

Uso de produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento como subsídio para análise morfométrica de bacias hidrográficas: um estudo de caso das bacias dos rios Capivari, Bacaxá e Alto São João – RJ.

Nátalie Chagas Slovinski
Natália da Costa Souza
Thais da Silva Dornelas

Universidade Federal Fluminense – UFF
Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n – 24210340 – Niterói, RJ, Brasil¹
natalia.ntf@gmail.com; nataliechagas@click21.com.br e thais-dornelas@uol.com.br

Abstract. The hydrological basin are often used as spatial unit in enviromental approach, because it´s the area where natural process and human activities interact. In this way, the study of basin morfometrics is an important support for understand the interacting process, and so, brings knowledgement of the function of the basin and finding causes, solutions and adaptations to natural phenomena's and human activities. The aim of this paper is to demonstrate the practice and the easiness of using geotechnologies as the remote sense and geoprocessing in the production of automatic data to make a precise morfometric analysis of river basins, based on four steps: a) the delineation of three tributary catchments of São João river; b) quantification of morfometrics parameters of it one; c) characterization of relief and the hypsometric curve through slope grids; and d) Land use and land cover mapping. All those are necessary to the systemic approach for study the phenomenon related to hydrology and geomorphology that occur inside the basin. To understand the data acquisition we have tried to describe how it parameter was obtained, both the parameters done automatically as the ones done throw formula. These datas were based on main parameters, such as: area, perimeter, drain channel length and others. So that, the subsidies to morfometrics analysis of river basins here enumerates will, *a posteriori*, compose the comparative analysis study between it others.

Keywords: morfometrics, river basin, remote sensing, geoprocessing.

1. Introdução

Para a elaboração de projetos de análises e gestão ambiental, planejamento e prevenções de eventos hidro-geomorfológicos como enchentes, estiagens, alteração da rede de drenagem, acidentes geomorfológicos, entre outros os índices morfométricos e a classificação do uso do solo são importantes pressupostos. A análise dos parâmetros morfométricos pelo emprego de técnicas de processamento digital de imagens e Sistema de Informação Geográfica (SIG) constitui um instrumento adequado para a análise ambiental. A compartimentação geomorfológica no ambiente computacional auxilia o diagnóstico ambiental e estudos para a realocação das atividades humanas (Lindner et al. 2007 apud Panquestor et al. 2002).

A bacia hidrográfica do rio São João destaca-se como manancial de abastecimento público dos municípios de Cachoeiras de Macacu (nascentes), Rio Bonito, Casimiro de Abreu, Araruama, Cabo Frio, Rio das Ostras e Silva Jardim – região das baixadas litorâneas do Estado do Rio de Janeiro - com uma área de 2190km² compreendida entre os paralelos S 22°20' e 22°48' e os meridianos W 42°40' e 41°55' (figura 2) e vem apresentando, nos últimos anos, crescente aumento no número e intensidade de seus problemas, em virtude da pouca preocupação com o ambiente, tais como poluição dos corpos d'água, inundações, deslizamento e conseqüentes processos de progressiva erosão dos solos e desgaste da cobertura vegetal natural (Vicens et al. 2006).

A área escolhida para a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, na obtenção de parâmetros utilizados em análise morfométricas é a área correspondente às sub-bacias dos rios Bacaxá, Capivari e Alto São João, que juntas contribuem com águas e sedimentos para a represa de Juturnaíba.

Os objetivos da presente pesquisa foram: delimitar três das principais bacias que compõe a bacia hidrográfica do Rio São João; quantificar os parâmetros morfométricos de cada uma;

caracterizar o relevo do solo com o traçado da hipsometria através da geração de mapas de declividade e classificar o uso e ocupação do solo, necessários aos estudos hidrológicos e geomorfológicos, tendo por base imagens de satélite e ferramentas SIG, evidenciando a facilidade e utilidade das ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo de análises morfométricas na automatização e extração de parâmetros.

2. Metodologia:

Para compor a totalidade da bacia do rio São João foram utilizadas duas cenas de imagem do satélite *LANDSAT 7/ETM+*: órbita/ponto 217/076 e 216/076 obtidas em 29/08/1999 e 25/04/2000 conformadas ao *datum* horizontal *South American Datum 1969* (SAD'69 – IBGE). As curvas de nível e hidrografia (escala 1:50.000) foram obtidas através do banco de dados cartográficos disponíveis para download na *homepage* oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, onde foram utilizadas as cartas MI: 27473 (Araruama), MI: 27174 (Casimiro de Abreu), MI:27472 (Morro de São João), MI:27462 (Rio Bonito), MI:27464 (Saquarema), MI: 27471 (Silva Jardim), MI: 27173 (Quartéis) e MI: 27178 (Nova Friburgo).

No Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense – LAGEF, os arquivos dos mapas digitais e banco de dados foram processados com a utilização do *software ArcGIS 9.2* para obtenção de algumas medidas e leituras, como área, perímetro, volume do relevo, comprimento de canais e declividade média da bacia. Sistema de posicionamento global (GPS) geodésico e de navegação serviram para o georreferenciamento de pontos de interesse.

As fórmulas (Tabela 1) para obtenção dos parâmetros morfométricos que não puderam ser calculadas automaticamente pela plataforma GIS são encontradas em Christofolletti (1980); Pedrazzi (1999); Costa e Lança (2001); Alves e Castro (2003).

Para a elaboração do mapa de Uso e Cobertura utilizou-se o método de segmentação e classificação supervisionada, através do *software Definiens Developer 7.0*. O resultado obtido foi refinado através de classificação manual sobre a imagem de satélite, utilizando o programa *ArcGis 9.2*, resultando na classificação e identificação de 13 classes.

Utilizou-se a imagem do satélite *Landsat 5-TM*, de julho de 2007, *Landsat –TM*, junho de 1976, e as folhas topográficas do mapeamento sistemático apresentadas anteriormente, na escala de 1:50.000, disponibilizadas pelo IBGE, a partir da qual se obteve as toponímias. Todos os dados foram padronizados nas projeções cartográficas UTM, fuso 23K, *Datum SIRGAS 2000*.

Quanto às características do relevo que dizem respeito às formas de utilização do solo, suas limitações e aptidões, foi gerado, a partir de um modelo digital de terreno gerado com a imagem SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* - fornecido para *download* na *homepage* oficial da NASA, um mapa de declividade da área de estudo, onde foram estabelecidas classes de porcentagem para caracterização.

Tabela 1 – Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização das bacias hidrográficas

Área (km ²)	A , km ² - determinação automática pelo SIG
Perímetro (km)	P , km - determinação automática pelo SIG
Ordem dos Canais	Grau de bifurcação entre os canais – método de Strahler
Comprimento dos Canais Principais(m)	Determinação automática pelo SIG

Volume do Relevo	Determinação automática pelo SIG
Declividade Média da Bacia	Determinação automática pelo SIG
Índice de Circularidade	$Ic = \frac{A}{\sqrt{Ac}}$
Coeficiente de Compacidade	$Kc = \frac{0,282 P}{\sqrt{A}}$
Densidade de Drenagem (km/km ²)	$D = \frac{L}{A}$
Declividade do Canal Principal (m/m)	$S = \frac{Hmax - Hmin}{L}$
Índice de Sinuosidade (%)	$Is = \frac{100(L - Ev)}{L}$

Onde: P = perímetro; A = área; L = comprimento do canal principal; Ev = comprimento do canal em linha reta; H = altura; Ac = área do círculo com o mesmo perímetro da bacia;

3. Resultados em números e mapas

A proposta de subsidiar a obtenção de dados morfométricos através de produtos de sensoriamento remoto (como as imagens LANDSAT e SRTM) e softwares de geoprocessamento baseou-se em demonstrar a possibilidade e praticidade da utilização de geotecnologias na obtenção automática desses dados e valores para uma posterior análise qualitativa, analítica e comparativa. Tal esforço também visa aprimorar a relação estabelecida entre os parâmetros encontrados, os dados de uso e cobertura do solo e as classes de declividade determinadas através da geração do mapa temático, também demonstrado no presente trabalho.

3.1 Obtenção dos dados de medidas e morfometria das bacias hidrográficas

No ambiente GIS foram calculados os seguintes parâmetros da seguinte forma:

A) A área, o perímetro, o comprimento do canal principal, a linha reta entre a nascente e a foz do canal e o comprimento das drenagens (dados que servem de base para a análise morfométrica) foram obtidos através de ferramentas dentro do Sistema de Informação Geográfica onde é possível escolher o sistema de medidas adotadas. Com o comando de calcular esses parâmetros, o programa envia automaticamente os dados ligados à topologia de referência (polígonos e linhas) para uma tabela que os armazenam. Dessa forma, os dados obtidos a partir da topologia georeferenciada ficam armazenados em forma de banco de dados, sendo possível acessar essas informações e analisá-las.

B) A partir dos dados básicos de medidas da bacia hidrográfica é possível calcular outros parâmetros que dependem diretamente deles. Parâmetros como índice de circularidade, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem e índice de sinuosidade foram calculados através de fórmulas e metodologias pré-estabelecidas encontradas nos autores já citados.

C) Já o volume do relevo e a declividade média necessitaram do uso de imagem SRTM que possuem informação de altitude do terreno (topográficas) em cada *pixel*, possibilitando a geração automática do cálculo de volume do relevo presente em cada bacia a partir da identificação de um plano de referência. Enquanto isso, declividade média foi obtida a partir Modelo Digital de Elevação - DEM do SRTM em formato *grid* na projeção geográfica UTM, onde dentro do SIG, a partir do qual, com o auxílio de ferramentas de análise 3D, gerou-se um

modelo de declividade. Posteriormente, este modelo foi reclassificado para discretizar seus valores contínuos em classes temáticas. Com o *raster* temático disponível foi possível convertê-lo para um mapa temático de classes de declividade em formato vetorial. A partir do cálculo das áreas das classes foi possível calcular a declividade média da bacia

D) Com a SRTM também foi possível gerar os gráficos de perfil longitudinal dos canais principais. Utilizando as informações topográficas dos *pixels* e a tabela com a informação da distância dos seguimentos da hidrografia foi possível relacionar, em um gráfico cartesiano, a distância e a altitude do canal principal de cada bacia hidrográfica, expressos nos gráficos da Figura 1 seqüente:

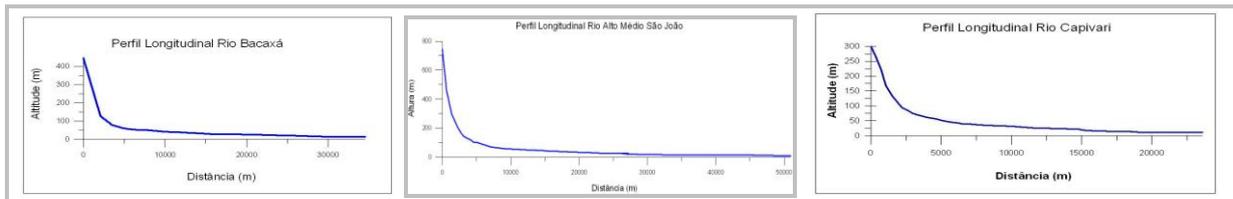


Figura 1: Perfis longitudinais dos canais principais dos rios Bacaxá, Alto São João e Capivari.

3.2 Resultados obtidos

Com os valores gerados através de métodos de geoprocessamento usando produtos de sensoriamento remoto foi possível espacializar dados e informações através da geração de mapas e tabelas que os representam.

A vetorização dos limites das bacias hidrográficas dos rios Alto São João, Bacaxá e Capivari foi feita através das cartas de hipsografia e hidrografia 1:50.000 da referida região, onde a partir da delimitação da área de estudo foram obtidos os dados necessários para o cálculo dos parâmetros e confecção dos mapas. As bacias estudadas foram representadas de forma espacializada na figura 2 abaixo.

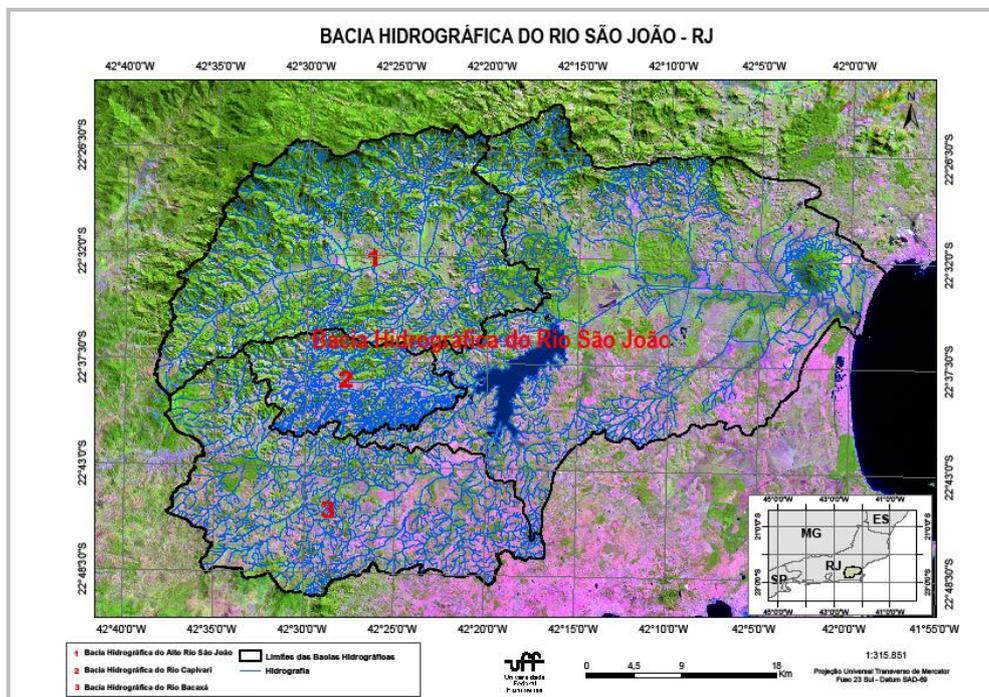


Figura 2: Localização da Bacia do Rio São João e Sub-bacias do Alto São João, Capivari e Bacaxá.

Com a área estudo delimitada foi possível gerar os parâmetros morfométricos descritos anteriormente. Para subsidiar a análise morfométrica das bacias hidrográficas colocaram-se os parâmetros dispostos em tabelas, como forma de facilitar uma futura análise comparada. Assim, os valores obtidos estão inseridos na tabela 2, separados por bacia hidrográfica.

Tabela 2: Resultados dos parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas

<i>Parâmetros</i>	<i>Bacias do rio Alto São João</i>	<i>Bacia do rio Bacaxá</i>	<i>Bacia do rio Capivari</i>
Área (km ²)	559,23	454,91	146,68
Perímetro (km)	129,86	133,25	70,96
Ordem dos canais	6 ^a	6 ^a	5 ^a
Comprimento de todos os canais (km)	921,05	815,36	249,83
Comprimento do canal Principal(m)	50100	38490	24170
Declividade do canal principal (m/m)	0,01	0,01	0,01
Densidade de drenagem(km/km ²)	1,65	1,79	1,70
Índice de Sinuosidade(%)	28,66	31,67	15,80
Coeficiente de compacidade	1,55	1,76	1,65
Índice de circularidade	0,42	0,32	0,37
Volume do relevo(km³)	121,81	34,17	10,63

Para a declividade média da bacia hidrográfica gerou-se, a partir do modelo 3D, um mapa temático vetorial das classes de declividade presente na bacia. A figura 3 representa o produto gerado.

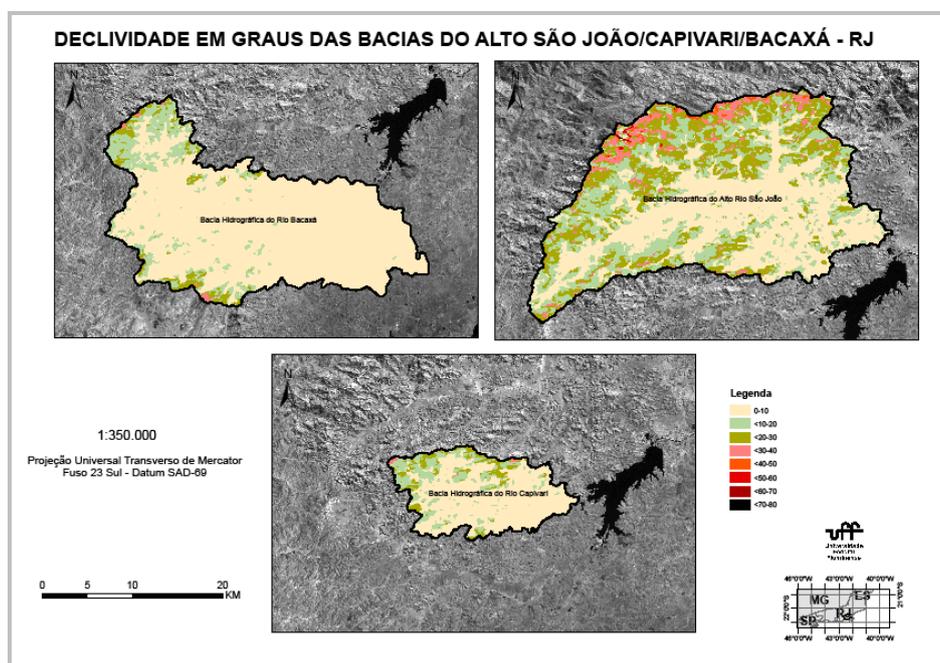


Figura 3: mapa de classificação da declividade de cada bacia hidrográfica.

A partir do mapa criado no ambiente GIS e sua tabela de referência foi possível chegar à declividade média do relevo de cada bacia hidrográfica, relacionando suas áreas totais com as áreas de cada classe de declividade, conforme as tabelas 3, 4 e 5 que estão dispostas a seguir.

Tabela 3: Declividade em área de cada classe, porcentagem e média da bacia hidrográfica do Alto rio São João.

<i>Classes Graus</i>	<i>Área Km² por classe</i>	<i>Porcentagem da área de cada classe(%)</i>	<i>Declividade média (graus)</i>
0-10	209,802	0,3752	1,876
<10-20	181,069	0,3238	4,857
<20-30	125,611	0,2246	5,615
<30-40	36,187	0,0647	2,265
<40-50	5,301	0,0095	0,427
<50-60	0,846	0,0015	0,083
<60-70	0,324	0,0006	0,038
<70-80	0,090	0,0002	0,012
Total	559,23	1	15,039

Tabela 4: Declividade em área de cada classe, porcentagem e média da bacia hidrográfica do rio Bacaxá

<i>Classes Graus</i>	<i>Área Km² por classe</i>	<i>Porcentagem da área de cada classe(%)</i>	<i>Declividade média (graus)</i>
0-10	359,226	0,7897	3,948
<10-20	69,953	0,1538	2,307
<20-30	23,091	0,0508	1,269
<30-40	2,589	0,0057	0,199
<40-50	0,050	0,0001	0,005
Total	454,91	1	7,728

Tabela 5: Declividade em área de cada classe, porcentagem e média da bacia hidrográfica do rio Capivari

<i>Classes Graus</i>	<i>Área Km² por classe</i>	<i>Porcentagem da área de cada classe(%)</i>	<i>Declividade média (graus)</i>
0-10	89,530	0,6104	3,0518
<10-20	39,853	0,2717	4,0754
<20-30	15,951	0,1087	2,7187
<30-40	1,328	0,0091	0,3168
<40-50	0,021	0,0001	0,0064
Total	146,68	1	10,169

Dessa forma, para que esses parâmetros possam ser explicados, comparados e analisados, uma outra ferramenta importante foi gerada: o uso e cobertura do solo das bacias hidrográficas.

O produto final do uso e cobertura do solo foi gerado automaticamente pela ‘classificação orientada a objeto’ feito por outro *software* de geotecnologia baseado na resposta espectral das 6 bandas do Landsat, com exceção da banda termal. Aqui, só iremos relacionar os dados numéricos desse mapeamento conforme a tabela 6, onde as classes de uso e cobertura do solo encontradas estão relacionadas por porcentagem de área referente à área das bacias hidrográficas correspondentes.

Tabela 6: Uso e cobertura do solo em percentagem de área das bacias hidrográficas

<i>Classes</i>	<i>Área (%)</i>	<i>Área (%)</i>	<i>Área (%)</i>
	<i>Bacia do Alto São João</i>	<i>Bacia do Bacaxá</i>	<i>Bacia do Capivari</i>
Água	0,34	0,77	0,06
Agricultura	-	-	-
Áreas Úmidas	-	0,03	0,05
Cultivo	0,32	-	-
Extração de Areia	-	0,02	-
Floresta	62,10	21,39	29,8
Ocupação Urbana de Baixa Densidade	-	1,76	3,23
Ocupação Urbana de Média Densidade	0,02	-	-
Pastagem	24,5	66,71	53,30
Pastagem em Várzea	9,10	6,93	11
Reflorestamento	0,09	-	0,84
Solo Exposto	-	0,08	-
Vegetação Inicial Secundária	3,6	2,31	1,72
Total	100	100	100

Os produtos gerados de forma automática auxiliam na facilitação e na precisão da geração de dados a que se quer estudar. Dessa forma, não couberam nesse trabalho os estudos de análise morfométrica, mas sim a compreensão na obtenção dos resultados usando as geotecnologias disponíveis.

4. Conclusão

Trabalhar com o geoprocessamento trás inúmeros benefícios, principalmente, quando se descobre as maneiras facilitadoras dos Sistemas de Informação Geográfica, ou melhor, quando o caminho para elaborar um bom trabalho é delimitado. A partir de então, o trabalho se torna rápido e com bons produtos para se fazer uma análise aprofundada do que se quer estudar, pois ele permite a visualização em números ou espacializada dos dados.

Nesse sentido, o trabalho de subsidiar uma análise morfométrica foi bem sucedido, pois atendeu às expectativas ao conseguirmos gerar além dos dados métricos, dados morfológicos como o caso da declividade média do relevo, utilizando o sensoriamento remoto e também um outro produto que irá ajudar muito na análise comparativa das bacias aqui estudadas e na busca de motivos e soluções para os problemas encontrados nelas, o uso e cobertura do solo.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Raúl Sanchez Vicens pela grande contribuição na construção do nosso conhecimento e experiência acadêmica, de forma atenciosa e paciente ao organizar nossos pensamentos e tirar as dúvidas frequentes.

Também ao Professor Doutor Guilherme Fernandes coordenador do Laboratório de Geografia Física (LAGEF) da Universidade Federal fluminense pelo esforço incansável na busca da melhora da infra-estrutura do LAGEF e de projetos que façam nos ganhar experiência acadêmica. Além de, é claro, promover um agradável ambiente de trabalho dentro da universidade.

E também agradecemos aos nossos colegas de laboratório pela troca e produção de conhecimentos que fazemos todos os dias: Eduardo Bulhões, Felipe Mendes Cronemberger, e Thais Baptista Rocha.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro apoio e auxílio financeiro dado a pesquisa de iniciação científica.

Referências Bibliográficas

Alves, J. M. P; Castro, T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. Revista Brasileira de Geociências, V. 33, 2003.

CHRISTOFOLETTI, (1980) A. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blucher. 2ª edição. 188p.

COSTA, T. da; LANÇA, R. Capítulo I. Hidrologia de Superfície. Escola Superior de Tecnologia. Área de Engenharia Civil, Núcleo de Hidráulica e Ambiente. Universidade do Algarve. Faro, Portugal, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 de out. de 2008.

Lana, C. E.; Alves, J. M. de P.; Castro, P. de T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. Rem: Rev. Esc. Minas. [online]. Apr./June 2001, vol.54, no.2 [cited 16 June 2006], p.121-126. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200008&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0370-4467. Acesso em 10 out. 2008.

LINDNER, E.A et al. Sensoriamento Remoto Aplicado à Caracterização Morfométrica e Classificação do Uso do Solo na Bacia do Rio do Peixe/SC. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis, Brasil, 21-26, abril 2007, INPE, p. 3405-3412. Disponível em: <>. Acesso em: 10 de out. de 2008

NASA. Disponível em: zulu.ssc.nasa.gov/mrsid. Acesso em: 10 de out. 2008.

PEDRAZI, J.A. FACENS – Hidrologia Aplicada. Disponível em: <http://www.facens.br/site/alunos/download/hidrologia>. Acesso em: 10 de out. de 2008.

VICENS, R.S.; CRUZ, C. M. Análise hidro-ecológica e sócio ambiental da bacia hidrográfica do Rio São João. Projeto de Pesquisa FAPERJ/CNPq, Departamento de Geografia, UFF. 2006, 45p.