



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

ArcGis, IDL-HAND e TerraHidro: avaliando eficácia e eficiência na delimitação de bacias hidrográficas usando diferentes fontes de dados altimétricos.

Leonardo B. L. SANTOS^{1,2}, Claudia de A. LINHARES¹

1 Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)

2 Programa de pós-graduação em Computação Aplicada (CAP) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

{leonardo.santos, claudia.linhares}@cemaden.gov.br

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo comparativo, no qual se avalia a eficácia e a eficiência de três ferramentas computacionais para a delimitação de bacias hidrográficas e a extração da rede de drenagem, a partir de dados altimétricos oriundos de diferentes fontes: imagens SRTM originais da USGS (90 metros), imagens SRTM interpoladas (30 metros) do projeto TOPODATA e imagens ASTER (30 metros). As ferramentas computacionais utilizadas foram o módulo 'ArchHydro' da solução comercial ArcGIS, o *software* livre 'TerraHidro' e o módulo livre 'HAND' executável em IDL. Foram avaliadas as dificuldades e facilidades no uso dos dados, o tempo de processamento e os produtos obtidos para o caso da bacia do rio Doce. Tanto os dados de entrada, quanto as ferramentas utilizadas, apresentaram diferenças quanto ao tempo de processamento e à facilidade de uso dos dados, fatos que devem ser considerados antes de um estudo, especialmente em bacias de médio e grande porte.

Abstract

This paper presents a comparative study about efficiency and effectiveness of different softwares to delimit hydrographic basin boundaries and to extract drainage network from altimetric data derived from three different sources: original SRTM images from USGS (90 meters), resized SRTM images from Topodata Project (30 meters) and ASTER images (30 meters). The computational tools used were 'ArchHydro' module of ArgGis, the free software 'TerraHidro' and the free module 'Hand', running at IDL plattaform. It was analyzed the facilities and difficulties of each altimetric data set, the processing times and the final products for the rio Doce basin case study. Both altimetric data and computational tools have showed differences referring to processing time and ease of use, aspects which may be consider within a project, especially in the case of medium and big basins.

Palavras chaves: desastres naturais, hidrologia, rio Doce, bacia, geoprocessamento

Keywords: natural disasters, hydrology, rio Doce, basin, geoprocessing



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

1. Introdução

Os desastres naturais têm ocorrido com maior frequência em todo mundo, em função das mudanças climáticas, do crescimento urbano descontrolado e da ocupação sem planejamento e em áreas de risco, afetando milhares de pessoas e causando prejuízos sociais e econômicos cada vez mais severos (Tominaga et al., 2009). A Defesa Civil (2012) define desastre natural como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Segundo os critérios adotados pelo EM-DAT (*Emergency Disasters Data Base*), caracteriza-se por apresentar mais de dez óbitos e/ou mais de cem afetados e/ou quando é declarado estado de emergência e/ou quando há pedido de auxílio internacional (Tominaga et al., 2009).

Dentre as categorias de desastres naturais, existem os hidrológicos, que abrangem as inundações, os alagamentos e as enxurradas. A inundação caracteriza-se pelo aumento do nível dos rios, havendo transbordamento de água para as áreas vizinhas, atingindo a planície de inundação e/ou a área de várzea. É diferente da cheia, fenômeno que ocorre naturalmente e durante o qual não ocorre transbordamento. A enxurrada é caracterizada pelo escoamento superficial concentrado e em alta velocidade, com grande capacidade de transporte. O alagamento é um fenômeno de acúmulo de água em uma determinada área, o qual está relacionado à ineficiência no sistema de drenagem urbana (Ministério das Cidades/IPT, 2007). Desde as civilizações mais remotas, as áreas próximas aos rios são preferencialmente ocupadas, pela facilidade de acesso à água e pelo fato do rio consistir uma importante via de transporte. Entretanto, como estas áreas são as primeiras a serem inundadas quando há uma cheia seguida de transbordamento do rio, estes os desastres naturais hidrológicos costumam afetar um grande número de pessoas.

A ocorrência de alagamentos, inundações e enxurradas tem sido cada vez mais frequente nas estações chuvosas e após eventos extremos de chuva. No relatório de 2008 de estatísticas de desastres da OFDA/CRED, o Brasil aparece em 10º lugar entre os países do mundo com maior número de vítimas relacionadas aos desastres naturais, sendo o 7º em relação aos impactos econômicos (Tominaga et al., 2009). No entanto, o país é líder na ocorrência de enxurradas e inundações, que correspondem a 59% dos desastres naturais. Entre 1960 e 2008 foram 94 desastres, envolvendo 5720 mortes e 15 milhões de pessoas afetadas (Nobre, 2012).

Em função desses números, diversos esforços têm sido propostos atualmente, visando a previsão e a mitigação dos desastres naturais, através de estudos de vulnerabilidade e susceptibilidade de áreas a inundações e deslizamentos, de modelagem climática e do monitoramento hidrológico e das condições de tempo. No âmbito dos estudos hidrológicos, todas as análises partem de um conjunto



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

de informações iniciais: o relevo, a rede de drenagem e o limite da bacia, sendo que os dois últimos são oriundos de dados altimétricos.

A bacia hidrográfica constitui uma unidade geográfica natural para estudos hidrológicos, por consistir em uma área de captação da água precipitada, composta pelos divisores de água, pelas superfícies de captação e pela rede de drenagem, a qual converge para um canal principal de escoamento. O limite da bacia hidrográfica define um sistema físico, localmente fechado, para o qual é possível realizar o balanço hídrico, considerando a entrada de água de forma concentrada através da precipitação e a saída distribuída no tempo e no espaço, através dos processos de evaporação, de transpiração e de escoamento pelos canais de drenagem (Linhares, 2005). Portanto, a delimitação da bacia e da sua rede de drenagem são informações fundamentais, uma vez que define os divisores de água e a área que efetivamente contribuirá para a vazão do canal principal.

A delimitação da bacia pode ser realizada manualmente a partir de cartas topográficas, conectando os pontos de sela e os topos de morro nas isolinhas de altimetria, ou pode ser realizada automaticamente, a partir de imagens orbitais do relevo. Da mesma forma, a extração da rede de drenagem pode ser manual, a partir da digitalização dos rios nas cartas topográficas, ou automático, a partir de imagens de relevo. Em ambos os casos, o processo manual é mais trabalhoso, demorado e requer experiência e habilidade, porém o resultado costuma ser preciso e correto. Já o processo automático, costuma ser mais rápido e simples, no entanto, dependendo da escala, da localização da bacia e da qualidade do dado de entrada, o resultado pode apresentar incongruências. No caso de numerosas bacias ou de bacias de média e grande escala, a solução automática é mais interessante.

Atualmente, há diversas opções disponíveis para delimitação e extração de drenagem automática de bacias hidrográficas, dentre elas, o *software* livre **TerraHidro** (Rosim, 2008), o módulo livre **Hand** (Rennó, 2008), executável em ambiente IDL e o módulo **ArchHydro** da solução comercial ArcGIS (ESRI, 2010). Além da oferta de aplicativos, também há variedade de dados orbitais altimétricos para entrada no processo automático, tais como as imagens SRTM ("*Shuttle Radar Topography Mission*") originais, com resolução espacial de 90 metros (USGS, 2012), as imagens ASTER ("*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*"), com resolução espacial de 30 metros (ASTER / JPL / NASA, 2012), além das imagens SRTM interpoladas para resolução espacial de 30 metros, provenientes do projeto TOPODATA (Valeriano e Rossetti, 2011).

Considerando esta diversidade de possibilidades, este trabalho teve como principal objetivo analisar as diferenças entre os dados e entre as ferramentas, avaliando a eficácia, quanto aos produtos gerados, e a eficiência, quanto ao tempo de processamento. Para isso, cada um dos dados altimétricos foi processado em cada um dos *softwares* para gerar os dados preliminares à



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

determinação da rede de drenagem e do limite da bacia. Este artigo visa contribuir com a otimização do processo de escolha da melhor opção em função dos objetivos propostos e da área de estudo.

2. Área de estudo

A bacia do rio Doce possui um histórico de desastres por eventos fortes de chuva desde 1979, quando uma grande enchente deixou quase 50 mil pessoas desabrigadas, com mais de 4.400 residências atingidas, além de 74 vítimas fatais (CPRM, 2012). Este evento motivou a instalação do Sistema de Alerta contra Cheias da Bacia do Rio Doce. No verão de 1998 foi realizada a primeira operação, sob coordenação conjunta da ADOCE (Agência Técnica da Bacia do Rio Doce), CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Com a extinção da ADOCE nesse mesmo ano, a segunda operação em 1999 foi realizada pela CPRM, ANEEL e o IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de Águas). Com a criação da ANA (Agência Nacional de Águas) em 2000, a ANEEL foi substituída nas operações a partir de 2001 até os dias atuais. Neste período, outros dois eventos de enchente ocorreram (2003 e 2004), atingindo vários municípios, além de outro em 2008, quando o rio Doce subiu 8 metros acima da cota média. Este histórico de cheias na bacia, relatado por IGAM (2007) (Figura 1) foi uma das principais motivações para a escolha da área de estudo.

O Doce é o principal rio do Espírito Santo, tendo exercido papel fundamental na história do estado. É formado pela união do rio Piranga, que nasce na Serra da Mantiqueira (a sudoeste), com o rio do Carmo, que nasce na Serra do Espinhaço (a leste), ambos em Minas Gerais. Outras serras delimitam a bacia do rio Doce: Serra de São Félix a nordeste, Serra do Caparaó ao sul e as Serras Negra e dos Aimorés ao norte (Figura 5). Seu comprimento total é de 853 km, com foz no município de Linhares, no Espírito Santo.

A bacia hidrográfica do rio Doce encontra-se totalmente inserida na região sudeste do país, fazendo parte da região hidrográfica Atlântico Sudeste. Sua área de drenagem é de 83.400 km², sendo 86% em Minas Gerais e 14% no Espírito Santo, abrangendo 222 municípios. As principais cidades drenadas pela bacia em Minas Gerais são Ipatinga e Governador Valadares, e no Espírito Santo, são Colatina e Linhares.



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

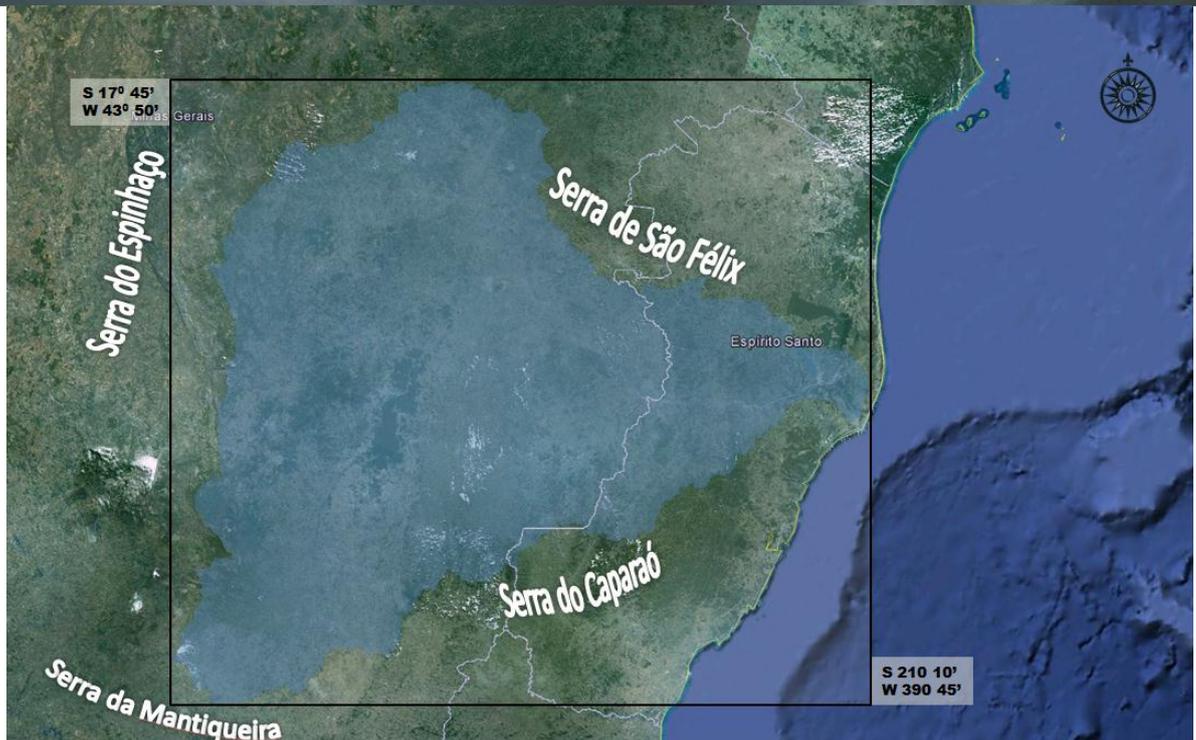


Figura 5 – Contexto geográfico da bacia do rio Doce.

Esta região hidrográfica apresenta grande desenvolvimento industrial e concentra cerca de 15% da população do país, da qual 90% vive em áreas urbanas, incluindo três grandes adensamentos populacionais: a Região Metropolitana do Rio, a Região Metropolitana de Vitória e a Região Metropolitana da Baixada Santista. Esta condição de elevada população urbana é agravada pela ocupação intensa e irregular de encostas e áreas ribeirinhas, nas quais a vegetação nativa encontra-se mal conservada ou mesmo inexistente (ANA, 2012).

A precipitação média anual da bacia varia entre 900 mm na divisa dos estados até 1500 mm nas nascentes e no litoral e a vazão média anual na foz é 900 m³/seg. A bacia representa o maior manancial de água doce do estado, com expressiva capacidade de geração de energia elétrica.

3. Material e método

a. Material

Os dados altimétricos utilizados para a comparação foram:

- 1) Imagens SRTM originais, disponíveis no *site* da U.S.Geological Survey (USGS), com resolução espacial de 90 metros, em um total de 3 cenas;



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

- 2) Imagens SRTM, reamostradas para a resolução espacial de 30 metros, disponíveis no *site* do projeto TOPODATA, em um total de 19 cenas;
- 3) Imagens ASTER originais, com resolução espacial de 90 metros, disponíveis no site da Jet Propulsion Laboratory da National Aeronautics and Space Administration (JPL/NASA), em um total de 34 cenas.

Os aplicativos utilizados para a comparação foram:

- 1) **TerraHidro** (Rosim, 2008), software livre, destinado à modelagem hidrológica distribuída, baseado na biblioteca geográfica TerraLib e na biblioteca de grafos *Boost Graph Library* – BGL, ambas desenvolvidas na linguagem C++, disponível através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2012a);
- 2) **Hand** (Rennó, 2008), módulo livre, executável em ambiente IDL, disponível através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2012b);
- 3) **ArcHydro**, módulo de hidrologia, disponível da solução comercial ArcGIS (ESRI, 2010).

A máquina utilizada para execução de todos os programas foi um desktop INTEL i5-2400, com 8 Gb de memória RAM e com o sistema operacional Windows, 64 bits.

b. Método

Para a comparação proposta neste estudo, foram consideradas a duas primeiras etapas do processo de delimitação de bacias e extração da rede de drenagem, por serem as que demandam maior tempo de processamento e as mais problemáticas: a geração da grade de direções de fluxo, denominada LDD (*Local Drain Directions*) e a geração da grade da área acumulada de drenagem, denominada AA (*Accumulating Area*).

O dado LDD consiste em uma imagem matricial, onde cada pixel possui um valor, o qual está relacionado à direção para a qual a água precipitada naquele ponto irá fluir. Os valores, potências de base 2 (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128) estão relacionados aos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e aos pontos colaterais (Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste).

O dado AA também consiste em uma imagem matricial, na qual estão mapeados os pontos mais baixos, que recebem a maior parte da água precipitada nos divisores de água, considerando as direções de fluxo definidas na etapa anterior, com a geração do LDD.



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

Para cada um dos dados altimétricos, foram gerados os dados LDD e AA, em cada um dos três softwares testados, totalizando 18 procedimentos.

Os mosaicos das imagens altimétricas foram realizados no ambiente ENVI 4.6.1, levando cerca de 1,5 minutos para as cenas com resolução espacial de 30 metros e aproximadamente 0,5 minuto para o dado de 90 metros. O sistema de referência geográfica em todos os casos foi coordenadas geográficas Lat/Long e datum WGS 84. A escolha do ENVI foi baseada na facilidade e rapidez de execução da tarefa, permitindo inclusive pequenas edições antes do mosaico.

4. Resultados e discussão

Na Tabela 1 constam os tempos de execução de cada etapa, para cada dado altimétrico, em cada software, considerando a seguinte legenda referente aos tempos de processamento: 1 = até 15 minutos; 2 = até 1 hora; 3 = até 4 horas; 4 = até 8 horas; 5 = até 16 horas; 6 = até 24 horas; 7 = até 48 horas; 8 = mais de 48 horas (neste caso, a etapa posterior não foi executada). A categoria 9 foi atribuída aos processos que não puderam ser concluídos por problemas ligados a questões de memória computacional.

Tabela 1 – Tempo de execução para geração do LDD e da AA para cada um dos dados altimétricos, em cada um dos *softwares* testados.

SOFTWARES	DADOS					
	USGS		ASTER		Topodata	
	LDD	AA	LDD	AA	LDD	AA
HAND-IDL	5	3	8	3	9	-
TerraHidro	8	-	8	-	7	1
ArcGIS	1	4	2	3	2	3

Com relação aos produtos gerados, os dados de LDD e AA para cada um dos dados altimétricos não apresentaram divergências entre si, em função dos aplicativos utilizados, ou seja, os arquivos de LDD gerados para um determinado dado altimétrico pelos três aplicativos são idênticos, assim como os dados de AA. Assim, considerando a inexistência de diferenças entre os produtos gerados para este caso de estudo, direcionamos a discussão para as particularidades com relação ao tempo de processamento de cada *software*.

Quanto aos dados altimétricos, as imagens do TOPODATA mostram grande utilidade para fotointerpretação e geomorfologia, incluindo a visualização de relevo, identificação de feições, entre outros, por sua alta qualidade visual, derivada dos processamentos realizados, e pela alta resolução espacial. Entretanto para a hidrologia, o dado mostrou-se pesado, custando muito tempo de processamento, que pode ser particularmente complicado no caso de grandes bacias. Um fator



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

adicional é que, pelo fato de consistirem em dados derivados, há sempre a possibilidade de inserção de fatores e erros que devem ser considerados no resultado final.

No caso de estudos de modelagem hidrológica ou de pequenas bacias, que requeiram resoluções espaciais mais finas, os dados do ASTER, apesar de igualmente pesados e demandarem muito tempo de processamento, mostram-se mais adequados, simplesmente por serem originais e brutos, sem processamentos posteriores, que sempre alteram o dado original e inserem uma fonte adicional e propagadora de erro.

Para estudos que não requeiram resolução espacial muito fina ou mesmo para estudos em grandes bacias hidrográficas, o dado altimétrico com melhor custo/benefício foi o SRTM original, com 90 metros. Trata-se de um dado leve, com baixo tempo de processamento, sendo possível gerar o LDD e o AA em poucas horas, e cuja representatividade do relevo pouco difere do dado de alta resolução.

Considerando o tempo total de execução dos processamentos pelos *softwares*, os resultados mostram que o TerraHidro é a alternativa mais lenta e o ArcGis, a mais rápida, em todas as etapas e independente do dado altimétrico de entrada. O Hand/IDL também mostrou-se lento e, juntamente com ArcGis, foram os aplicativos que apresentaram os maiores problemas de acesso à memória, especialmente com relação aos dados de alta resolução espacial (30 metros), sendo frequente o processamento não terminar, sendo necessário recomeçar novamente.

Entretanto, uma vez que os produtos não divergem entre si, é possível gerar o LDD usando um software o AA usando outro, diminuindo o tempo total de processamento dos dados. Por exemplo, utilizando o ArcGis para a geração do LDD e o TerraHidro para a geração do AA, é possível gerar ambos os produtos em 20 minutos.

5. Conclusões e Perspectivas

O processo de escolha quanto aos dados altimétricos e ao *software* a serem utilizados em um estudo hidrológico deve considerar alguns fatores, como o tamanho da bacia, a forma de análise (modelagem ou observação), os recursos computacionais e tempo disponível, para que esta escolha seja a mais otimizada possível em termos dos produtos gerados.

Em termos de tempo, o dado altimétrico com maior custo/benefício em termos de estudos hidrológicos foi o SRTM original, proveniente da USGS, que possui a menor resolução espacial, porém adequada à grande maioria dos estudos, e que apresentou os menores tempos de processamento. Com relação a *software*, em termos de facilidade de interação com usuário e rapidez de processamento, destaca-se o ArcGis.



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

Entretanto, o TerraHidro apresentou um dos menores tempos para geração do AA e o Hand/IDL forneceu a melhor delimitação da bacia, e ambos possuem a vantagem de serem aplicativos livres e abertos à colaboração de toda a comunidade científica interessada. Da mesma forma, o dado ASTER oferece um refinamento espacial que pode ser interessante aos estudos de modelagem e sua maior demanda de tempo pode ser compensada pelo uso do ArcGis, o *software* com melhor desempenho de tempo.

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao Dr. Camilo Daleles Rennó, pelo esclarecimento de dúvidas e apoio em todo o processo de utilização do Hand / IDL.

Referências bibliográficas

ANA. Agência Nacional de Águas. Hidroweb. <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acessado em 12 de Janeiro de 2012.

ASTER / JPL / NASA. (2012). Disponível em <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>.

CPRM. 2012. Sistema de Alerta contra Cheias da Bacia do Rio Doce. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/alerta/site/index.html>>

Defesa Civil. (2012). Disponível em <<http://www.defesacivil.gov.br/index.asp>>.

ESRI (2009). ArcGIS Desktop: Release 9.3.1 São Paulo, SP: Environmental Systems Research Institute.

INPE (2012a). TerraHidro. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~alexandre/TerraHidro/>>

INPE (2012b). Hand. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/hand>>.

Linhares, C.A. (2005) Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do rio Ji-Paraná/RO. Tese de Doutorado. INPE. São José dos Campos. 217p. INPE-13778-TDI/1052.

Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. (2007). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 176 p.

Nobre, C.A. (2012) Comunicação oral.

Rennó, C. et al. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 9, p. 3469-3481. ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2008.03.018

Rosim, S.; [Monteiro, A. M. V.](#); [Rennó, C. D.](#); [Oliveira, J. R. F.](#) (2008). Uma ferramenta open source que unifica representações de fluxo local para apoio à gestão de recursos hídricos no Brasil. *IP. Informática Pública*, v. 10, p. 29-49, 2008.



CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS

14 a 17 de maio de 2012

Rio Claro - SP

Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (orgs) (2009). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto geológico. 196 p. ISBN 978-85-87235-09-1.

Topodata (2012). Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>

USGS (2012). Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F. (2011). Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. Applied Geography (Sevenoaks), v. 32, p. 300-309.