

Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte

André Luiz Nascentes Coelho
Doutorando no Departamento de Geografia pela UFF
andré.ufes@bol.com.br

Abstract. The present text that is part of a larger study and fruit of analyses accomplished in the basin hydrographic of the Doce River (83.400 km²). It was looked for to accomplish an environmental analysis starting from the field works and of the acquisition / treatment of radar images (SRTM) with the use of SIG software ArgGIS 9.1. For each one of the elaborated maps the crossing was accomplished with the topographical letters of IBGE and also the conference of several information in field with use of GPS, demonstrating an excellent precision and reliability of the generated products, therefore, suitable as an instrumental one of support to countless researches in basins hydrographical of medium and big load.

Palavras-chave: Environmental analysis, Basin of Doce River, GIS, ArgGis 9.1

1 - Introdução

A análise ambiental de um canal fluvial de grande expressão espacial, como é o caso da Bacia do rio Doce, com aproximadamente 83.400 km² (Ana, 2001), superior ao estado do Espírito Santo¹ mostra-se como um grande desafio a ser empreendido para qualquer pesquisador ou interessado pelo assunto, ainda mais considerando os elementos sociais.

Um dos métodos mais adequados para iniciar esta jornada é partir da análise morfométrica da bacia, pois é nela que são estabelecidos os seus limites, a área ocupada, os principais cursos d'água, sub-bacias, hierarquia fluvial, as formas de relevo predominantes, municípios e/ou estados inseridos, entre outros. Ou seja, é com base nas informações morfométricas que derivam os demais estudos, a exemplo da dinâmica natural da paisagem do ponto de vista geológico, geomorfológico, climático do sistema em estudo, características de solo e análises hidrodinâmicas (vazão, curva chave, sedimentos, perfil transversal), possuindo importância também para o tratamento/discussão das questões sócio-econômicas (decisões políticas, territoriais, aspectos culturais) e de gerenciamento da bacia.

A partir das colocações anteriores, o texto procura contribuir com o emprego de novos métodos/técnicas objetivando realizar uma análise ambiental em uma bacia de médio/grande porte, tendo como objeto a Bacia do Rio Doce, a partir da interpretação do Modelo Numérico do Terreno – MNT² com o uso do SIG (ArcGIS 9.1) e compará-lo com o mapeamento convencional (mapa topográfico do IBGE).

Como objetivos específicos o estudo busca identificar a eficiência dos comandos/funções do programa ArcGIS 9.1: na elaboração de mapas a partir de um conjunto de MNTs; Realização da delimitação precisa da bacia com sua respectiva área de abrangência; Delimitação da rede de canais; Hierarquização mostrando os troncos principais da bacia segundo Straher (1952); Mapa Hipsométrico (TIN); Mapa de declividade da bacia (com os percentuais de declividades de acordo com a classificação proposta pela Embrapa, 1999) e área ocupada.

¹ com 46.078 km² (IBGE, 2000).

² Conceito utilizado neste texto conhecido também como: MDE - Modelo Digital de Elevação e MDT – Modelo Digital do Terreno.

2 – Bases Teóricas

2.1 - Sistema de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) de acordo Santos (2006) constitui o tipo de estrutura mais importante em termos de viabilização do Geoprocessamento, este último sendo um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre uma base de dados integradas possibilita a execução de análises e cálculos que variam desde a álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, etc) até álgebra não cumulativa (operações lógicas), permitindo a elaboração de mapas politemáticos (contendo dados qualitativos e quantitativos), reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis, constituindo-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água.

O SIG (para o uso em PC) têm-se tornado, nas últimas décadas, uma ferramenta valiosa nas mais diversas áreas do saber. Tais sistemas constituem um ambiente tecnológico e organizacional que tem, cada vez mais, ganho adeptos no mundo todo não só para as análises geográficas, como as demais ciências, a exemplo, da Medicina, Geologia, Pedologia, Biologia (ecologia), etc, caracterizado como uma ferramenta Multidisciplinar.

2.2 – Bacias Hidrográficas

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem pode ser caracterizada como uma área da superfície terrestre definida topograficamente que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (Coelho Neto, 2001). Tal conceito abrange todos os espaços de armazenamento, de circulação e saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais.

A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos que variam desde a bacia do Rio Amazonas (grande porte), até bacias com poucos metros quadrados que drenam de um pequeno canal erosivo ou simplesmente para o eixo de um fundo de vale não-canalizado. Assim, bacias de diferentes tamanhos se articulam a partir dos divisores de drenagem principais e drenam em direção a um canal, tronco ou coletor principal, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (Cunha, 2002; Christofolletti, 1981).

O conceito “bacia hidrográfica” atualmente é uma das referências espaciais mais comuns nos estudos físico-territoriais ou de projetos, não só em função de suas características naturais, mas pelo fato dela estar presente em grande parte da legislação vigente no que diz respeito ao meio ambiente, fazendo parte, portanto, do planejamento territorial e ambiental no Brasil (Rodrigues e Adadi, 2005).

2.3 - Análises Morfométricas de bacias hidrográficas com o uso do SIG

Como já destacado as análises morfométricas são consideradas essenciais quando se faz um estudo de uma determinada bacia ou sub-bacia. As principais fontes de informação dessas análises continuam a ser as cartas topográficas, consideradas indispensáveis, que somadas a novas tecnologias como o uso do SIG, de dados disponibilizados de radares espaciais (MNT - Modelo Numérico do Terreno) e interpretação de imagens de satélite, possibilitam um levantamento mais rápido e detalhado de uma determinada bacia, sobretudo para as médias e de grande porte. Várias informações morfométricas podem ser derivadas dos MNTs a exemplo da delimitação da bacia e sub-bacias, Área da bacia (A), Perímetro da Bacia (P), Comprimentos totais dos cursos d'água (Lt), Ordem dos cursos d'água, Declividades da Bacia, Elevação Média da Bacia, além de possibilitar outros cálculos matemáticos.

3 - Materiais e Métodos Utilizados

Para se alcançar os objetivos propostos neste estudo, o mesmo foi dividido em duas principais etapas sendo:

- primeira foi realização de uma revisão bibliográfica (já abordada) que discorre a respeito do tema tratado (SIG e Recursos Hídricos).
- segunda foi o uso do programa ArcGIS 9.1 e o aplicativo ArcMap, considerado o módulo central e fundamental no ArgGIS, pois é nele que foram confeccionados/manipulados os mapas, realizadas a edição dos dados georeferenciados, exportação, entre outros comandos (**Figura 1**).

Nesta etapa foi realizado a aquisição das imagens SRTM disponibilizados pela Embrapa (disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>, acesso em: 22 de jul. 2006); mapas topográficos que engloba toda a bacia para comparar com as informações geradas pelo sistema, como por exemplo, o traçado da rede hidrográfica, cotas de elevação e nomear os respectivos rios no banco de dados, considerado, portanto, essencial para a conclusão dos mapas.

Fluxograma utilizado para confecção dos mapas

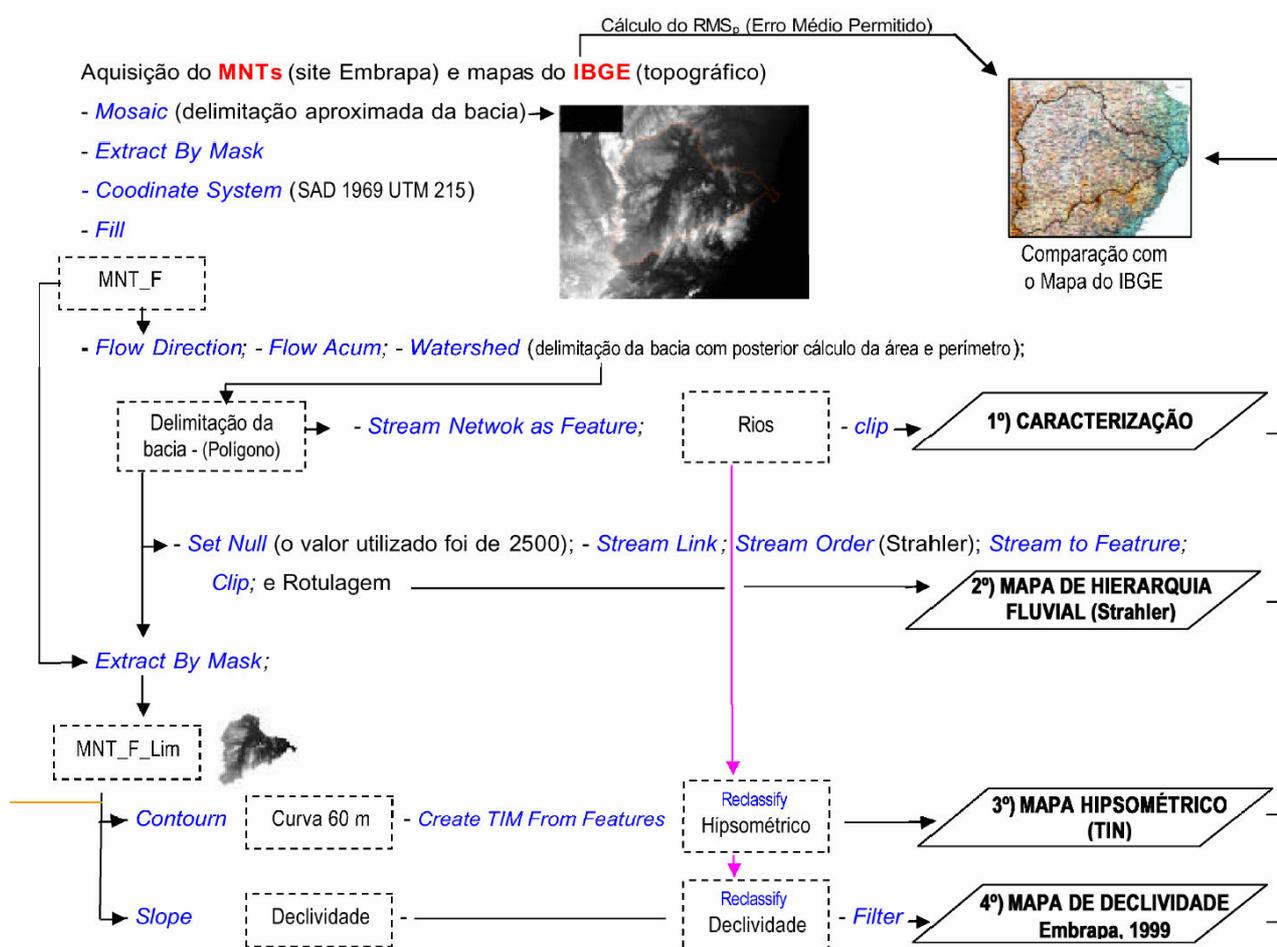


Figura 1 – Fluxograma utilizado para análise da bacia do rio Doce.

4 – Comentário de alguns produtos derivados de imagens SRTM: Bacia do Rio Doce

4.1 - Hidrografia da Bacia

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na Região Sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo nos paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste (**Figura 2**), dos quais 86% pertencem ao Estado de MG e o restante (14%) ao Estado do ES sendo, portanto, uma bacia de domínio federal³.

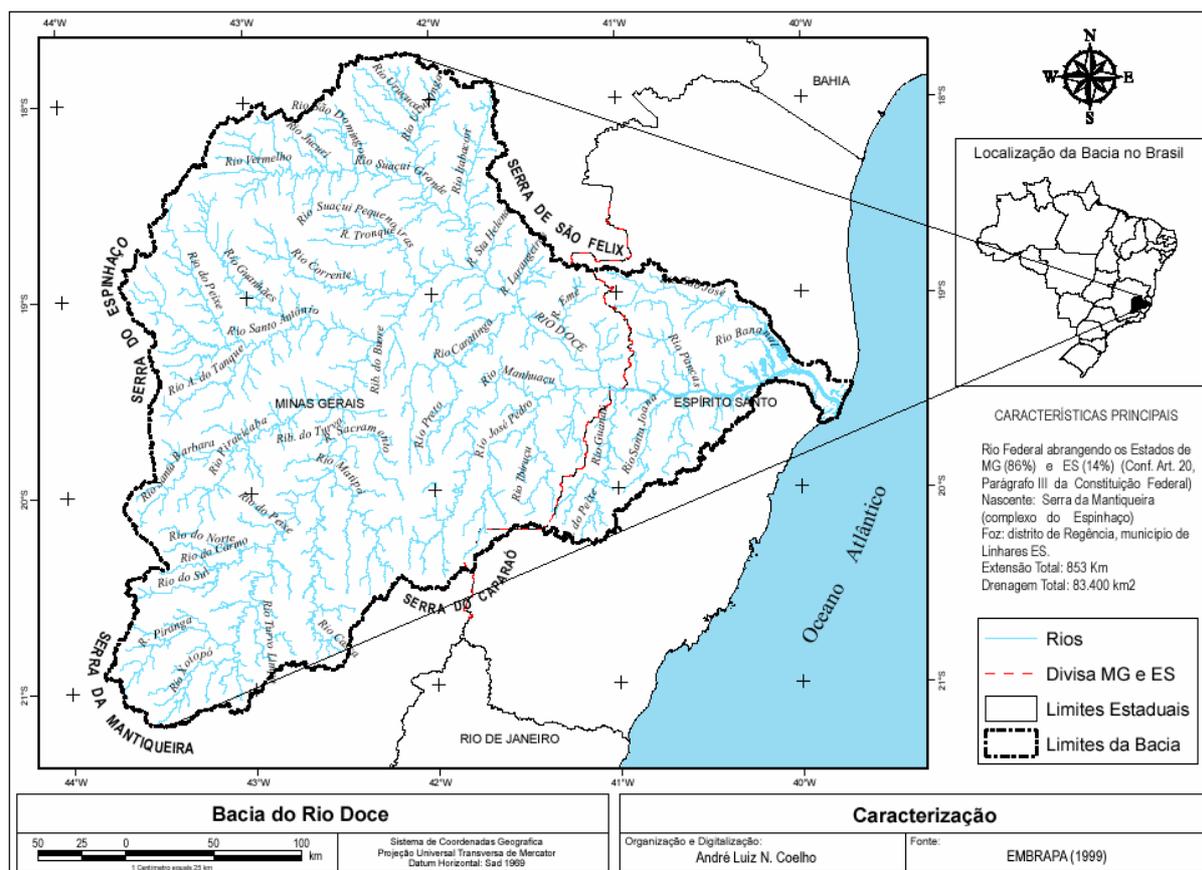


Figura 2 – Caracterização da Bacia do Rio Doce.

Suas nascentes situam-se nos limites oeste e sul da bacia nas serras do Espinhaço e da Mantiqueira em Minas Gerais com altitudes superiores de 1.100 metros, sendo o rio Doce formado pela confluência dos rios Xotopó e Piranga. Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande em Minas Gerais, Pancas e São José no Espírito Santo; pela margem direita, os rios Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu em Minas Gerais, e Guandu, no Espírito Santo.

4.2 - Hierarquia Fluvial

A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada a qual pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica. A

³ De acordo com o Artigo 20, parágrafo III da Constituição Federal. “ São bens da União: [...] III. os lagos, rios e quaisquer correntes de águas em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os territórios marginais e as praias fluviais; VIII. os potenciais de energia hidráulica”.

importância da utilização desta hierarquia é tornar mais objetiva a análise morfométrica das bacias, como também, auxiliar no gerenciamento físico-econômico da mesma, a exemplo da seleção sub-bacias e microbacias mais representativas do ponto de vista físico.

Um sistema muito utilizado não só nos estudos geomorfológicos foi introduzido por Strahler (1952), em que os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores e assim sucessivamente.

De acordo com a hierarquia fluvial proposta por Strahler (Op. Cit.), a calha principal do rio Doce pertence a 6ª ordem, sendo considerado como um rio de médio a grande porte (Figura 3).

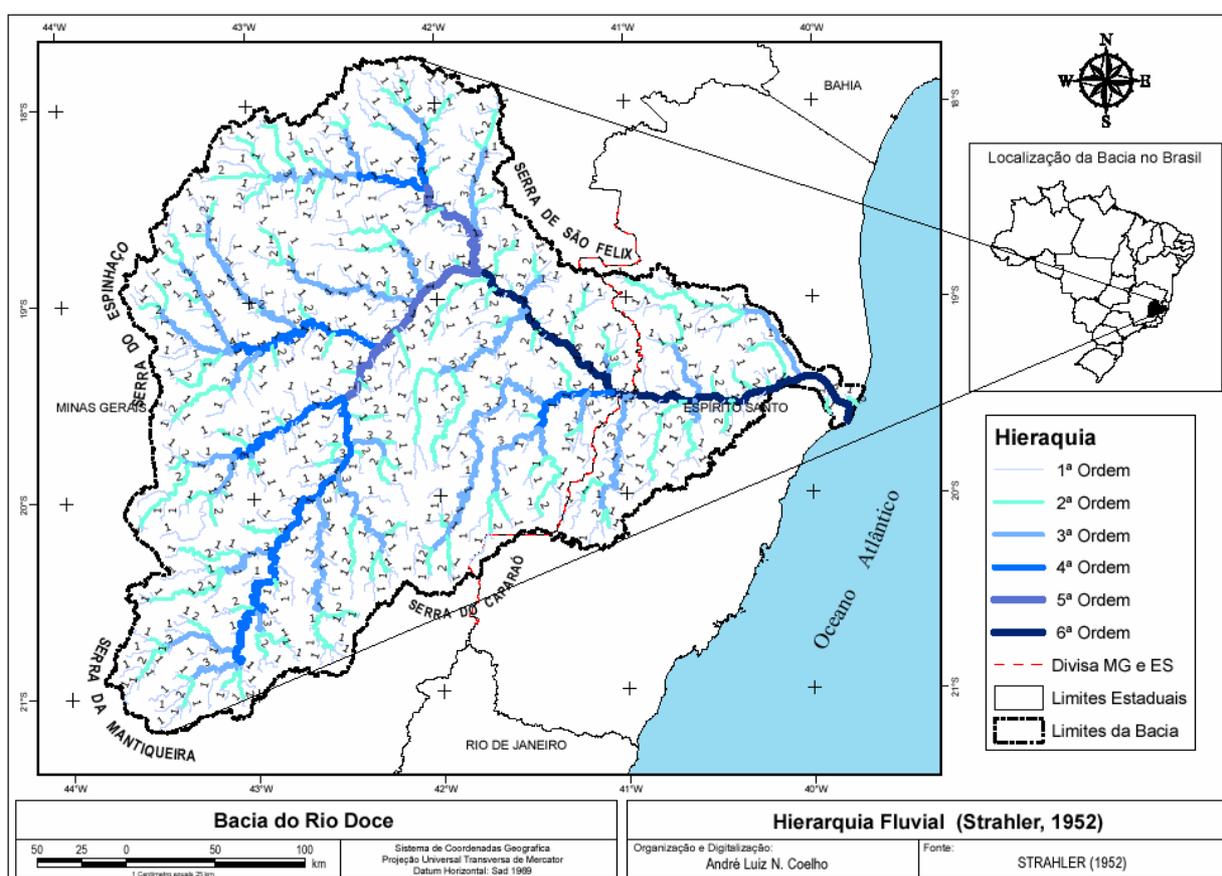


Figura 3 – Classificação hierárquica da bacia segundo Strahler (1952) calculada com o uso do SIG.

4.3 - Hipsometria

O mapa de hipsometria foi gerado utilizando-se a estrutura de grade triangular, mais conhecida como TIN “*Triangular Irregular Network*”, que é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco possibilitando representar uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z correspondente

ao valor de elevação ou altitude. Praticamente todos os SIGs modernos possuem funções para tratar o MNT e gerar a grade triangular com base na triangulação de Delaunay⁴.

O mapa hipsométrico permite uma melhor avaliação do comportamento do relevo, observar os limites e a ocorrência das principais serras encontradas no interior da bacia (Figura 4). As altitudes variam de 0 a 2.600 metros com o predomínio de elevações entre 100 e 200 metros e de 600 a 800 metros sendo as maiores situadas nas adjacências do pico da Bandeira, divisa de Minas Gerais e Espírito Santo, localizado na extremidade centro-sul da bacia do rio Doce, entre as coordenadas 20° 19' e 20° 37' S e 41° 43' e 41° 53' W.

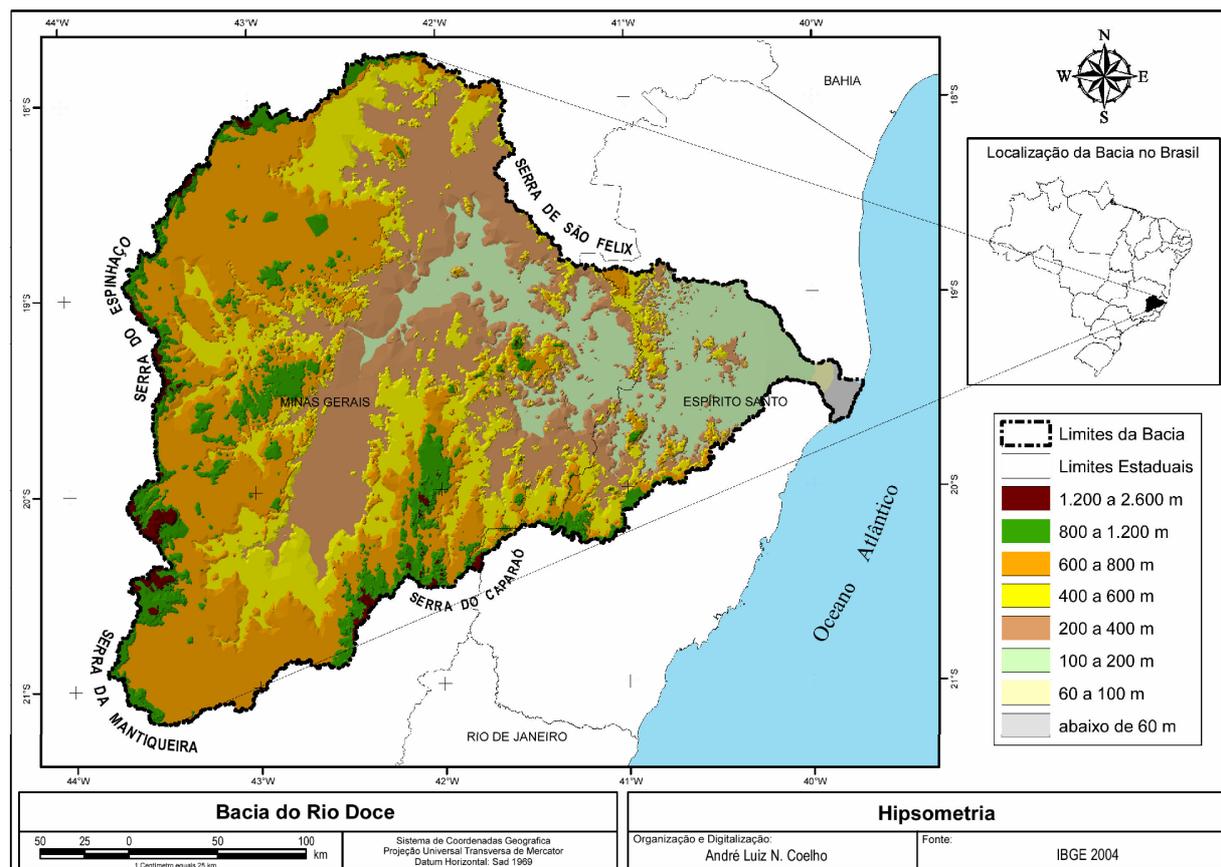


Figura 4 – Hipsometria da Bacia do Rio Doce.

4.4 - Declividade

A declividade pode ser conceituada como a inclinação do terreno em relação a um plano horizontal e esta pode ser expressa em percentual ou em graus. Ela é calculada pela variação da altitude entre dois pontos do terreno (curvas de nível) em relação à distância que os separa. Para a geração do mapa de relevo tomou-se como base o modelo numérico do terreno (MNT) como imagem de entrada, em seguida a mesma foi fatiada⁵ em classes de declividades

⁴ É um método de interpolação exata muito eficiente para expressar relevos acentuados e baseia-se em um algoritmo que cria triângulos através da ligação dos pontos. Cada triângulo define um plano e o valor do atributo de determinado ponto no interior do triângulo é obtido a partir de simples cálculos. A Rede de Triângulos Irregulares (TIN) é um tipo especial da triangulação de Delaunay.

⁵ Esse processo de fatiamento em percentuais de inclinação é obtido através da função do ArcGIS “reclassify” sendo uma das funções mais utilizadas em SIG, pois permite que diferentes usuários, utilizando-se de um mesmo banco de dados, produzam informações especializadas de acordo com os respectivos interesses.

discriminadas em seis intervalos distintos com base na proposta da Embrpa (1999) que varia entre: plano (0 a 2,9%); Suave Ondulado(3 a 7,9%); Ondulado (8 a 19,9%); Forte Ondulado (20 a 44,9%); Montanhoso (45 a 74,9%); e escarpado (> que 75%).

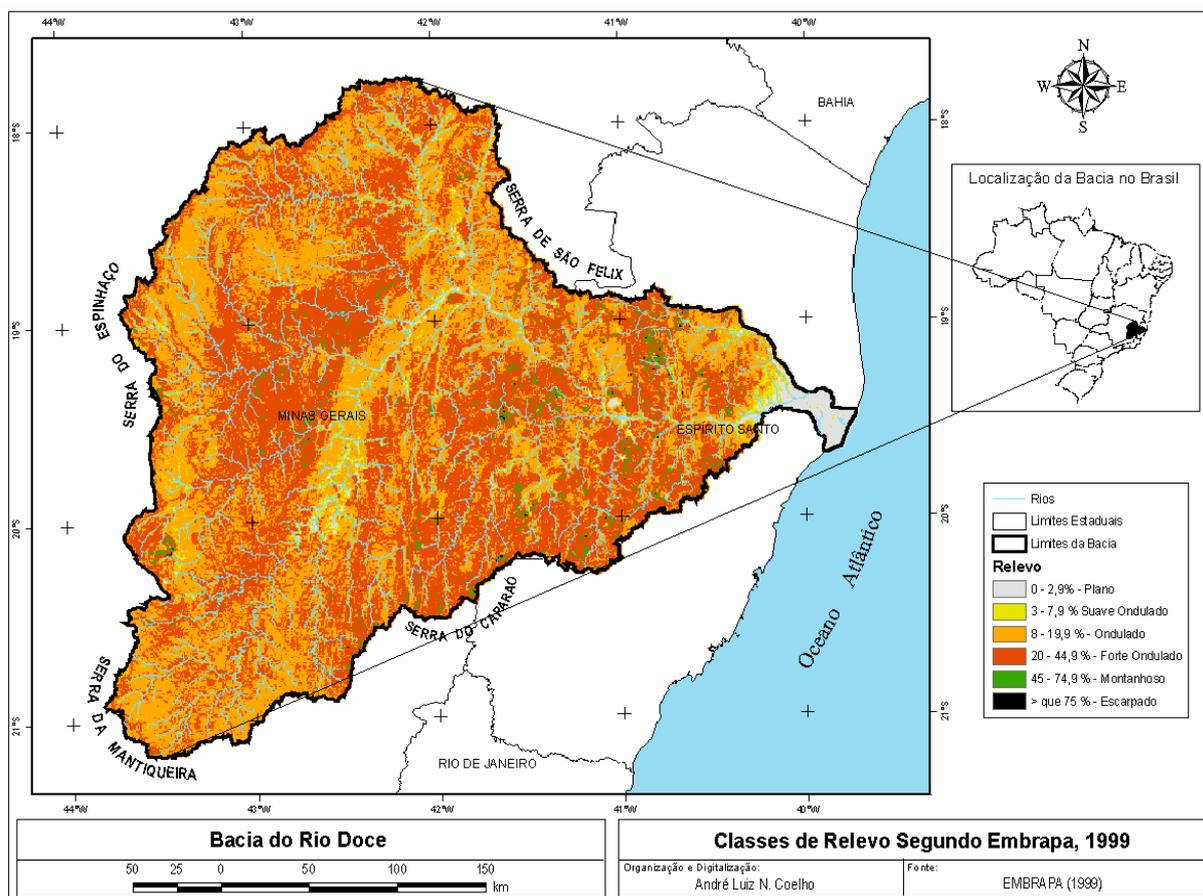


Figura 4 – Classes de relevo da Bacia do Rio Doce.

Tabela 1
Padrões de relevo da Bacia do Rio Doce segundo classificação Embrapa (1999)

Classes de Relevo	Percentual da área
0 - 2,9 % - Plano	3,3 %
3 - 7,9% - Suave Ondulado	6,1 %
8 - 19,9 % - Ondulado	42,7 %
20 - 44,9 % - Forte Ondulado	44,0 %
45 - 74,9 % - Montanhoso	3,6 %
> que 75 % - Escarpado	0,3 %
Total	100 %

Org.: André Luiz N. Coelho

Verificou-se que mais de 86 % do relevo da bacia é classificado entre Ondulado a Forte Ondulado⁶ (Figura 5 e Tabela 1) com apenas 3,3 % plano e 0,3 % escarpado, dados estes que

⁶ Caracterizado como “*Mares de Morros*” denominação criada pelo Geógrafo francês Pierre Deffontaines para colinas dissecadas que formam verdadeiros níveis podendo ser notado, por exemplo, nas adjacências da serra da Mantiqueira.

estão em conformidade com a realidade do campo pesquisada e nas descrições realizadas por Strauch (1955) e Souza (1995).

Outros cálculos morfométricos realizados com o uso do software foi da *área da bacia* (A) com 83.672 km² que constitui a área plana delimitada pelo divisor de águas, dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma determinada bacia hidrográfica. O *perímetro da bacia* (P) encontrado foi de 2.848,6 km que constitui o comprimento médio ao longo do divisor de águas. Já o *comprimento total dos cursos d'água* (Lt) foi de 24.069,5 km sendo a medida em planta desde a nascente até a seção de referência de cada tributário, incluindo o curso principal.

Também podem ser realizados outros cálculos como do comprimento total dos canais de cada ordem, densidade de drenagem, densidade hidrográfica da bacia como um todo ou ainda por sub-bacias.

5 – Considerações Finais: o recurso do SIG para análise da Bacia do Rio Doce

Hoje em dia as facilidades em se ter acesso a tecnologias como softwares robustos de SIG a exemplo do ArcGIS 9.1 juntamente com disponibilização gratuita de dados de sensores remotos (SRTM), imagens de satélites, shapefiles em sites como IBGE, ANA, entre outros, traz para o pesquisador uma série de facilidades durante o empreendimento de trabalhos, antes considerado extremamente exaustivo, a exemplo da delimitação das bacias, traçado dos rios, curvas de nível através da digitalização. Com o uso destas novas ferramentas ganha-se mais tempo para dedicar-se a outras etapas da pesquisa.

É importante ressaltar que a adoção destas tecnologias não eliminam os trabalhos de campo, pelo contrário, complementam as informações a serem pesquisadas no local, consideradas indispensáveis nos estudos socioambientais.

A análise da bacia aqui proposta não só atingiu os seus objetivos ao promover o maior entendimento dos elementos físicos, em especial ligados à hidrografia como também, desenvolveu um produto de importância substancial para as diversas categorias de planejamento, gestão do meio ambiente e nos estudos em geomorfologia fluvial. O software ArcGIS 9.1 utilizado possui outros recursos que possibilita a elaboração de outros mapas derivados dos MNTs como o modelo sombreado do terreno, curvas de nível, subbacias e 3D. Auxilia na elaboração de mapas geológicos e geomorfológicos além de perfis transversais, geração de gráficos a partir das informações dos bancos de dados.

Enfim, ficou comprovado que o uso dos Sistemas de Informações Geográficas possibilita sem dúvida a sistematização de informações proporcionando ainda uma forma de interação com outras ciências, sobretudo, aquelas preocupadas com o gerenciamento do ambiente físico. Ou seja, o SIG constitui-se em uma importante ferramenta para dar suporte às análises e estudos ambientais, bem como à gestão e tomadas de decisão sobre os recursos hídricos, podendo gerar um sem-número de classificações, cruzamentos de dados, sendo também uma ponte que possibilita o diálogo entre diversas áreas do saber.

Referências

Agência Nacional de Águas - ANA, **Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul - Trecho Leste** (cd n° 4), Série: Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, 2001. CDROM.

Aronoff, S. **Geographical information system: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1991.

Burrough, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1989.

Christofoletti, Antônio, **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1981.

Coelho Neto, Ana L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos. 4ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, pp. 93 - 148.

Cunha, Sandra B. **Geomorfologia Fluvial**. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. (orgs.) Geomorfologia exercícios técnicas e aplicações. 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002, pp.157 - 189.

Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999.

Horton, R.E., **Drainage Basin Characteristics**. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361, 1952.

Rodrigues, Cleide; Adadi, Samuel, **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: Venturi Luis A. B. Praticando a Geografia: técnicas de Campo e Laboratório em geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, pp. 147 -166.

Santos, Alexandre R. dos, **Apostila de Geoprocessamento** (impresso) 2006.

Souza, Carla J. de O. **Interpretação Morfotectônica da Bacia do Rio Doce. 1995**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Sthraler, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans. American Geophysical Union, 38: 913-920, 1957.

Strauch, N. **A Bacia do Rio Doce**. Rio de Janeiro: IBGE. 1955.

Referências de Internet

Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - Imagens SRTM disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>, acesso em: 22 de jul. 2006