

GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DE RIOS IMPACTADOS POR BARRAGENS

André Luiz Nascentes Coelho

Professor Adjunto Substituto do Depto. de Geografia - UFES
andré.ufes@bol.com.br

RESUMO

O atual contexto hidrelétrico do país é representado por mais de 76 % da energia elétrica proveniente das UHEs e de PCHs (ANEEL, 2006). Diante deste cenário, o presente artigo tem como objetivo principal apresentar e discutir os principais efeitos geomorfológicos fluviais decorrentes da construção e operação de reservatórios/barragens a partir de outros estudos comprovados, destacando os mecanismos e efeitos em cadeia deste processo, sobretudo, à jusante de barragens, buscando-se assim, fomentar o desenvolvimento de novas pesquisas e técnicas que reduzam tais efeitos.

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

FLUVIAL GEOMORPHOLOGY OF RIVERS IMPACTED FROM DAMS

ABSTRACT

The hydroelectric context of the Brazil is represented by more than 76% of the originating from power electric UHEs and of PCHs (ANEEL, 2006). The present study has as main objective to present and to discuss the geomorphologic fluvial effects of the construction and operation of dams starting from other studies, emphasized the adverse effects downstream of dams and the effects in chain of this process. Foment the development of new researches and techniques that reduce such effects.

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

INTRODUÇÃO

A importância de se realizarem estudos dos possíveis efeitos da construção de barragens pode ser justificada quando se faz uma avaliação no número de reservatórios espalhados no mundo. De acordo com a International Commission on Large Dams (ICOLD, 1998), o número de barragens, com mais de 15 metros, em torno do mundo, cresceu substancialmente, sobretudo, nos países de clima tropical com elevadas taxas de precipitação, como o caso do Brasil. Em 1900, havia 427 grandes barragens superiores a 15 m em torno do mundo. Em 1950, passou para 5.268, em 1986 eram, aproximadamente, 39.000 e, atualmente, são mais de 45.000 (ICOLD, 1998). De acordo com a ICOLD (1998) é considerada uma grande barragem: quando a altura desta é igual ou superior a 15 metros (contados do alicerce). Se a barragem tiver entre 5 e 15 m de altura ou seu reservatório tiver uma das características: capacidade superior a 3 milhões de m³, mínimo 500 m de comprimento de crista, vazão acima de 2000 (m³/s) também é classificada como grande. Com base nestes critérios, existem hoje mais de 45.000 grandes barragens em todo o mundo (WCD, 2000).

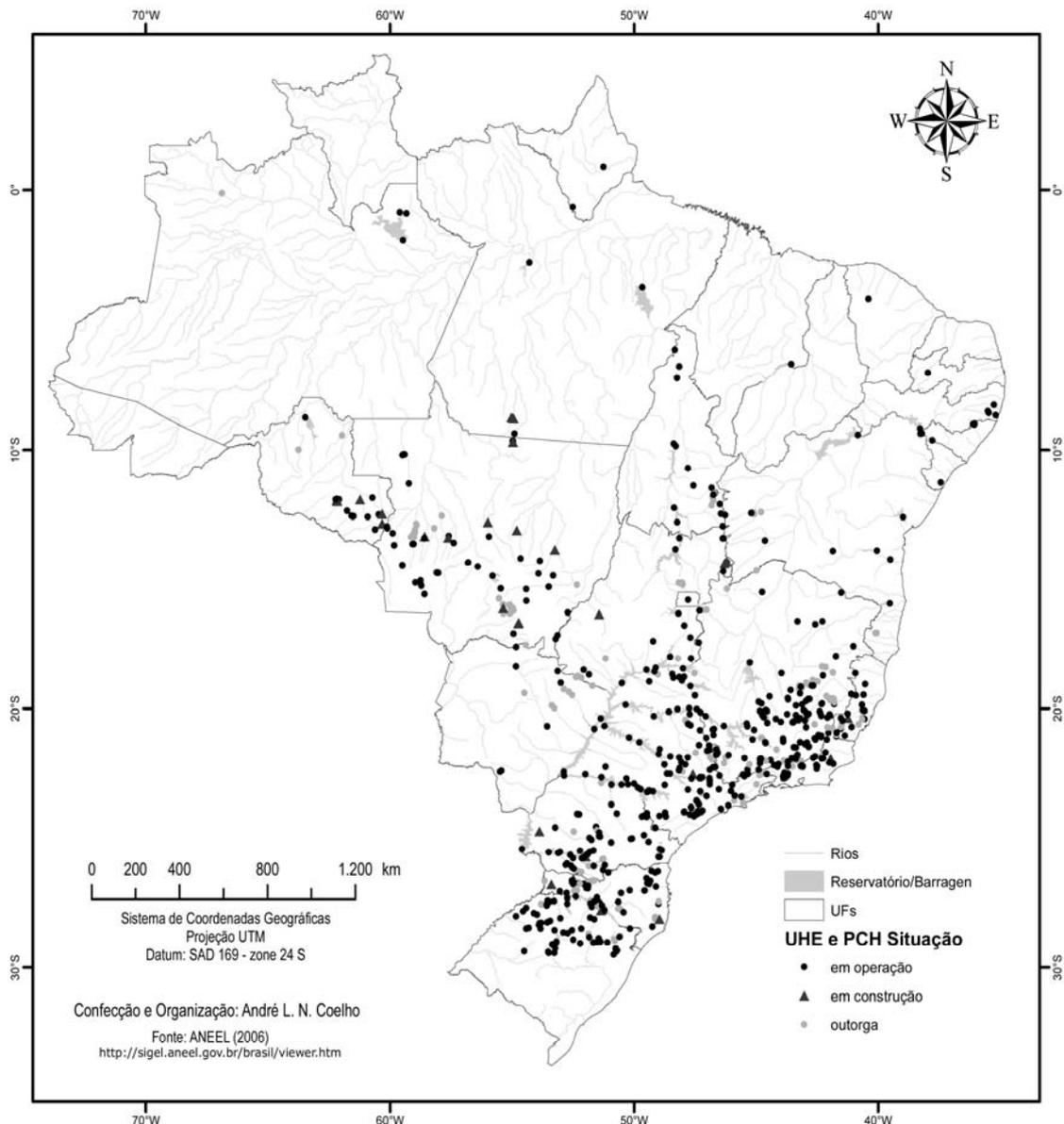
A World Commission on Dams (WCD, 2000) estima que cerca de 60% dos 227 maiores rios do mundo foram muito, ou moderadamente, fragmentados por represas, desviados ou canalizados, causando efeitos sobre os ecossistemas de água doce e adjacências. Um estudo

Recebido em 11/06/2007

Aprovado para publicação em 14/05/2008

realizado por Miranda (2001) aponta que existam aproximadamente 60.000 reservatórios distribuídos pelo mundo com um volume maior que $10 \times 10^6 \text{ m}^3$, representando uma superfície de cerca de 400.000 km^2 e mais de 2.800 destes reservatórios têm um volume superior a $100 \times 10^6 \text{ m}^3$. Hanasaki et al. (2006) destacam que 593 reservatórios no mundo apresentam um volume igual ou superior a $1.000 \times 10^6 \text{ m}^3$.

A partir destes números pode-se afirmar que as grandes bacias hidrográficas distribuídas no mundo, poucas escaparam de um sistema de repesamento. No caso brasileiro não foi diferente, o número de Usinas Hidrelétricas (UHEs) de grade porte (Usinas com Potência superior a 30 MW) é superior a 155, com 265 pequenas centrais hidrelétricas (PCH) (Usinas com Potência entre 1 e 30 MW de energia) e um total de 420 barragens cadastradas no Banco de Informações de Geração da ANEEL (2006)², representando hoje 76,18 % da geração de energia elétrica do país (Figura 1). A previsão para 2010 é a construção de 8 novas UHEs e 47 PCHs.



Fonte: Banco de Dados ANEEL (2006).

Figura 1 – Distribuição de reservatórios de UHEs e PCHs no Brasil

² Disponível em: < www.aneel.gov.br > acesso em: 05 set. 2006

Frente a este contexto, o presente trabalho se propõe a discutir um tema ainda pouco abordado na geomorfologia fluvial brasileira. Refere-se aos efeitos adversos provocados pelos barramentos e operação dos reservatórios para geração de energia elétrica, tomando como base, os estudos/pesquisas realizadas no Brasil e em outros países. Nessa trajetória, os objetivos específicos são entender os mecanismos e processos envolvidos na dinâmica fluvial de rios obstruídos por barragens; fomentar a discussão e elaboração de novas pesquisas nacionais em geomorfologia fluvial, e por fim, desenvolver técnicas que reduzam tais efeitos.

DINÂMICA DO SISTEMA FLUVIAL: 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 2001a).

Em um rio, a velocidade das águas depende de fatores importantes como a declividade do perfil longitudinal, o volume das águas, a forma da seção transversal, o coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água, fazendo com que a velocidade das águas tenha variações nos diversos setores do canal no qual ela flui. Nesse sentido, qualquer obstáculo influencia na eficiência do fluxo das águas, por exemplo, quanto mais lisa for a calha, maior será a eficiência do fluxo. Assim, o comportamento da velocidade das águas e seu fluxo (turbulento ou laminar) relacionam-se com a corrente fluvial (ou trabalho) que o rio executa, possibilitando o transporte da carga sedimentar nas suas mais variadas formas (suspensão, saltação e rolamento), de acordo com a granulação das partículas (tamanho e forma) e das características da própria corrente, elaborando uma forma de relevo fluvial em função destas variáveis (BIGARELLA, 2003; CUNHA, 2001a; SUGUIO e BIGARELLA, 1990; CRISTOFOLETTI, 1981 e 1980).

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. Qualquer modificação rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio (CRISTOFOLETTI, 1980 e SILVA et al. 2003). Isto é, os processos de erosão, transporte e deposição de um sistema fluvial variam no decorrer do tempo e, espacialmente, 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.

EFEITOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS GERAIS DA CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE BARRAGENS

Quando ocorre uma intervenção humana de grande intensidade, como é o caso das construções de grandes barragens, há o rompimento do equilíbrio longitudinal do rio. Praticamente todo barramento do canal fluvial interfere no seu sistema lótico (correntezas) passando a ser um sistema com características lênticas (ou de águas semi-paradas) no reservatório. Esse tipo de interferência gera uma série de efeitos em cadeia que, dependendo da magnitude e área de abrangência, pode ser irreparável (CUNHA, 1995, 2001a). Casos brasileiros que exemplificam, entre outros, essa situação são os reservatórios de Balbina (AM) e Juturnaíba (RJ), empreendimentos que além de provocar diversos impactos, não atenderam, de fato, suas finalidades.

Pesquisas nacionais que tratam a respeito dos efeitos hidrogeomorfológicos em canais fluviais decorrentes da construção reservatórios/barragens são escassas. Merece destaque a

pesquisa realizada por Cunha, em 1995, intitulada “*Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil)*”, que discute e avalia de modo abrangente os vários efeitos hidrológicos e geomorfológicos da construção da barragem de Juturnaíba nos diversos setores do canal fluvial e adjacências, sendo uma referência de estudo no Brasil. De acordo com a autora, a construção de barragens rompe com a seqüência natural dos rios em pelo menos três setores distintos: (1) *montante do reservatório/barragem*; (2) *no reservatório e periferia*; (3) *a jusante do reservatório/barragem*.

Na Tabela 1, são pontuadas as principais alterações hidrológicas e geomorfológicas nos três setores/áreas de um rio represado com algumas destas constada por Cunha (1995):

TABELA 1
Alterações Hidrológicas e Geomorfológicas em Setores de um Rio Represado³

SETOR DA BACIA	PRINCIPAIS IMPACTOS HIDROLÓGICOS	PRINCIPAIS IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS
Montante da Barragem	Deposição de carga sólida; Mudança térmica das águas; Redução da velocidade das águas; Subida do nível das águas.	Assoreamento na desembocadura dos rios principais; Assoreamento no fundo dos vales principais; Assoreamento na desembocadura e no fundo dos vales afluentes; Formação de novas áreas de inundação.
No Reservatório e Periferia	Armazenamento de carga líquida; Armazenamento de carga sólida; Modificação no conteúdo de gases dissolvidos; Elevação do nível piezométrico (compressibilidade dos líquidos); Alteração na taxas de infiltração; Maior disponibilidade de água subterrânea; Ocorrência de Inundações; Assoreamento no reservatório; Redução da vida útil da barragem; Alteração na transparência da água; Alteração na estrutura térmica da água.	Submersão das formas de relevo; Processos de abrasão lacustre; Recuo das margens ou das falésias lacustres; Formação de praias e depósitos de abrasão; Processos de assoreamento; Formação de bancos arenosos emersos ou imersos; Formação de lagoas fechadas; Colmatação da desembocadura dos rios principais; Formação de novas áreas de inundação.
A Jusante da Barragem	Controle da regularização das descargas; Redução da carga sólida (sedimentos); Sanilização da água; Alteração na estrutura térmica; Redução do nível piezométrico; Alteração nas taxas de infiltração; Menor disponibilidade de água subterrânea.	Entalhe no leito do rio, com conseqüente descida do nível de base local; Descida do nível de base dos afluentes com retomada erosiva (entalhe) dos seus leitos; Processos de erosão nas margens; Alteração nos sedimentos de fundo e das margens; Reajustamento na morfologia do canal pela migração dos setores de erosão e sedimentação; Processos de deposição nas margens e fundo do leito; Modificações na dinâmica da foz.

Fonte: Cunha (1995).

Org.: André Luiz Nascentes Coelho.

³ impactos observados por Cunha (1995)

Na bacia hidrográfica, os efeitos ou impactos das barragens podem ser observados em quatro áreas de influência: direta, indireta, totalidade da bacia e político-administrativa. Sendo que a área de influência direta corresponde à área a ser alagada, necessitando por sua vez de estudos anteriores a implantação do projeto, a exemplo, dos EIAs/RIMAs e demais estudos. Coelho (2007) e Fontes (2002) apontam outros elementos importantes a serem considerados quanto a natureza e distribuição dos impactos gerados pelas barragens, sumarizados na Tabela 2.

TABELA 2

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.

SISTEMA FLUVIAL A JUSANTE 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; WCD, 2000).

Uma das referências pioneiras que trata destes efeitos a jusante de barragens são os estudos empreendidos por Petts (1979 apud CUNHA, 1995), constatando diversos impactos morfológicos no canal principal em decorrência das implicações das obras de engenharia. Em pesquisa mais recente, Petts (1987) destacou, em condições particulares, a contribuição dos tributários a jusante das barragens. Outros trabalhos de referência que tratam do assunto são

os de Walling (2006) que evidencia os impactos humanos, interferindo a transferência de sedimentos da Terra/Continente em direção ao Oceano em vários rios do mundo; Graf (2006) que fez um estudo dos efeitos geomorfológicos e hídricos das grandes barragens nos EUA; Gordon et al. (2006) que estudaram as mudanças na morfologia do canal e da vegetação ribeirinha no norte da Califórnia a jusante do lago Sonoma, sub-bacia do rio Russian (EUA); Hanasaki et al. (2006) que analisam e criticam o modelo global de operação de reservatórios, mostrando reduções substanciais da descarga mensal em vários rios do mundo com efeitos ambientais adversos. Valentin et al. (2005) que destacam a erosão de leitos fluviais (entalhamento) provocada pela ação da água corrente após os reservatórios dos rios na Austrália, China, Etiópia e EUA; Petts & Lewin (1979) que reviram os efeitos da regulação dos rios no Reino Unido.

Nessa linha de estudos, contribuição substancial foi dada por Brandt (2000) que elaborou prognósticos de mudanças geomorfológicas a jusante da construção de barragens, propondo uma classificação com base em diversos estudos, experiências anteriores e no desenvolvimento mais aprofundado da equação de Lane (1955), do balanço entre a descarga da água, a carga do sedimento, o tamanho de grão e a inclinação do rio, expressa pela relação: $LD \sim QS$ onde D é o tamanho de grão da calha, L é a carga transportada, Q é descarga da água e S a inclinação. Os efeitos foram classificados em nove casos (Tabela 3) de acordo com a variação na descarga da água (Q) e na relação entre as mudanças da carga de sedimento (L) e capacidade de transporte de sedimento (K).

TABELA 3

Variações da Descarga (Q) e o Relacionamento Entre o Sedimento (L) e Capacidade de Transporte de Sedimento (K) em Cada um dos Nove Casos

Variações da descarga	Casos	Relação entre sedimento e capacidade de transporte
Diminuição da Descarga (Q)	1	$L < K$
	2	$L = K$
	3	$L > K$
Estabilidade da Descarga (Q)	4	$L < K$
	5	$L = K$
	6	$L > K$
Acréscimo da Descarga (Q)	7	$L < K$
	8	$L = K$
	9	$L > K$

Fonte: Brandt (2000).

Org.: André Luiz Nascentes Coelho.

Impacto na Dinâmica Hidrosedimentológica

Conforme exposto, um rio de características naturais possui uma dinâmica hidrológica própria que resulta em uma morfologia peculiar. Qualquer modificação sofrida por este rio, a exemplo da construção de uma barragem, resulta em uma mudança significativa no seu regime hidrológico, sobretudo, em seu segmento a jusante. A magnitude do impacto da barragem depende de uma série de características e aspectos, sendo pontuados os mais comuns, a partir dos estudos de Coelho (2007); Miranda (2001); Brandt (2000), Müller (1995) e Cunha (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 (prática comum no Brasil);
- 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);
- Demandas de água (atual e futura) da bacia, inclusive a jusante da(s) barragem(s)

Miranda (2001) chama atenção para um aspecto que muitas vezes não é levado em consideração em países que não dispõem de tecnologias e estudos de engenharia de barragens, sobretudo, nos subdesenvolvidos de clima quente. Segundo ele, nesses países de climas tropicais, os modelos (ou plantas) de barragens projetados e construídos são, geralmente iguais aos dos países da América do Norte ou da Europa, elaborado por peritos estrangeiros que propõem estratégias que muitas vezes não se adequam às realidades físicas/bióticas presentes, a exemplo do funcionamento do clima, dinâmica geomorfológica/sedimentar, fauna (do rio) e também as condições socioeconômicas, podendo comprometer o empreendimento (ex.: menor vida útil do reservatório). Além disso, as realidades políticas e socioambientais desses países são bastante diferenciadas.

Brandt (2000) também chama atenção para dois efeitos que podem ser comumente observados a jusante das barragens, relacionados às mudanças no regime hidrológico do rio. O primeiro diz respeito ao *fluxo de água* (efeitos semelhantes aos padrões de liberação) e o segundo ao *fluxo de sedimento*, ambos interagindo de acordo com a particularidade de cada represa, determinando, por sua vez, mudanças nos processos morfológicos do canal após a barragem.

Fluxo de Água: refere-se à descarga da água que está relacionada com a morfometria da barragem, características do vertedouro (*spillaway*) e pela política ou padrões de liberação de água do reservatório, classificadas de duas formas: o *fio-de-água* (ou *correr-do-rio*) e *armazenamento-liberação*.

No primeiro caso (*fio-de-água*) a represa usa um pequeno ou nenhum volume de armazenamento, operando na maior parte das vezes, próximo aos padrões de fluxo naturais do rio (ex.: UHE de Mascarenhas-ES e UHE de Aimorés-MG, no rio Doce). Entretanto, em algumas situações, o fluxo no leito pode ser reduzido ou pode ser completamente eliminado para a alimentação dos tubos que levam água às turbinas, normalmente, nos períodos de estiagens ou de baixa vazão do rio (MIRANDA, 2001).

Já o segundo caso, *reservatórios de armazenamento-liberação* possuem diversas finalidades como: irrigação, provisão de água, navegação, controle de inundação, ou produção hidrelétrica. Nesses, quando ocorrem mudanças significativas dos padrões sazonais e anuais do clima, produzem efeitos mais expressivos a jusante das barragens como nos períodos extremos de estiagens prolongadas (liberação mínima de água pelo vertedouro, comprometendo toda a dinâmica fluvial), ou de cheias excepcionais (abertura de comportas/vertedouro, resultando em danos sócio-ambientais, a exemplo das inundações de municípios/comunidades). Nos *reservatórios de armazenamento-liberação*, independentemente do porte, produzem-se modificações nos padrões e fluxo do canal, afetando as características do sedimento do rio, nutrientes e qualidade de água. São exemplos as UHEs de Xingó e Sobradinho no rio São Francisco.

Nos reservatórios projetados para garantir o funcionamento da navegação e irrigação estão associados a um aumento das descargas mínimas a fim de se manter um padrão de fluxo médio de água para tais propósitos. Já os reservatórios construídos para a geração de energia

elétrica, têm como características comuns a redução das descargas de águas a jusante em boa parte do ano, de forma a garantir seus reservatórios cheios, para que nos períodos de estiagens, utilizem esta água reservada para o fornecimento de energia elétrica. Ocorre, também, em grande parte dos reservatórios do país, independente do padrão ser a fio d'água ou Armazenamento e liberação, a "Modulação diária de Ponta" nos horários de maior consumo (entre 18:00 e 22:00 horas), havendo com isso um acréscimo de vazão a jusante das UHEs. É em função desses controles que as barragens interferem no regime hidrológico do rio a jusante.

Nos reservatórios com outras finalidades, como controle de cheias, controle do sedimento, abastecimento domiciliar e abastecimento industrial é comum, também, a ocorrência da redução do fluxo em decorrência da política de controle de vazão no vertedouro que, conseqüentemente, interfere no transporte de sedimentos, estando relacionado, ainda, com o resultado da diminuição do armazenamento pela evaporação do espelho d'água, promovendo, por sua vez, a redução das descargas de pico.

Em seu trabalho, Brandt (2000) ressaltou os efeitos da construção de reservatórios em série ao longo do curso de rios, com base em estudos comprovados de Troms e Walker (1993 in Brandt, 2000), identificando os efeitos individuais comparados ao de uma grande barragem são pequenos. No entanto, quando são avaliados os efeitos em cadeia dessas barragens, eles são extremamente complexos e substanciais, podendo até, em alguns casos, exceder àqueles produzidos por uma única grande barragem. Esse modelo de reservatórios em série é bastante comum nos rios brasileiros como *rio São Francisco* (UHEs Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Apolônio Sales, Paulo Afonso e Xingó), *rio Grande* (UHEs Camargos, Itutinga, Furnas, Mascarenhas de Moraes, Luiz Carlos B. Carvalho, Jaguará, Igarapava, Volta Grande e Porto Colômbia), *rio Doce* (Candongia, Aimorés e Mascarenhas), entre outros (ANEEL, 2005).

Fluxo de Sedimento: Brandt (Op. cit.) aponta que não é somente afetada a descarga da água, mas também o fluxo do sedimento. Dependendo do porte do reservatório, quantidades substanciais de sedimento de fundo são barrados, passando somente uma pequena proporção após a barragem. De acordo com Williams e Wolman (1984), a eficiência da armadilha de sedimentos⁴ dos reservatórios de grande porte analisados é de praticamente 99%.

Outros fatores dentro do sistema do rio podem esconder os impactos da represa. Por exemplo, Olive e Olley (1997) observaram distante das barragens de Burrinjuck e de Blowering, no rio Murrumbidgee, na Austrália, que um terço do fluxo anual da água tinha sido reduzido após o fechamento das represas, enquanto apenas um quinto da carga do sedimento tinha sido removido. Este *input* de sedimentos ocorreu devido à contribuição da erosão dos tributários abaixo das represas. O transporte do sedimento, também, promove alterações na qualidade de água, tais como a mudança térmica, que influenciará na capacidade de transporte de fluxo de sedimento (WEBB e WALLING, 1996). Percebe-se que a relação entre a capacidade de transporte do fluxo e carga de sedimentos liberada do reservatório, junto com a relação entre o fluxo de erosividade e erodibilidade que o rio aterra determina mudanças no canal, o que produz novas condições na busca de uma relativa estabilidade.

Impactos Geomorfológicos

Com base nos estudos específicos de Cunha (1995), Brandt (2000) e de outros pesquisadores, foram relacionados, a seguir, outros efeitos geomorfológicos que ocorrem de forma interdependentes a jusante das grandes barragens, seguido do comentário de cada um destes:

Erosões Marginais nos Canais Fluviais: A erosão marginal nos canais fluviais processa-se de modo contínuo e espontâneo pela ação das correntes dos rios. Ela está diretamente associada às alterações provocadas no interior das bacias hidrográficas, a exemplo da

⁴ Efeito da contenção de sedimentos no reservatório/barragem.

construção de reservatórios e, ao desenvolvimento das planícies de inundação. Nesse sentido, o estudo de seus processos, em particular, contribui para melhor compreender os demais processos que operam ao longo de um canal. A erosão marginal pode ser potencializada pela ação das ondas imediatamente a jusante das barragens, normalmente, estando associada aos fluxos artificiais caracterizados por altas variações de descargas (operação da barragem). Essas elevadas descargas produzem efeitos adversos sobre a vegetação ripária, adaptada a um regime de fluxo sazonal, eliminando assim sua eficiência.

Em diversos países, estudos e linhas de pesquisa a respeito das erosões marginais em canais foram realizados após o trabalho pioneiro de Wolman em 1959⁵. As pesquisas mais detalhadas ocorreram a partir da década de 80 com o surgimento de novas idéias, questões e técnicas, inclusive de monitoramento dos processos erosivos das margens, com o objetivo final de entender os mecanismos que participam desse processo (CUNHA 2002).

Em nível nacional, os trabalhos preocupados com a erosão de margens e demais efeitos geomorfológicos de rios são escassos, levando em consideração a extensão territorial e as características da rede de drenagem brasileira. Entre eles destacam-se a já mencionada pesquisa empreendida por Cunha (1995) no rio São João - RJ; Coelho (2007) que identificou a erosão acelerada em vários setores jusante da barragem da UHE de Mascarenhas, no Espírito Santo, após a sua construção e operação, a partir do estudo de séries históricas de vazões do rio Doce e de imagens de satélites no intervalo de 28 anos. Fernandez e Souza Filho (1995) no rio Paraná e Lago de Itaipu; Fontes (2002) com um estudo de erosão marginal no baixo curso do rio São Francisco; e Morais (2002) com os estudos de mudanças morfológicas do canal do rio Araguaia.

Rodrigues e Adadi (2005) apontam que os principais estudos de bacias hidrográficas no Brasil referem-se à análise dos dados *hidrodinâmicos e morfométricos*. Os primeiros foram desenvolvidos em função da necessidade de se inventariar o potencial hidroenergético de bacias hidrográficas. Já os morfométricos podem servir de interpretações sobre a gênese e a dinâmica atual (morfodinâmica) da bacia hidrográfica. Cunha (2001b) chama a atenção para dos estudos os sedimentológicos em canais fluviais, ressaltando particularidades de cada bacia em função das características ambientais dominantes, em especial o clima (distribuição das precipitações), tipo de material de origem (geologia), o solo de seus terrenos e a forma de uso/ocupação (atuação do homem), todos tendo influência significativa no fornecimento de sedimentos para os rios.

Quanto à utilização dos principais métodos e técnicas voltados para análise morfológica de canais, Cunha (2002) e Rodrigues e Adadi (2005) discutem e orientam sobre como realizar estudos em canais fluviais, a exemplo da medição do perfil transversal, vazão de canais de pequeno porte e monitoramento de erosão marginal de rios através da fixação de pinos (CUNHA op. cit.). Essa última técnica é apropriada para uma análise temporal reduzida e tem por objetivo focalizar a variação espacial, dando ênfase aos estudos de processos detalhados de mudanças morfológicas, sem se preocupar em mensurar as taxas de erosão. A pesquisadora ressalta que essa técnica tem sido a mais popular entre os pesquisadores devido, a sua praticidade e, também, pelos resultados quando se quer notar a intensidade desse processo.

Também Coelho (2007), desenvolveu uma metodologia satisfatória para diagnóstico e análises hidrogeomorfológicas, possível de ser aplicada em outras bacias de médio-grande porte do nosso território, valorizando os dados e informações das principais agências e órgãos de referência (ANA, ANEEL, EMBRAPA, IBGE, INPE, ONS) juntamente com o uso de tecnologias como SIG e Sensoriamento Remoto.

O conjunto dessas pesquisas e métodos assume cada dia mais importância no que se refere

⁵ Cf. 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, p.178.

às questões ambientais contemporâneas e aos seus reflexos sócio-econômicos, pois muitas dessas interferências desenvolvidas no interior da bacia hidrográfica e, principalmente, no canal principal, afetam de alguma forma os processos de erosão, repercutindo na dinâmica de transporte e deposição de sedimentos. Lamentavelmente, vários são os exemplos de impactos socioambientais negativos, entre eles, o mais recente e polêmico processo de transposição de águas do “*Velho Chico*”⁶.

Mudanças nos Processos Fluviais: Petts (1987) agrupou as mudanças no canal principal após uma barragem em três ordens.

- *Mudanças de Primeira Ordem:* ocorrem na carga do sedimento, na descarga, na qualidade de água, no plâncton, etc., descrevendo toda a entrada e alcance a jusante da barragem;
- *Mudanças de Segunda Ordem:* são alterações na forma do canal, ajuste de seção transversal, da população do macrofitas, etc.;
- *Mudanças de Terceira Ordem:* são mudanças nos peixes e em populações invertebradas.

Petts (Op. cit.) afirma que as respostas bióticas são normalmente mais rápidas do que as abióticas e seguirão, conseqüentemente, o processo físico da recuperação.

Mudanças na Declividade / Perfil Longitudinal: Promovidas pela construção de reservatório são variadas e caso o efeito da contenção de sedimentos seja significativo, os processos fluviais reduzirão a capacidade de transporte de sedimento podendo, promover um entalhamento do leito do rio imediatamente a jusante da barragem.

A esse respeito Cunha (1995, p. 214) destaca que,

o entalhe do leito do rio tem início junto à barragem onde é mais evidente a sua atuação, propagando-se para jusante com um avanço na ordem de alguns quilômetros por ano, em rios de planície, e de dezenas de quilômetros, nos rios da montanha.

Normalmente, o comportamento do processo erosivo a jusante das barragens é extremamente elevado, provocando mudanças rápidas (entalhamento), decrescendo para jusante até predominar os processos de sedimentação e assoreamento.

A autora aponta, também, com base nos estudos de Makkaveyev (1972)⁷, que, em grande parte dos casos, o entalhe pode ser mais intenso que a erosão lateral, modificando o perfil transversal do canal, à medida em que o rio vai sendo alargado e aprofundado, permanecendo tal processo até os efeitos do represamento serem eliminados pela carga de sedimentos provenientes dos tributários. Chien (1985) baseado em observações de campo e de laboratório notou que as mudanças na inclinação podem ser expressivas por causa das alterações no comprimento ou na sinuosidade do rio e, também localmente, pela contribuição de sedimentos dos tributários. Exemplos de entalhamentos de rios revelam o aprofundamento do leito entre 0,3 metros a 0,6 metros nos rios Missouri, Platte e o Grande nos EUA.

Notável caso foi observado em Yuma, nos EUA, a 560 km a jusante da barragem de Hoover que, em conseqüência da redução da carga sólida em mais de 93%, resultou em mudanças significativas na morfologia do canal, consistindo no entalhamento da sua posição central em cerca de 3 metros, profundidade praticamente dobrada. Os 7% de carga sólida são provenientes basicamente dos tributários juntamente com a erosão de suas margens (STRAHLER e STRAHLER, 1973).

Mudanças de Seção Transversal: Pode ser medida pela relação de largura x profundidade

⁶ Ver RIMA - *Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional*, elaborado pela ECOLOGY BRASIL; AGRAR CONSULTORIA E ESTUDOS TÉCNICOS e JP MEIO AMBIENTE, 2004.

⁷ Makkaveyev, N. I. *The Impact of large water engineering projects on geomorphic process in stream valleys*. Soviet Geography: Review and Translations 13: 387 – 393.

que aumenta com o incremento de energia da corrente e com a erodibilidade das margens (CUNHA, 1995). Thorne (1990) usou diversos parâmetros *em grupos* com o objetivo de avaliar os efeitos da vegetação na erosão e na estabilidade das margens próxima às barragens. O *primeiro grupo* contém parâmetros da encosta, tais como a altura, inclinação, material abrasivo etc.; o *segundo grupo* contém parâmetros do canal, tais como a força do fluxo nas margens, *planform*, carga do sedimento, etc; e o *terceiro grupo* contém parâmetros da vegetação, tais como o tipo, a diversidade, o desenvolvimento, o afastamento, etc. Na maioria das vezes, o entalhe tende a ser mais intenso do que a erosão lateral, modificando gradualmente o perfil transversal do canal à medida que o fundo vai sendo alargado e aprofundado.

Mudanças na Configuração em Planta (Planform): A alteração da entrada da água e sedimento logo após as barragens, normalmente, induz mudanças na configuração do padrão geométrico do rio (*planform*). Schumm (1963) identificou que as sinuosidades dos canais estão caracterizadas por uma baixa relação entre a largura e a profundidade, e por uma porcentagem elevada do silte e argila no perímetro do canal. Enquanto a carga da calha diminui, o canal torna-se mais estreito e mais profundo devido à erosão. Tende-se a meandrar quando aumenta o diâmetro das partículas do leito, ocorrendo o entrelaçamento do segmento de gradiente com as descargas mais baixas (BRIDGE, 1993).

Mudanças na Forma do Leito: As mudanças no tamanho de grão são acopladas também como mudanças na forma de leito. Por exemplo, uma calha plana foi observada no rio de Cowlitz, nos EUA, notando a ocorrência de dunas em consequência da inclinação aumentada e o tamanho do material da calha diminuído (BRADLEY e MCCUTCHEON, 1987).

Reflexos nos Tributários a Partir das Alterações no Canal Principal: Um dos maiores efeitos das mudanças dos canais principais nos tributários são as mudanças do nível de base. Em grande parte dos casos, o abaixamento do nível de base se dá devido às mudanças no perfil transversal e longitudinal do canal principal no trecho a jusante da barragem. Germanoski e Ritter (1988) apontam algumas razões para estas alterações: (1) a degradação do leito do canal abaixará o nível do fluxo do tronco principal do rio afetando toda a descarga; (2) o canal alarga-se pela erosão do banco do rio (assoreamento); e (3) se o regulamento do fluxo pela barragem for significativo, o pico da descarga do rio realizar-se-á sempre fora da fase do pico de descargas dos tributários. O último efeito (3) foi notado no Canadá, onde os tributários se ajustam, degradando seus leitos próximos do canal principal (KELLERHALS e GILL, 1973).

Transferência de Sedimentos do Continente para o Oceano: Walling (2006), a partir da reunião de trabalhos e de análises de dados de séries históricas, evidencia os impactos humanos que afetam a transferência de sedimentos continente-oceano, destacando os reservatórios como uma das principais intervenções em canais fluviais responsáveis pela redução no transporte de carga de sedimentos dos grandes rios do mundo. Walling (2006, p. 4) ressalta o caso do rio São Francisco - Brasil.

Similar recent reductions in sediment load are also evident in many other major rivers, including the São Francisco in Brazil [...]. In the case of the São Francisco, which drains ca. 8% of the territory of Brazil, the available data suggest that the construction of the Sobradinho Dam in 1978, which impounded a vast reservoir extending over 4220 km and several other hydropower dams with a total generating capacity in excess of 10.000 MW, reduced the annual sediment output from this large (645 000 km²) basin by about 80% from ca. 11 Mt year⁻¹ to ca. 2 Mt year⁻¹.

Coelho (2005) exemplifica, de modo ilustrativo (Figura 2), a dinâmica de sedimentos continente para o oceano na desembocadura do rio Doce - ES, contribuindo, em parte, para manutenção do estoque sedimentar das praias adjacentes.

Walling (Op. cit.) aponta os avanços, no decorrer da segunda metade do século XX, na engenharia de construção das barragens/reservatórios, ampliando substancialmente o seu volume e dimensões.



Fonte: Coelho (2005).

Figura 2 - Imagem satélite falsa cor (ano 2003) destacando a dinâmica sedimentar do rio Doce em sua desembocadura, contribuindo, em parte, para manutenção do estoque sedimentar das praias adjacentes, como também, a manutenção (equilíbrio) dos processos hidrodinâmicos (ondas, marés e correntes costeiras).

Conforme descrição do próprio autor,

...most of the current storage was constructed between the 1950s and 1980s, with much of this being added during the 1970s and 1980s. Vörösmarty et al. (2003) estimate that more than 40% of the global river discharge is currently intercepted by large (≥ 0.5 km³ maximum storage capacity) reservoirs. Sediment trapped by dams exerts a major impact on the global land–sea sediment flux. The magnitude of this impact varies from continent to continent, in response to the spatial distribution of reservoir storage and the sediment loads of the rivers that have been dammed (WALLING, 2006, p. 9).

Um exemplo marcante deste período é a barragem de Assuan, concluída por volta 1969 no rio

Nilo - Egito com o barramento de 111 metros de altura, 3.600 metros de extensão e um reservatório com a capacidade de armazenar 163 milhões de metros cúbicos de água, considerada um marco na engenharia de barragens, pelos métodos e técnicas empregados. Por outro lado, essa barragem provocou uma série de impactos ambientais tais como: perda da fertilidade dos solos a jusante do reservatório, aceleração da erosão na planície aluvial, evaporação, infiltração de água, aumento na sanidade dos solos, entre outros (LAVENÈRE-WANDERLEY, 1983).

Após os anos 80, com a constatação dos enormes prejuízos socioambientais causados pelas grandes barragens do mundo fragmentando e transformando os rios, realocando uma população estimada entre 40 a 80 milhões de pessoas (WCD, 2000), o volume e área das barragens foram reduzidos de maneira a minimizar tais efeitos, passando-se a construir reservatórios em série ao longo dos rios.

Aumento da Instabilidade Junto à Foz do Rio e Reflexos no Perfil Praia Adjacente:

Modificações no regime fluvial, como redução das vazões e carga de sedimentos ocorridas a jusante, podem ser refletidas a longas distâncias da barragem, podendo afetar a desembocadura. Cunha (1995) chama a atenção para os possíveis efeitos na linha de costa, em função da diminuição da carga de sedimentos, provocada pelo fechamento da barragem que altera o perfil longitudinal do rio e dos seus afluentes, adaptando-se ao novo regime hidrológico. Caso a redução de descarga/vazão e sedimentos ocorra de forma significativa na desembocadura do rio com o mar, poderá causar efeitos na dinâmica do litoral (transporte longitudinal de sedimentos), desencadeando, com o passar dos anos, processos de erosão praial pela redução de aporte sedimentar do rio retido na barragem e ao longo do canal principal após a UHE.

Avanço da Cunha Salina / Alteração do Solo: Nos períodos críticos como os de estiagens prolongadas, há normalmente, a redução da vazão após o reservatório que, associada a uma baixa declividade do rio nas adjacências de sua desembocadura com o mar, propiciam a penetração da **água** salgada. Cunha (1995, p. 200) exemplifica casos dos rios Zambeze em Moçambique⁸ e Dnieper na Rússia⁹, nos quais o avanço da cunha de água salgada provocou, em consequência, a acidez dos solos e a redução de sua fertilidade. Outro exemplo, citado por Monteiro (1988 *apud* CUNHA, 1995) é o de Portugal que, em decorrência da construção da barragem de Crestuma, promoveu o avanço da sanidade da água, comprometendo o abastecimento e os solos da cidade do Porto.

Tais estudos alertam para possíveis alterações da desembocadura de grandes rios para o mar, em consequência das reduções expressivas em suas descargas pelas barragens e/ou transposições, possibilitando o avanço da penetração da maré atuante (macromaré, mesomaré ou micromaré) que, dependendo da intensidade (sizígia) e frequência, levará à alteração da qualidade dessas águas, promovendo, ainda, o avanço da cunha salina subterrânea. No Brasil, há o destaque para o Rio São Francisco, notando-se um alcance maior da maré rio acima em consequência da regularização das vazões das usinas hidrelétricas a montante (FONTES, 2002).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou enfatizar alguns elementos e processos “típicos” relacionados às geofformas fluviais decorrentes da construção de barragens. No entanto, outros efeitos devem

⁸ Estudo realizado por HALL, A.; VALENTE, I.; DAVIES, B. R. em 1977 intitulado: “*The Zambezi River In Mozambique: the Physical-chemical status of the Middle and Lower Zambezi prior to closure of the Cahora Bassa Dam*” *Freshwater Biology*, 7: p. 187 – 206.

⁹ Estudo publicado em 1970 por ZALUMI, S. G. “*The fish fauna of the lower reaches of the Dnieper: its present composition and some features of its formation under conditions of regulated and reduced river discharge*.” *Journal of Ichthyology*, p. 255-275.

ser analisados conjuntamente, como, por exemplo, alterações nas características das águas afetando os nutrientes que antes chegavam aos estuários; interferência na composição quantitativa e qualitativa, podendo comprometer a fauna, reprodução de espécies e migração das mesmas, ou, migração forçada decorrente da inundação provocando o adensamento de espécies; perda de parte da fauna terrestre no processo de preenchimento do reservatório; desequilíbrio na cadeia alimentar, etc. Também os fatores sócio-econômicos e culturais, devem ser considerados, em função de suas particularidades, o que dificulta ainda mais a conclusão dos estudos, pois em muitos casos, eles não conseguem dar conta de tal realidade.

Em função dessa complexidade de causas e efeitos, há necessidade de se avançar nos estudos e metodologias, de forma entender os processos, para então, verificar a viabilidade ou não destes empreendimentos, iniciando-se pela revisão e reformulação dos estudos de impactos ambientais EIAs e RIMAs, devendo não só avaliar os efeitos físicos da área potencialmente atingida (só o reservatório) e sim da análise socioambiental de toda a bacia, estimar os efeitos geomorfológicos a jusante das barragens, a influência da desembocadura com outro principal tronco/canal fluvial ou no mar, levando em conta a temporalidade.

Outro aspecto que deve ser levado em conta é que este modelo/ritmo de desenvolvimento de “modernização e progresso”, expresso pelo sistema econômico atual e hegemônico, é a cada dia mais incompatível com a dinâmica natural do ambiente. Deve-se pensar e propor um modelo de desenvolvimento menos degradante e que vá além da ampliação das ações de conservação, reorientando, sobretudo, os empresários, governos e segmentos da sociedade para uma utilização e conservação dos recursos, oferecidos pela natureza, de forma mais “inteligente”.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2006): **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/>>. acesso em: 05 set. 2006.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica **Atlas da energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p.

BIGARELLA, João J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora UFSC v.3, 2003. p. 877-1436.

BRADLEY, J. B., MCCUTCHEON, S.C. Influence of large suspended-sediment concentrations in rivers. In: Thorne, C.R., Bathurst, J.C., Hey, R.D. Eds. , **Sediment Transport in Gravel-bed Rivers**. Wiley, Chichester, 1987. p. 645–689.

BRANDT, S. A., **Classification of Geomorphological effects downstream of dams** CATENA, v. 40, Issue 4, 2000. p. 375-401.

BRIDGE, J. S. The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. In: Best, J.L., Bristow, C.S. Eds. , **Braided Rivers**. Geol. Soc. Spec. Publ. 75 Geological Society, London, 1993. p. 13–71.

CHIEN, N. **Changes in river regime after the construction of upstream reservoirs**. Earth Surf. Processes Landforms, 1985. p. 143–159.

CHRISTOFOLETTI, Antônio, **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981. 313 p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio, **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1980. 188 p.

COELHO, André. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES**, 2007. 237 f. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense) UFF, Niterói – Rio de Janeiro, 2007.

COELHO, André. L. N. **A Evolução e a dinâmica fluvio-marinha recente na planície costeira do rio Doce**: Identificando e Discutindo as Principais Transformações. In: ANAIS DO XI SGBFA, USP, São Paulo, SP, 2005, ISBN: 85-904082-9-9, p. 5440 - 5459. (Cd-Rom).

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

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, 2001a. p. 211-252.

CUNHA, Sandra B. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (orgs.) **Geomorfologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001b. p. 229-271.

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.

FERNANDEZ, Oscar V.Q.; SOUZA FILHO, E.E. **Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná**, PR. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba: UFPR, 1995. p. 161-171.

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.

GERMANOSKI, D., RITTER, D.F. **Tributary response to local base level lowering below a dam** Regulated Rivers: Res. Manage. 2, 1988. p. 11–24.

GORDON, Eric; MEENTEMEYER, Ross K. **Effects of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation** Geomorphology, GEOMORPHOLOGY. 2006. p. 1- 18.

GRAF, William L. **Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers**, GEOMORPHOLOGY v. 79. 2006. p. 336–360.

HANASAKI, Naota; KANAE, Shinjiro; OKI, Taikan, **A reservoir operation scheme for global river routing models**. JOURNAL OF HYDROLOGY, 2006. p. 22-41

ICOLD. **World register of dams**. Paris: International Commission on Large Dams. 1998.

KELLERHALS, R., GILL, D. **Observed and potential downstream effects of large storage projects in northern Canada**. In: 11th International Congress on Large Dams, Madrid, Transactions Vol. 1, 1973. p. 731–754.

LAVENÈRE_WANDERLEY, Laura L. **Impactos ambientais resultantes da construção da Usina Hidrelétrica de Assuan, no Rio Nilo (Egito)**. Belo Horizonte: Revista Geografia e Ensino, Ano 1 v. 4 1983. 3-68 p.

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.

MORAIS, Roberto P. **Mudanças históricas na morfologia do canal do Rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (MT) até a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no período entre as décadas de 60 e 90**, 2002. 176 f. Dissertação (Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia) UFG, Goiana – Goiás 2002.

MÜLLER, Arnaldo C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995. 412 p.

OLIVE, L. J., OLLEY, J. M., River regulation and sediment transport in a semiarid river: the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia. In: **Human Impact on Erosion and Sedimentation**. Proceedings of Symposium S6 during the 5th Scientific Assembly of the IAHS, Rabat, Morocco, 23 April to 3 May. IAHS Publ. Vol. 245, 1997. p. 283–290.

PETTS, G.E., LEWIN, J. Physical effects of reservoirs on river systems. In: HOLLIS, G.E. Ed. **Man's Impact on the Hydrological Cycle in the United Kingdom**. Geo Abstracts, Norwich, 1979. p. 79–91.

PETTS, Geoffrey E. Time-scales for ecological change in regulated rivers. In: Craig, J.F., Kemper, J.B. Eds., **Regulated streams**. advances in ecology. New York: Plenum, 1987. p. 257–266.

PETTS, Geoffrey E.; GURNELL, Angela M. **Dams and geomorphology: research progress and future directions** GEOMORPHOLOGY, v 71, 2005. p. 27–47.

RODRIGUES, Cleide; ADADI, Samuel, Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI Luis A.B. (org) **Praticando geografia: técnicas de Campo e Laboratório em geografia e análise ambiental**, São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 147-166.

Schumm, S. A. **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains**. Geol. Soc. Am. Bull. 74, , 1963. p. 1089–1100.

SILVA, Alexandre M.; SCHULZ, Harry E.; CAMARGO, Plínio B. **Erosão e Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**, São Carlos - São Paulo: RiMa. 2003. 37 p.

STRAHLER, Artur N. e STRAHLER, Alan H. Fluvial process e landforms in: **Environmental geoscience: interaction between natural systems and man**, Santa Barbara, California: Ed. Hamilton Publishing Company, 1973, p. 374-382.

SUGUIO K.; BIGARELLA, J. J., **Ambientes fluviais**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1990. 183 p.

THORNE, C. R. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. In: THORNES, J.B. Ed. **Vegetation and Erosion**. Wiley, Chichester, 1990. p. 125–144.

VALENTIN, C.; POESEN, J., YONG Li, **Gully erosion: impacts, factors and control**, CATENA, v. 63, 2005. p. 132-153.

WALLING D.E. **Human Impact on Land–Ocean Sediment Transfer by the World's Rivers**, GEOMORPHOLOGY Elsevier. 2006. p. 1-25.

WCD - World Commission on Dams. **Dams and development: A framework for decision-making**, The World Commission on Dams., 2000.

WEBB, B. W., WALLING, D. E. **Long-term variability in the thermal impact of river**

impoundment and regulation. Appl. Geogr. 1996, p. 211–223.

WILLIAMS, G. P., WOLMAN, M.G. Downstream effects of dams on alluvial rivers. In: **Geological Survey**, Professional Paper 1286 U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1984. 83 p.