

Estudo Temporal dos Segmentos Fluviais a Jusante das UHEs de Aimorés e Mascarenhas no Baixo Rio Doce – Brasil

André Luiz Nascentes Coelho, UFES – andré.ufes@bol.com.br

Abstract: The present study has as main objective to identify the modifications in the fluvial morphology of the Doce river in the section the downstream of dams Aimorés and Mascarenhas, contributing in the development of techniques and in the understanding of the effects hydrogeomorphological in chain of those processes. Alterations were verified having the prominence for: the control of the debits, cut of the supply of bottom load, adjacent engrave the dams, decrease of the supply of suspended load, removal in the bed ways, change of the pattern of the marginal erosion.

Key-Words: Dams, Fluvial Unbalance, Administration of basins, Water resources.

Resumo: O presente estudo tem como objetivo principal identificar as modificações na morfologia fluvial do rio Doce no setor a jusante das UHEs de Aimorés e Mascarenhas, com auxílio em imagens de satélites, contribuindo no desenvolvimento de técnicas e melhor entendimento dos efeitos hidrogeomorfológicos em cadeia desses processos. Foram constatadas alterações com o destaque para: o controle da vazão, corte do suprimento de carga de fundo, entalhamento adjacente às barragens, diminuição do suprimento de carga suspensa, remoção das formas de leito, mudança do padrão da erosão marginal.

Palavras-chave: Reservatórios / Barragens, Desequilíbrio Fluvial, Gestão de bacias Hidrográficas, Recursos Hídricos.

1 - Introdução

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. Possui uma área de drenagem com cerca de 83.465 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante (14%) ao Estado do Espírito Santo sendo, portanto, uma bacia de domínio federal¹ (Figura 1). Suas nascentes situam-se nos limites oeste e sudoeste nas serras do Espinhaço e da Mantiqueira, em Minas Gerais, em altitudes superiores de 1.100 metros (COELHO, 2007). Do ponto de vista geomorfológico o rio Doce é caracterizado como um extenso rio (853 km) que penetra profundamente no planalto mineiro. Seu traçado, a partir de sua formação, copia mais ou

¹ 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".

menos a forma do litoral e, em Governador Valadares, o canal principal toma a direção leste, a caminho do oceano (COELHO, 2007).

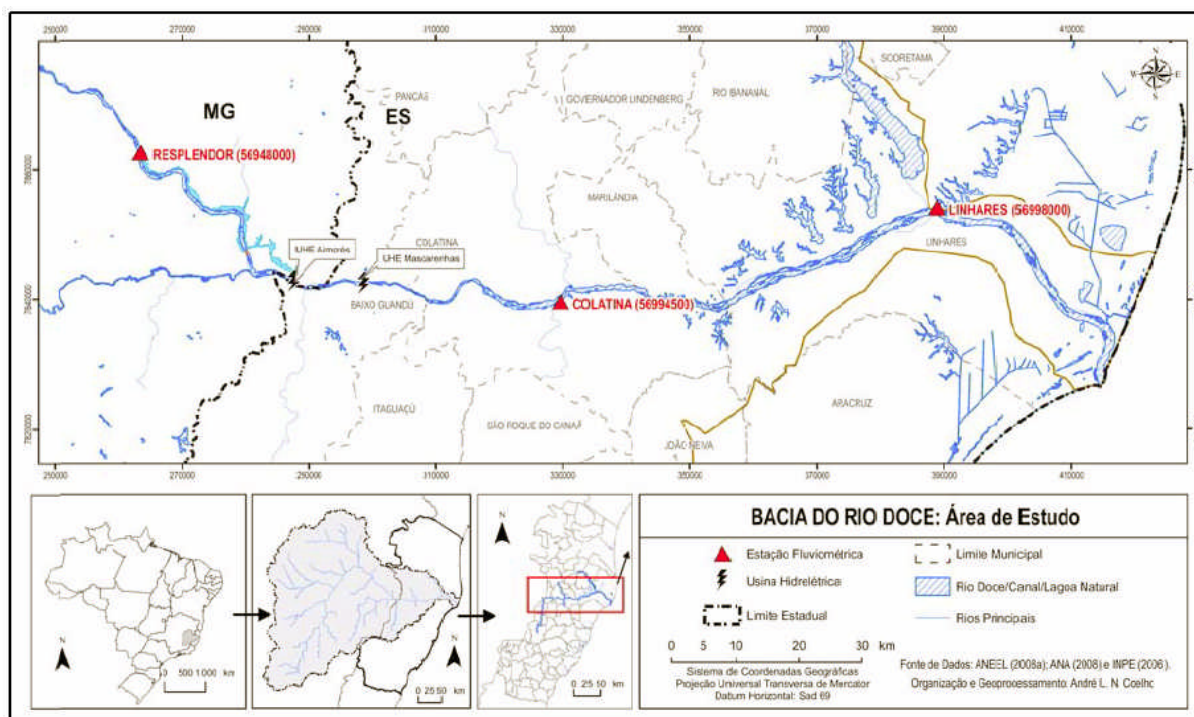


Figura 1 – Localização das Usinas Hidrelétricas e Estações Fluviométricas junto ao canal principal do Rio Doce. Organização e Geoprocessamento: André L. N. Coelho - 2007.

O regime hidrológico é perene e bem definido e, de modo geral, acompanha a pluviosidade que opera na bacia, marcado por dois períodos: um de cheia com os níveis máximos ocorrendo nos meses de dezembro, janeiro e março apresentando médias mensais superiores a 1.250 m³/s; e um de vazante, a partir de abril, atingindo mínimas extremas nos meses de agosto a setembro com valor médio mensal inferior a 370 m³/s, na estação Fluviométrica de Colatina (ANA, 2008). Relacionado à produção de sedimentos, a bacia é considerada uma das mais prolíficas² decorrente de um conjunto de causas, entre elas: as elevadas concentrações de precipitações associadas aos solos e as elevadas declividades, potencializada, pelo uso e manejo do solo inadequado, resultando em uma maior taxa de sedimentação ao longo do perfil longitudinal do rio (COELHO, 2007; CUNHA, 2001; ALMEIDA e CARVALHO, 1993).

² A Comissão Mundial de Represas (CMR, 2000), estima que a capacidade total de água doce em represas é perdida a uma taxa de 0,5 a 1,0% ao ano devido ao assoreamento em todo o mundo, podendo em um prazo de 25 a 50 anos perder uma quarta parte da capacidade de armazenamento de água doce em represas.

Na calha principal do médio-baixo curso do rio Doce, área de estudo (Figura 1), existem duas Usinas Hidrelétricas (UHEs) ambas operando a fio de água, sendo a primeira, Aimorés, situada na divisa de MG/ES, iniciando sua operação em 2005, possuindo um reservatório alongado com uma área aproximada de 33,88 km². A segunda, UHE de Mascarenhas está localizada, pouco mais de 22 km, a jusante da UHE de Aimorés, iniciando sua operação em 1974, com um reservatório menor com cerca de 5,31 km².

Diante deste cenário o presente trabalho, tem como **objetivo** principal, identificar as possíveis modificações na morfologia fluvial do canal principal a jusante das UHEs, a partir das campanhas de campo e confrontação de imagens de satélites no intervalo de 28 anos, buscando assim, contribuir no aprimoramento de técnicas de investigação e no maior entendimento dos processos hidrogeomorfológicos de rios barrados.

De forma a alcançar os objetivos propostos neste estudo, inicialmente, foram selecionadas referências que discorrem a respeito deste assunto; caracterização geoambiental de toda bacia com base em cartas topográficas, geológicas, geomorfológicas; estudos de séries históricas de vazão; campanhas de campo, registro fotográfico e aplicações de geoprocessamento/sensoriamento remoto utilizado o software ArcGIS 9.2.

2 - Dinâmica do Sistema Fluvial em Rios Naturais: algumas considerações

Em uma bacia hidrográfica, as características de tipologia de leito, tipologia dos canais, tipologia de padrões de drenagens, analisadas em conjunto, promovem uma dinâmica peculiar das águas correntes que, associada a uma geometria e hidráulica, culmina em processos específicos fluviais de erosão, transporte e deposição (CUNHA 2001; SCHUMM, 1988). Na ótica de um *sistema*, a capacidade de erosão das margens de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da vazão e da natureza das correntes fluviais, refletindo em uma condição estável (equilibrada) do canal fluvial elaborando uma forma de relevo fluvial em função destas variáveis (BIGARELLA, 2003; CUNHA, 2001; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; CHRISTOFOLETTI, 1981).

Qualquer modificação rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1981 e SILVA et al. 2003). Isto é, os processos de erosão, transporte e deposição de um sistema fluvial variam no decorrer do tempo e, especialmente, são

interdependentes, resultando não apenas das mudanças do fluxo, como também da carga existente. Portanto, quando se faz uma análise geral de uma bacia hidrográfica, não se pode considerar os processos (erosão transporte e deposição) separadamente, além de outros elementos que interferem na dinâmica e funcionamento desse sistema, a exemplo, das obras de engenharia em calha de rios.

2.1 – Principais Efeitos Hidrogeomorfológicos das Barragens

A preocupação com os efeitos físicos decorrentes da construção das barragens a jusante de canais fluviais é praticamente recente. Entretanto, o grande número de construções de reservatórios nas últimas décadas despertou a atenção de pesquisadores, que contribuíram substancialmente com novos estudos dos efeitos dessas obras (PETTS e GURNELL, 2005; SOUZA FILHO, et. al 2004; WCD, 2000). Coelho (2007) e Fontes (2002) apontam elementos importantes a serem considerados quanto a natureza e distribuição dos impactos gerados pelas barragens, sumarizados na Tabela 1.

TABELA 1

Elementos a Serem Considerados em um Rio Impactado por Barragens

ELEMENTO A SER CONSIDERADO	CARACTERÍSTICA DO IMPACTO
Usos / Demandas por água	Na bacia (a montante, reservatório e jusante da barragem/reservatório). Ex: Municípios e Indústrias.
Escala / amplitude espacial dos impactos	Ocorrência tanto em âmbito local, regional e de bacia
Alcance longitudinal dos impactos do rio e seus afluentes	Dependendo da abrangência da área de influência de uma obra de engenharia fluvial o impacto pode se estender desde as cabeceiras, passando pela planície fluvial até a desembocadura do rio e zona costeira adjacente.
Natureza e seqüência dos impactos	São diferentes nos segmentos a montante, na periferia do reservatório e a jusante.
Forma de operação das barragens	Depende da(s) finalidade(s) para qual foi construída
Escala temporal	Imediato, médio e longo prazo
Encadeamento de impactos	Há uma seqüência de impactos em cadeia
Efeitos sobre os meios antrópicos e bióticos	Impactos diretos e indiretos atingem os meios bióticos e antrópicos (históricos e socioeconômicos)

Fonte: Coelho (2007) e Fontes (2002).
Org.: André Luiz Nascentes Coelho.

Também a magnitude do impacto da barragem depende da análise de outras características e aspectos, sendo pontuados os mais comuns, a partir dos estudos de Coelho (2007); Souza Filho et al 2004; Miranda (2001); Brandt (2000), Cunha (1995) e Müller (1995): Material parental (geologia da bacia e reservatório); Características de relevo da bacia, inclusive, o fluvial; Produção de sedimentos (tipo); Clima predominante ao longo da bacia, considerando também a evaporação do espelho d'água; Número de represas construídas ao longo dos rios; Finalidade(s); Desvio/transposição das águas do leito/calha de rio para o sistema de adução; Tipologia do(s) reservatório(s) como altura e forma; Características/formas do(s) vertedouro(s); Temperatura, oxigenação e tempo de residência da água no(s) reservatório(s); Política de liberação de quantidade de água do(s) reservatório(s); Profundidade da qual a água é liberada da(s) barragem(s)/vertedouro(s); Passagem de sedimentos de fundo e superficial pela(s) barragem(s).

3 – Vazão do rio Doce a jusante das UHEs: Período 07/1977 a 07/2005

A análise das vazões³ do rio Doce foi realizada com base nos dados disponibilizados pela ANA (2008), apresentando na Figura 2, o Gráfico de Vazões Médias Mensais de Longa Duração, indicando queda de vazão mensal, na Estação Fluviométrica de Colatina (ES), após a operação da UHE de Mascarenhas, período 1977 a 2005, passando a registrar, com mais frequência, vazões mensais inferiores à média ($\leq 920 \text{ m}^3/\text{s}$) de 6 meses para 8 meses. Essa maior frequência de vazões inferiores à média tem uma relação direta com a capacidade de transporte de sedimentos de fundo ao longo do perfil longitudinal, resultando em mudanças tanto no regime das águas quanto na morfologia fluvial (COELHO, 2007 e CUNHA, 1995). Outros fatores que potencializam os efeitos hidrogeomorfológicos, a jusante, são perdas significativas de água por evaporação⁴ do canal principal e reservatórios das UHEs de Aimorés e Mascarenhas no trecho dos municípios de Resplendor (MG) a Colatina (ES).

³ A vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima, que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham, de certa forma, em operação os usos outorgados. Na bacia do rio Doce, a ANA outorga até 70% da Q_{95} (vazão associada às permanências de 95% como valores de referência para o processo de outorga, sendo disponibilizado para a outorga apenas um percentual destas vazões mínimas de referência). O Espírito Santo normalizou os critérios de outorga, em 2005, e planeja outorgar, via Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), até 50% da $Q_{7,10}$ (vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos).

⁴ Segundo Carrera-Fernandez (2001), as perdas totais por evaporação nos reservatórios de Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Paulo Afonso e Xingo, importantes hidrelétricas instaladas na bacia do São Francisco, correspondem a mais de $290 \text{ m}^3/\text{s}$ ou 9,5 bilhões de metros cúbicos de água por ano.

Nesse setor, a jusante das UHEs, a contribuição de vazão média mensal de longa duração de sub-bacias, com exceção do rio Manhuaçu (+/- 95 m³/s), é insignificante de rios como: Guandu (26 m³/s), Pancas (14,8 m³/s), Santa Maria do Rio Doce (11,9 m³/s) e São José (29,6 m³/s), comprometendo as demandas de água no estado do Espírito Santo.

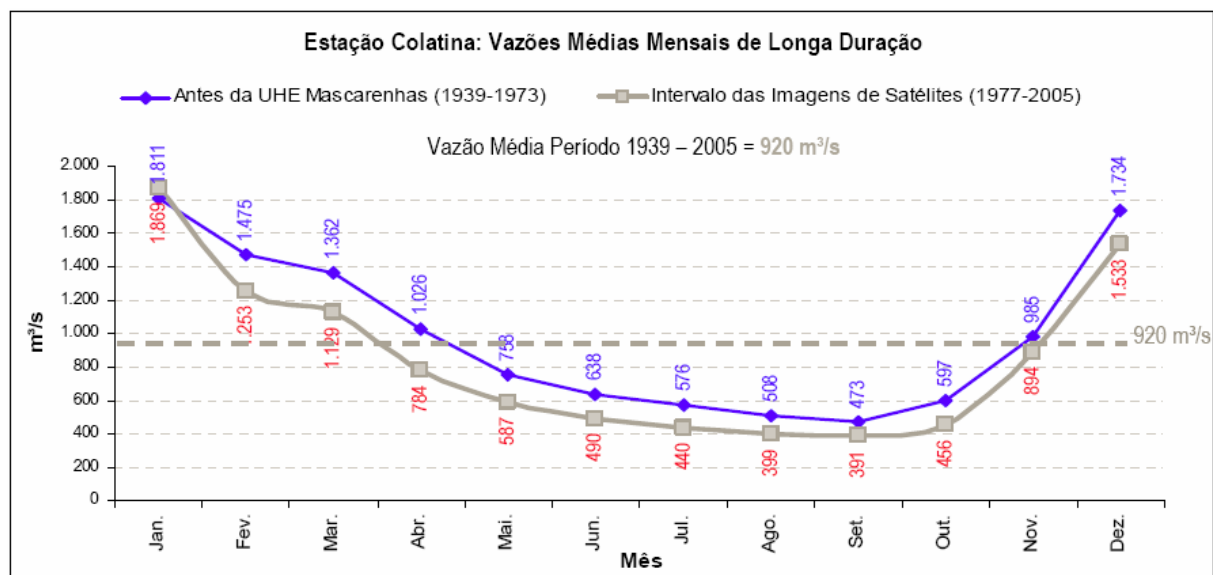


Figura 2 – Vazões Médias Mensais de Longa Duração: Estação Fluviométrica Colatina por períodos, confirmando a queda após operação da UHE de Mascarenhas (1977 – 2005), intervalo das imagens de satélite confrontadas.

Fonte: ANA (2008).

Org.: André L. N. Coelho.

4 – Diagnóstico Temporal de Segmentos Fluviais do rio Doce a Jusante das UHEs

Uma das técnicas eficientes que possibilita diagnosticar e espacializar dos efeitos morfológicos, ao longo dos anos, no canal principal é a aquisição de imagens orbitais de um mesmo setor do rio, em períodos distintos, possibilitando, identificar pontos ou setores em que foram mais afetados. Para fins de identificação a área de estudo foi dividida em 4 grandes segmentos (Figura 3). Para cada um destes segmentos foi apresentado um mapa topográfico do IBGE do ano 1975 que destaca os principais cursos d'água, localidades, bem como, o traçado do canal principal do segmento, seguido de duas imagens de satélite (INPE, 2006), sendo uma de 07/1977 (sensor MSS – LANDSAT-2) e a outra de 07/2005 (sensor CCD – CBRES-2) ajustadas a mesma escala espacial⁵.

⁵ As imagens 07/1977 do Satélite LANDSAT- 2 foram compostas nas bandas 4, 5 e 6, enquanto as imagens de satélite do CBRES-2 foram compostas nas bandas 2, 3 e 4.

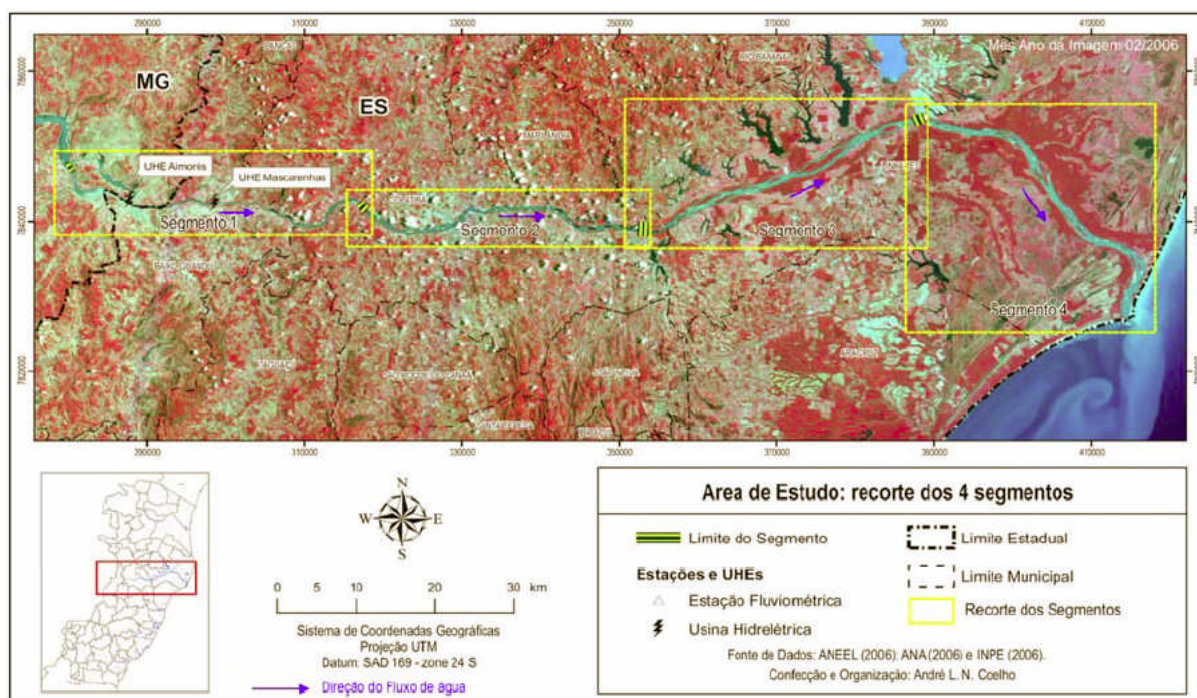


Figura 3 – Área de Estudo e Recorte dos 4 segmentos.
Organização e Geoprocessamento: André L. N. Coelho - 2007.

O Segmento 1, entre a Barragem de Aimorés à Localidade de Estrela, possui uma extensão atual de 49,9 km e uma largura média de 389 metros, sendo, dos quatro, o que apresenta as maiores rupturas de declives e rugosidades de relevo, a exemplo da estrutura circular, localizada na margem esquerda do canal principal do rio Doce, caracterizada pela ocorrência de cristas simétricas, ressaltos e pontões. É o segmento em que o rio corre mais encaixado, sobretudo, no trecho a partir da sede municipal de Baixo Guandu (ES) até a localidade de Estrela, limite final desse segmento. Em função desta peculiaridade de relevo e do potencial hidráulico existente, é o trecho em que estão situadas as UHEs de Aimorés e Mascarenhas. Entre as características morfométricas e morfológicas do segmento, verificou-se o aumento da largura média do canal em função da formação do lago/reservatório e, também, a ampliação do índice de sinuosidade, que passou de 1,15 para 1,21, em função do desvio de quase a totalidade das águas do canal principal em direção ao sistema de adução da UHE de Aimorés, resultando no crescimento do canal em, aproximadamente, 2,2 km, criando um trecho de vazão extremamente reduzida de aproximadamente 11 km, no leito natural do rio, com 16,3 m³/s das águas do canal principal. Rompimento do equilíbrio longitudinal do rio afetando a quantidade de transporte e deposição de sedimentos a jusante das UHEs. Relativo entalhamento do rio após o canal de fuga das respectivas UHEs, em função da concentração de água após a casa de força (Figura 4).

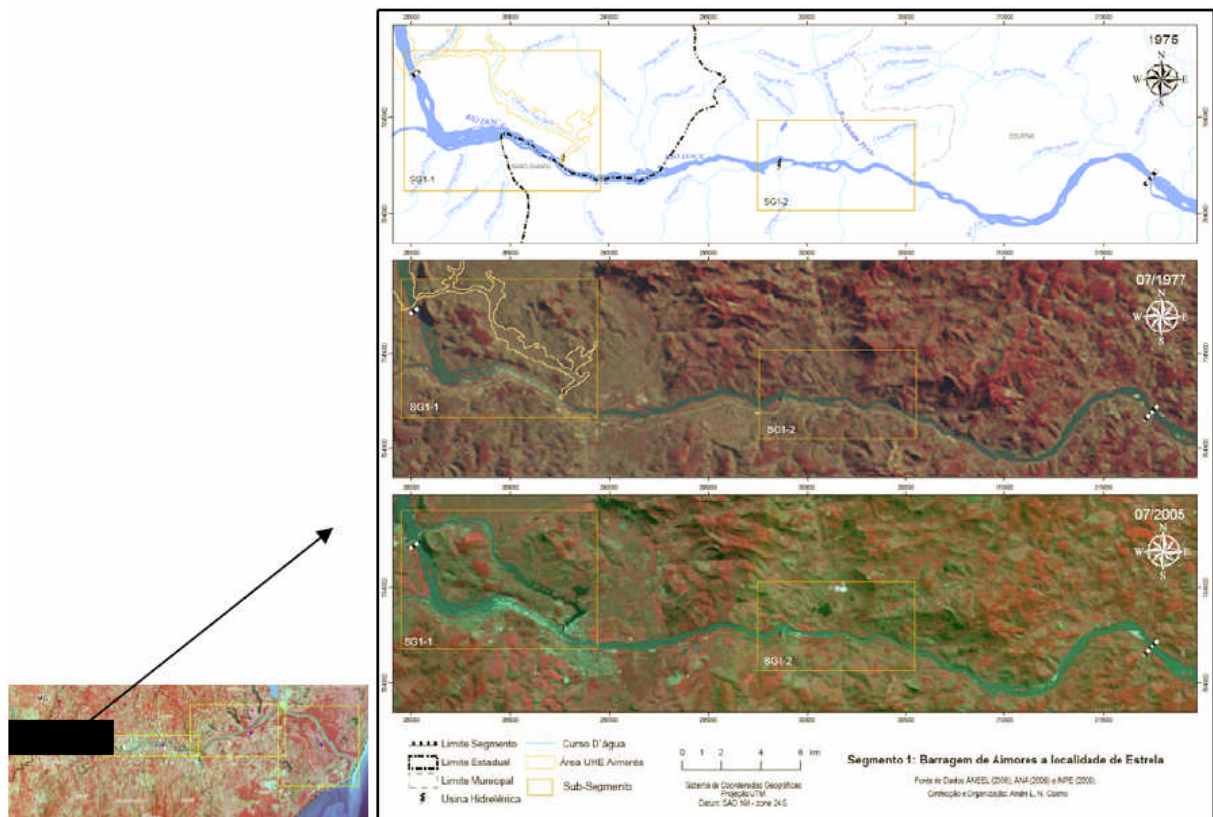


Figura 4 – Destaque para o Segmento 1, local em que estão instaladas as UHEs de Aimorés e Mascarenhas.
 Organização e Geoprocessamento: André L. N. Coelho - 2007.

O **Segmento 2** possui uma extensão de 38 km, tendo, no seu limite inicial, a localidade de Estrela, situada 12 km a montante da sede municipal de Colatina (ES), e, no limite a jusante, a localidade de Cobra Verde. Morfologicamente, é um trecho em que o leito do rio encontra-se um pouco mais largo com uma média de 750 metros e o predomínio de padrões entrelaçado a anastomosado, conseqüentemente, com um maior número de ilhas e barras arenosas, se comparado ao segmento anterior. Justificado, em parte, pelas características do relevo do entorno com menor rugosidade, apresentando formas mais suavizadas e geometria das sub-bacias com o padrão, predominantemente, dendrítico.

A comparação entre os segmentos do ano de 1977 e 2005, no limite inicial, revela o desaparecimento de algumas ilhas, erosões marginais, e, da metade para o final, uma relativa ampliação destas ilhas (em formatos simétricos) em função da migração de processos fluviais. No entanto, foram às barras arenosas que mais se destacaram, com notável ampliação em resposta ao ajustamento do canal às novas condições de regime fluvial.

O Segmento 3 está situado entre a Localidade Humaitá a Ponte de Linhares possui uma extensão de 38,2 km e uma largura média de 1.300 metros, o Segmento 3 é o que apresenta um maior número de ilhas, com o relevo do entorno, caracterizado por uma baixa rugosidade e ocorrência de numerosas lagoas naturais, situadas, sobretudo, na margem esquerda do canal principal, a exemplo da Lagoa Juparanã e Lagoa Grande, reflexo das variações eustáticas, durante o decorrer do período Quaternário. O segmento fluvial é praticamente plano estando bastante susceptível a mudanças extremamente aceleradas nas geformas fluviais como: anexação de ilhas, migração de ilhas, anexação de ilhas ao continente, erosões marginais e baixa incidência de bancos arenosos. Esses processos estão relacionados não só a mudança na eficiência de fluxo de águas e sedimentos, como também, à variação da vazão média (queda) constatada nas últimas décadas (Figura 2).

Segmento 4 está situado entre a ponte de Linhares (BR-101) e a desembocadura do rio Doce com o Mar na localidade de Regência, possuindo uma extensão atual de 44,7 km e uma largura média de 1.283 metros e índice de sinuosidade igual a 1,17. Neste segmento houve um crescimento considerável do número de bancos arenosos de grandes proporções, ilhas alongadas e simétricas. Próximo à desembocadura, na margem esquerda, predominam erosões extremamente aceleradas.

5 – Considerações referentes à hidrosedimentologia do médio-baixo rio Doce

Foi constatado no baixo rio Doce uma dinâmica geomorfológica operante de um rio, tipicamente, em busca de um novo equilíbrio fluvial em, praticamente, todos os segmentos analisados, merecendo destaque alguns processos/fatos observados como o *Desequilíbrio Fluvial*, em função de práticas, como desmatamentos e, principalmente, devido à interferência direta no canal fluvial, com a construção das barragens de UHEs em série (mesmo que operando a fio de água), rompendo com a dinâmica dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, ao longo do perfil longitudinal, responsáveis pela elaboração das geformas de relevo fluvial. Junto à desembocadura (localidade de Regência), erosões, tanto do canal fluvial como da linha de costa (pontal do Ipiranga), podendo com o passar dos anos, modificar a morfologia da desembocadura do rio e desencadear processos erosivos mais intensos das praias adjacentes em função da nova dinâmica de transporte de sedimentos.

É importante salientar que o Baixo Rio Doce é parte de um sistema maior e, extremamente, complexo, que envolve não apenas os agentes e processos de ordem natural, a exemplo da planície, rio e mar. Compreende, também, outras escalas espaciais, outros agentes e processos sócio-econômicos (decisões) que, por sua vez, influenciam no todo. Exemplos lamentáveis de ambientes com as mesmas características geomorfológicas, e já com níveis de degradação bastante avançados, são as Planícies Costeiras do Rio São Francisco e Rio Paraíba do Sul. O baixo rio Doce, comparado com os casos anteriores, “*resiste*”, preservando, ainda, algumas características morfológicas que lhe são peculiares, bem como, sensíveis mostruários de vegetação e fauna, além, das tradições e costumes das comunidades locais.

6 – Referências

- ALMEIDA, Sérgio B.; CARVALHO, Newton de O. Efeitos do assoreamento de reservatórios na geração de energia elétrica: análise da UHE de Mascarenhas, ES. X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL. Anais... Gramado, RS, 1993. p. 1-8.
- ANA - Agência Nacional das Águas: hidroweb. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 7 abr. 2006 e em 04 de mai. 2008c.
- BIGARELLA, João J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Editora UFSC v.3, 2003. p. 877-1436.
- BRANDT, S.A., Classification of Geomorphological effects downstream of dams CATENA, v. 40, Issue 4, 2000. p. 375-401.
- CARRERA-FERNANDEZ, José. A Nova Política Nacional de Recursos Hídricos e a Regulação dos Setores de Águas e Energia Elétrica. . Salvador: Carta do IMIC-Especial, v. 2, n. 6, 2001.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio, Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p..
- COELHO, André L. N. Alterações hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES 2007. 227 f. Tese de Doutorado (Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia), Niterói, 2007.
- CUNHA, Sandra B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 211-252.
- CUNHA, Sandra B. Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil). Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 1995. 378 p.
- FONTES, Luiz C. S. Erosão Marginal no Baixo Curso do Rio São Francisco. Um Estudo de Caso de Impactos Geomorfológicos à Jusante de Grandes Barragens, 2002. 249 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Pós-Graduação e Estudos do Semi-Árido Programa Regional de Pós-Graduação, Universidade Federal de Sergipe) UFS, Aracaju - Sergipe 2002.

- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atus-INPE - imagens de satélite órbita/ponto: 232/73 e 231/74 (LANDSAT-2) e órbita/ponto: 149/122 e 148/122 (CBERS-2) Disponível em: <<http://www.cbears.inpe.br>>. Acesso em: 26 de Set. 2006. (ver características do pedido Anexo 1).
- MIRANDA, L. E.. A review of guidance and criteria for managing reservoirs and associated riverine environments to benefit fish and fisheries. In: G. Marmulla, editor. Dams, fish and fisheries: opportunities, challenges and conflict resolution. Rome, Italy: FAO Fisheries Technical Paper, 2001. p. 93-141.
- MÜLLER, Arnaldo C. Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: Makron Books, 1995. 412 p.
- PETTS, Geoffrey E.; GURNELL, Angela M. Dams and geomorphology: research progress and future directions *GEOMORPHOLOGY*, v 71, 2005. p. 27-47.
- SCHUMM, Stanley. Variability of the fluvial system in space and time: in ROSSWALL, Thomas; WOODMANSEE, R.G. and RISSER, P.G. (eds). Scales and global change: Wiley, New York, 1988. p. 225-249.
- SOUZA FILHO, E. E.; ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.; STEVAUX, J. C. Effects of the Porto Primavera dam on physical environment of the downstream floodplain. Edited by THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, S. S. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 2004.
- SUGUIO K.; BIGARELLA, J. J., Ambientes fluviais. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1990. 183 p.
- WCD - World Commission on Dams. Dams and development: A framework for decision-making, The World Commission on Dams., 2000.