que o uso da imagem do sensor ASTER é eficiente para a utilização do modelo SWAT, pois a resolução do pixel da imagem (30m) permite uma aplicação eficaz para a análise comparativa do comportamento erosivo entre sub-bacias. Pois, de acordo com o que foi mostrado, as duas maiores sub-bacias da BHRP (Rio Preto e do Rio do Peixe) detém 67% da área total, e contribuição de sedimentos próximo à 66% do total. Apesar deste resultado, mostrou-se que embora a maior sub-bacia (Rio Preto) possuir a maior contribuição percentual, não significou ser a que apresentou maior degradação. Isso é visto nas sub-bacias do Rio do Peixe e do Rio Paraíba que apresentaram valores de sedimentos perdidos por hectare (ton/ha/ano) maiores que da sub-bacia do Rio Preto - mesmo com áreas aproximadamente 12% e 20% menores, respectivamente.

Conclui-se que as sub-bacias do Rio do Peixe e Rio Paraíba, necessitam de uma análise mais aprofundada a respeito destes processos erosivos destacados, ou seja, é necessário estudá-las com uma escala de maior detalhe, uma vez que não apresentaram o mesmo padrão mostrado pelas outras sub-bacias. Assim, em estudos futuros serão adotados dados com uma resolução espacial de maior detalhe juntamente com a calibração e validação dos resultados obtidos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora, ao INMET pela disponibilização dos dados climáticos, à PROPESQ/UFJF e ao CNPq pela concessão de bolsas de IC e de mestrado, que auxiliaram na execução deste projeto.

Referências Bibliográficas

Araújo, J. P. C. **Utilização de métodos e critérios para a determinação de rio principal em bacia hidrográfica – o caso do rio Paraibuna**. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009. 110 p.

Arnold, J. G. E Srinivasan, R. A. Continuous catchment-scale erosion model. In: BOARDMAN, J. e FAVIS-MORTLOCK, D. (Ed). **Modelling soil erosion by water**. Oxford 1995. p.413 – 428.

Baldissera, G. C. **Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), Para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Dissertação de Mestrado em Física e Meio Ambiente – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005. 132p.

Brasil. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**, 1983. Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Pedologia. Rio de Janeiro: DNPM, v.32.

Camargo, F.F.; Almeida, C.M.; Florenzano, T.G.; Oliveira, C.G. **Acurácia Posicional de MDE ASTER/Terra em Área Montanhosa**. Revista Geomática, ISSN 1980-809, Vol. 4 - Nº 1 – 2009, p. 12 - 24. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/rgeomatica/page4/02.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2012.

Carvalho, A.C.B. **Modelagem de banco de dados a partir das características pedológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna – MG/RJ**. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010. 40p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10. **Súmula**. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. 83 p.

Embrapa Monitoramento Por Satélite. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 set. 2012.

ENGESAT. **Altimetria Aster**. Disponível em: <<http://www2.engesat.com.br/?system=news&eid=378>>. Acesso em: 18 set. 2012.

Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM). **Bacia do Paraibuna: enquadramento das águas**. Belo Horizonte: FEAM-MG, 1996.44 p. (Relatório Técnico).

Global Data Explorer (GDEX). Disponível em: <<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2012.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20. maio 2012.

Lelis, T. A. **Modelagem do Escoamento Superficial e Perda de Solo na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Zona da Mata de Minas Gerais, Utilizando o Simulador SWAT**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. 164p.

Marchioro, E. **Modelagem hidroossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à Aplicação de Práticas de Conservação de Água e Solo no Noroeste Fluminense**. 2008. 189p. Tese (Doutorado em Geografia) – PPGeo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

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

Neitsch, S. S.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R. E Williams, J. J. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation - version 2009.** SERVICE., G.-S. A. W. R. L. A. R. Texas - USA: 618p. 2009.

Williams. J. R.; Jones, C. A E Dyke, P.T. **A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity.** Trans. ASAE., v. 27(1), 1984. P.129-144.