



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Repercussão da Exploração Hidroelétrica no Funcionamento Geocológico de Paisagens Fluviais Amazônicas

Eder Mileno Silva De Paula<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dr. em Geografia, Professor Adjunto C2, Campus Universitário de Altamira, Universidade Federal do Pará, Rua Coronel José Porfírio, nº 2515. Bairro: São Sebastião. Altamira – Pará CEP: 68372-040. (85) 99817-2085. [edermileno@gmail.com](mailto:edermileno@gmail.com).

Artigo recebido em 22/05/2019 e aceito em 16/12/2019

### RESUMO

A exploração hidroelétrica promove impactos naturais e sociais irreversíveis, também observados nas bacias hidrográficas amazônicas que receberam as Usinas Hidrelétricas de Balbina, Tucuruí e Samuel. A Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM) está sendo construída desde 2011 no Baixo Curso do Rio Xingu e começou a produzir energia elétrica no ano de 2016. Os barramentos construídos para UHEBM impactam na dinâmica do fluxo fluvial de energia, matéria e informação do Rio Xingu, com desdobramentos negativos para o meio biótico, abiótico e para as comunidades indígenas, ribeirinhas e urbanas locais. Nesta pesquisa teve-se objetivo de analisar as consequências da exploração hidroelétrica no funcionamento das paisagens fluviais no Baixo Rio Xingu, através de análises geossistêmicas dos componentes das paisagens. Analisou-se o funcionamento antes do início do represamento da água (1985 a 2014) e após o represamento do Xingu (2016 a 2019). As conclusões indicam como se dá o funcionamento geocológico de rios amazônicos explorados por hidrelétricas, especificamente aqueles com trechos de vazão reduzida. Essas conclusões podem contribuir no planejamento e gestão ambiental de paisagens fluviais e ajustes na operação da UHE Belo Monte.

Palavras-chave: Belo Monte, Volta Grande do Xingu, Hidrogeografia, Geomorfologia Fluvial.

## Repercussion of Hydroelectric Exploration in the Geocological Performance of Amazon Fluvial Landscapes

### ABSTRACT

Hydroelectric exploitation promotes irreversible natural and social impacts, also observed in the Amazonian basins that received the hydroelectric plants of Balbina, Tucuruí, and Samuel. The Belo Monte Hydroelectric Power Plant (UHEBM) is in construction since 2011 in the low-lying region of the Xingu River and started producing electricity in the year 2016. The dams built for the UHEBM impact on the dynamics of the river flow of energy, matter and information on the river Xingu with negative consequences for the biotic and abiotic environment, and for the indigenous, riverside and urban communities. The research's objective was to analyze the consequences of hydroelectric exploitation on the river landscape in the lower Xingu River through geosystemic analysis of landscape components. The operation was analyzed in the period before the beginning of the water dam (1985 to 2014) and after (2016 to 2019) the damming of Xingu. The conclusions indicate the geocological functioning of Amazonian rivers explored by hydroelectric plants, specifically those with reduced flow stretches, and these conclusions can contribute to the planning and environmental management of river landscapes and adjustments in the operation of the Belo Monte Hydroelectric Power Plant.

Keywords: Belo Monte, Volta Grande do Xingu, Hydrogeography, Fluvial Geomorphology.

### Introdução

A Amazônia brasileira vivenciou e vivencia fortes modificações nas suas paisagens e elas

repercutem em mudanças climáticas regionais e globais (Nobre et al., 2007). A exploração hidroelétrica promove impactos naturais

irreversíveis, com a diminuição da correnteza e do fluxo de sedimentos de rios, mudanças na temperatura e qualidade da água, interrupção de fluxos biológicos e desflorestamento, além de proporcionarem impactos sociais, tais como especulação imobiliária e disseminação de doenças (Souza, 2000).

Ainda que a geração de energia por hidrelétricas seja considerada ambientalmente sustentável, algumas das regiões submetidas a empreendimentos hidrelétricos passaram por um retrocesso econômico, social e ambiental (Müller, 1995). Este fato pode ser observado nas regiões amazônicas que receberam as grandes hidrelétricas de Balbina, Tucuruí e Samuel, as quais proporcionaram catástrofes do ponto de vista socioambiental (Rodrigues, 2013; Fearnside, 2015).

A Eletrobras (Centrais Elétricas Brasileiras S.A), empresa estatal responsável pela produção e distribuição de energia em território brasileiro, nos anos 1980 planejou construir 79 usinas hidrelétricas no Brasil, a maioria seria implementada nos principais afluentes do Rio Amazonas (Becker, 1990). A Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte fazia parte desse planejamento e está sendo construída desde 2011 no Baixo Rio Xingu e entrou em operação parcial em 2016.

Antes da UHE Belo Monte, o trecho fluvial do Baixo Rio Xingu podia ser subdividido em “a montante da Volta Grande do Xingu”, “Volta Grande do Xingu (VGX)” e “foz do Rio Xingu”. A “Volta Grande do Xingu” e o conjunto de ilhas denominado Embaubal (localizado na foz do Rio Xingu) em 2007 foram considerados áreas de “prioridade extremamente alta para conservação” (Brasil, 2007) pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), em virtude da sua importância biológica para Amazônia. Em 2016, visando à preservação da *Podocnemis expansa*, foram criadas duas Unidades de Conservação (UC) pelo Governo do Estado do Pará: a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) Vitória de Souza e o Refúgio de Vida Silvestre (RVS) Tabuleiro do Embaubal.

Por conta da magnitude da intervenção no corredor fluvial, a construção e operação da UHE Belo Monte impactam na dinâmica do fluxo fluvial de energia (capacidade de erosão, transporte e deposição), matéria (água, areias, siltes, argilas, húmus) e informação (dispersão da flora e fauna) do Rio Xingu. Os desdobramentos já podem ser percebidos nos meios bióticos,

abióticos e nas comunidades indígenas, ribeirinhas e urbanas locais.

A montante do reservatório da UHE, com a redução da velocidade das águas, ampliou-se a deposição de sedimentos que irão assorear a desembocadura do Rio Irití e o Rio Xingu, eliminando e remodelando as áreas de inundação. No trecho do reservatório, com o armazenamento de água e a conseqüente mudança da cota fluviométrica, inundou-se permanentemente parte da planície fluvial do Rio Xingu e afluentes; ampliou-se a deposição de sedimentos; aumentou-se a disponibilidade de água subterrânea com a elevação do lençol freático; e provocaram-se mudanças na temperatura das águas. No trecho a jusante do barramento Belo Monte, a quantidade de água é semelhante à original, entretanto ocorrerá restrição de sedimentos, que ampliará a capacidade de erosão e transporte. Na Volta Grande do Xingu, com a construção do barramento Pimental, repartiu-se a vazão da água do Rio Xingu e inibiu o fluxo de sedimentos, modificando a relação entre a capacidade de transporte e de erosividade do escoamento.

Esta pesquisa teve o objetivo de analisar as conseqüências da exploração hidroelétrica no funcionamento das paisagens fluviais no Baixo Rio Xingu, através de análise geossistêmica (Sotchava, 1977; Souza, 2000; Rodrigues e Silva, 2013; De Paula et al., 2014) de dados climáticos e hidrológicos, de mapeamentos geológicos, geomorfológicos, dos tipos de solos, dos usos da terra e da cobertura vegetal, e estabelecendo correlações com informações obtidas em atividades de campo e pesquisas bibliográficas. As conclusões indicam como se dá o funcionamento geocológico de rios explorados por hidrelétricas e que possuem trecho de vazão reduzida, servindo de apoio ao planejamento e gestão ambiental de paisagens fluviais amazônicas e para ajustes na operação da UHE Belo Monte, em acordo com as potencialidades e limitações ambientais das paisagens.

## Teoria e Método

### *Funcionamento geocológico da paisagem*

A análise geocológica busca compreender a estrutura vertical e horizontal, funcionamento, evolução, estabilidade e vulnerabilidade ambiental da paisagem, compreendendo a paisagem de forma sistêmica e holística, com objetivo principal de subsidiar o planejamento dos usos e da ocupação da paisagem em acordo com suas

potencialidades e respeitando seu limites (Rodriguez et al., 2013; De Paula et al., 2014).

A metodologia de análise da paisagem indicada por Rodrigues (2000) busca um sistema único na caracterização, análise e mapeamento das paisagens e desenvolve conceitos e procedimentos normativos de avaliação paisagística. O esquema metodológico para análise geocológica da paisagem perpassa pelo estudo da organização da paisagem; classificação e taxionomia das estruturas paisagísticas; conhecimento dos fatores modificadores das paisagens, do potencial das paisagens e seus tipos funcionais; e dos impactos ambientais das atividades humanas.

As pesquisas geocológicas propõem, ou subsidiam, o planejamento e a gestão ambiental das paisagens visando o desenvolvimento sustentável. Nesta direção, Silva e Rodriguez (2011) acrescentam que a geocologia das paisagens constitui um sistema de métodos e procedimentos técnicos com o objetivo de diagnosticar de forma integrada a paisagem. O diagnóstico deve “subsidiar informações necessárias para a instituição de programas de desenvolvimento socioeconômico e seus devidos planos de gestão e manejo territorial” (p. 4).

Nesta pesquisa analisou-se o funcionamento da paisagem, que busca esclarecer os elementos substanciais dos subsistemas que refletem no sistema das inter-relações externas das paisagens. Neste enfoque, analisa-se a gênese da paisagem, os fluxos de Energia, Matéria e Informação (EMI) entre as partes da paisagem e entre as paisagens e verificam-se os estados dos seus processos de funcionamento.

Caracteriza-se o funcionamento da paisagem como a sequência estável de processos que atuam permanentemente na formação da paisagem. Isto consiste na transmissão de EMI e garante a conservação de um determinado estado da paisagem em um tempo (Diakonov, 1988) e tem a capacidade de produzir biomassa, solo, húmus, sais, turfa, entre outros.

As conjugações e conexões das paisagens de níveis hierárquicos diferentes formam o que se denomina por estrutura funcional da paisagem, as quais se unem mediante a ação dos fluxos horizontais e verticais (Zvonkova, 1995). Já a dinâmica do funcionamento é entendida como o conjunto de processos que garantem o funcionamento dos geossistemas e cada paisagem tem sua própria dinâmica de funcionamento, sustentada por mecanismos e balanços de fluxos

de EMI específicos e por uma cadeia de relações reversíveis (Diakonov, 1988).

Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013), a dinâmica de funcionamento da paisagem, de forma geral, pode ser distinta nas seguintes categorias temporais: curto, médio e longo tempo. Os estados dinâmicos funcionais de curto tempo oscilam entre minutos e até um dia. Os estados funcionais de médio tempo possuem amplitude no tempo entre um dia e um ano, e constituem os estados diários de circulação dos processos atmosféricos, de ciclo anual, as estações do ano e estados anuais.

#### *Metodologia de execução*

Após revisão teórica dos principais conceitos relacionados à Geocologia da Paisagem e identificando trabalhos que aplicaram esse método de análise, foram catalogadas informações bibliográficas e cartográficas de diversas instituições públicas, sendo basilares as pesquisas da estrutura geocológica do Baixo Xingu (De Paula et al., 2016) e do Embaubal (De Paula e Silva, 2019).

A área de estudo é delimitada pela sub-bacia do Baixo Curso do Rio Xingu<sup>1</sup>, referente ao trecho entre a confluência do Rio Xingu com o Rio Irirí até a confluência com o Rio Amazonas. Nas análises do funcionamento geocológico, realizadas para antes do início da exploração hidroelétrica do Xingu, setoriza-se o baixo curso em três trechos, a saber: Volta Grande do Xingu (VGX), que inicia logo após a sede do município de Altamira - PA até a comunidade de Belo Monte; a montante da VGX; e a jusante da VGX ou foz do Rio Xingu, a qual inclui o Arquipélago do Embaubal. Com a exploração hidroelétrica setorizou-se o funcionamento em: a montante do Reservatório; Reservatório da UHE Belo Monte; Trecho de Vazão Reduzida – TVR ou VGX; e Jusante da UHE Belo Monte.

As unidades geocológicas foram mapeadas por De Paula et al. (2016) e De Paula e Silva (2019) através de análises sistêmica e holística das inter-relações verticais dos componentes da paisagem (clima, recursos hídricos, geomorfologia, geologia, solos, cobertura vegetal e usos da terra), e hierarquizadas nas categorias domínio, província, distrito, regiões e unidades geocológicas.

---

1 Os mapas inseridos ao longo deste artigo possuem a localização desses trechos fluviais.

As funções e os fluxos geocológicos das unidades de paisagens foram descritos em acordo com Christofolletti (1980; 1999), Cunha (2008), Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013) e Vidal et al. (2014). Essas análises foram subsidiadas por informações coletadas em seis campanhas de campo realizadas entre os anos de 2011 e 2019, em períodos de “cheia” (dezembro a maio) e de “vazante” (junho a novembro) do Rio Xingu; e análises de dados de chuvas, temperaturas máximas, médias e mínimas coletadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de cotas médias fluviométricas e de vazão disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Os dados do INMET e ANA foram analisados em De Paula et al. (2016) e De Paula e Silva (2019) para meses dos anos de 1984 a 2014 e nesta pesquisa analisou-se dados diários de cotas fluviométricas e de vazão entre os anos de 2010 e 2019.

## Resultados e discussão

### *Funcionamento geocológico do Baixo Rio Xingu antes de sua exploração hidroelétrica*

Paisagens de gênese fluvial têm o funcionamento geossistêmico em primeiro nível dependente da quantidade de energia (vazão da água, capacidade de transporte) e matéria (areias, siltes, argilas, húmus) que o fluxo fluvial erode, transporta e deposita. A EMI trazida pela água dita a dinâmica evolutiva, a estrutura da paisagem e, conseqüentemente, influencia as intervenções promovidas pela sociedade.

A análise do funcionamento da paisagem busca compreender as funções geocológicas das unidades de paisagem regionais e locais, caracterizando suas funções paisagísticas e os fluxos responsáveis pelos deslocamentos de Energia, Matéria e Informação (EMI) no geossistema.

De acordo com Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013) pode-se distinguir na paisagem unidades que exercem função de Força, de Entrada (Ingestão), Armazenamento e Produção, que foram identificados na Figura 1, nas regiões e unidades geocológicas da sub-bacia do Baixo

Rio Xingu e Embaubal, com base no entendimento holístico da paisagem.

A função Força garante o movimento de entrada e saída de EMI do geossistema e constitui aportes externos, originários na atmosfera e litosfera. Já a função Entrada constitui a principal via de entrada dos fluxos EMI, caracterizado nesta pesquisa pelo canal principal do Rio Xingu.

A função Armazenamento promove o acúmulo, absorção, filtragem e transmissão de EMI oriundos das unidades de paisagem que possuem função de produção no geossistema e é exercida pelas regiões geocológicas Planície Fluvial do Rio Amazonas e Planície Fluvial do Rio Xingu; e pelas unidades geocológicas praias fluviais, ilhas desagregadas, ilhas agregadas, planície de inundação margem direita e planície de inundação margem esquerda.

A função Produção é exercida pelas regiões geocológicas Baixos Platôs do Rio Xingu, Baixos Platôs da Transamazônica e Xingu, Planaltos Dissecados Transamazônica e Xingu, Superfícies Aplainadas Transamazônica e Xingu, Superfícies Aplainadas Trincheira do Bacajá e Superfícies Aplainadas São Felix do Xingu, as quais recebem, absorvem e conservam EMI e a emitem através dos fluxos, que promovem intercâmbio entre as unidades de paisagem.

A ausência de cobertura vegetal e a conseqüente diminuição da infiltração deve ampliar a quantidade de matéria para os sistemas fluviais, em conseqüência da rápida denudação dos solos, causados pelos escoamentos superficiais (Cunha, 2008; Tricart, 1977). As regiões geocológicas Baixo Platôs da Transamazônica e Xingu, Planaltos Dissecados Transamazônica e Xingu, Superfícies Aplainadas Transamazônica e Xingu e as Superfícies Aplainadas São Félix do Xingu devem produzir maior quantidade de sedimentos do que as outras regiões, tendo em vista que passaram por intensos processos de desflorestamento, que substituiu a floresta Ombrófila por áreas de pastagens (De Paula et al., 2016), que não possuem a mesma capacidade de proteção dos solos e prejudicam a infiltração.

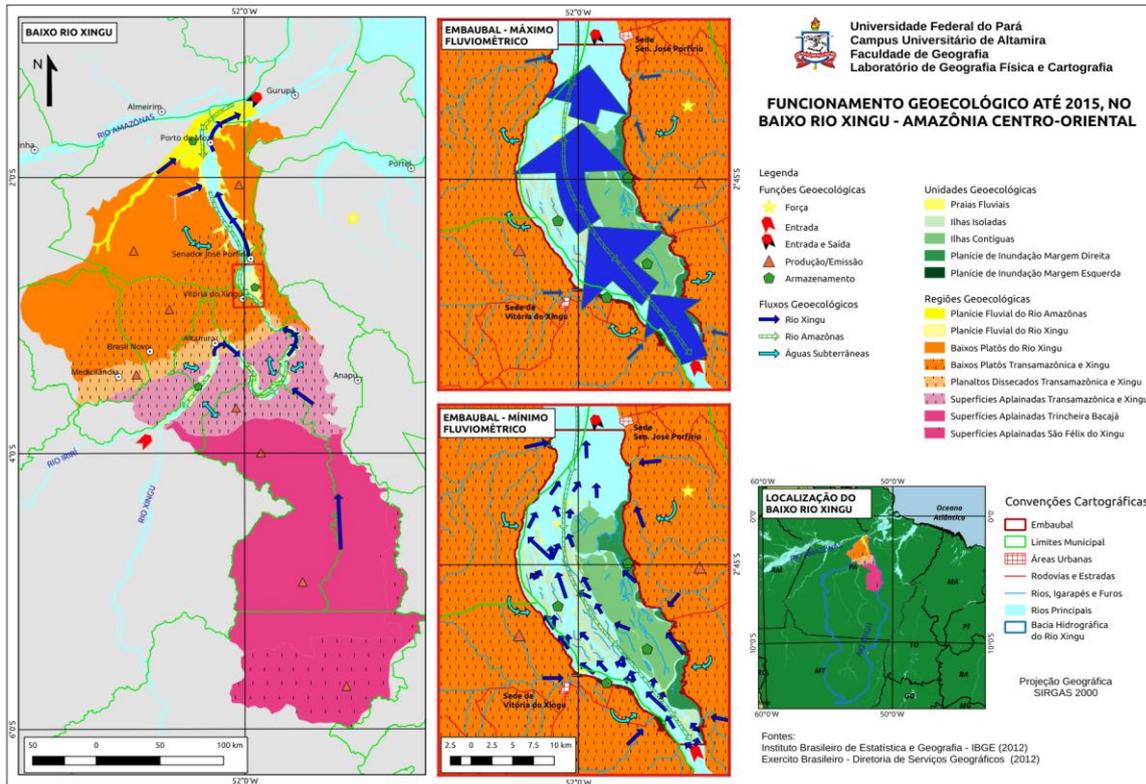


Figura 1. Funcionamento Geoecológico até 2015 do Baixo Rio Xingu - Amazônia Centro-Oriental

Quanto aos fluxos, são responsáveis pelo deslocamento de EMI no geossistema, as vias preferenciais de intercâmbio e transmissão de EMI e a sua distinção fundamental para o entendimento do funcionamento geoecológico da paisagem (Rodriguez et al., 2013). Antes da exploração hidroelétrica o Baixo Xingu poderia ser setorizado em três trechos, a saber: a montante da Volta Grande do Xingu; a Volta Grande do Xingu; e a Foz Afogada do Xingu.

O fluxo fluvial é diretamente influenciado por mudanças antropogênicas, meteorológicas e climáticas, regionais e globais. Na Amazônia, acréscimos da pluviometria provocados pelo fenômeno meteorológico La Niña aumentam o fluxo de EMI pelos canais fluviais; e de forma contrária, o El Niño diminui a pluviometria, reduzindo o fluxo fluvial.

Nos períodos de vazante, as paisagens fluviais amazônicas têm comportamentos distintos dos períodos de cheias. Entretanto, a mudança do funcionamento geoecológico se dá ao longo do ano, de forma gradual. De acordo com dados de De Paula e Silva (2019), na foz do Xingu é no mês de abril que geralmente se tem o nível máximo normal das águas e em dezembro o nível mínimo normal. Porém, para montante da Volta

Grande do Xingu, o máximo se dá em março e o mínimo em novembro.

Quando a cota fluviométrica do Rio Xingu encontra-se próxima do seu nível mínimo normal, as unidades de paisagens fluviais ficam totalmente emersas e, no nível máximo normal ou excepcional, ficam somente emersas áreas mais elevadas de algumas ilhas e das planícies de inundação.

No Embaubal, no período de cheias o fluxo fluvial ocorre em toda extensão da paisagem fluvial e interage com as unidades geoecológicas de diversas formas. As unidades de paisagem não vegetadas, a exemplo das Praias Fluviais, são mais susceptíveis de serem erodidas, quando comparadas às demais com vegetação já desenvolvida, que atenuam a velocidade do fluxo fluvial e possibilitam a deposição de siltes e argilas.

A foz do Rio Xingu, assim como outros afluentes do Rio Amazonas, tem o período de cheia por vezes ampliado, ou período de vazante reduzido por consequência de cheias acima da média no Rio Amazonas, pois suas águas criam um fluxo de energia que invade os canais fluviais, elevando a cota fluviométrica local. Os afluentes do trecho oriental do Rio Amazonas, ou seja, próximos à foz do Amazonas, também têm suas

cotas fluviométricas sob influência dos avanços e retrocessos diários das águas do Oceano Atlântico, aumentando e reduzindo a cota fluviométrica diariamente.

No período de vazante, as unidades geoecológicas emersas do Embaubal proporcionam mudanças no fluxo do rio, que não mais interage com a vegetação de várzea e torna-se ramificado, com capacidade de erosão, transporte e deposição de cada ramificação diferenciada. O canal com maior fluxo está entre as ilhas desagregadas e coincide grosso modo com a rota fluvial de transporte de cargas das médias e grandes embarcações, que fluem próximo da desembocadura do Rio Tucuruí, passam próximo da Ilha do Parnásio e entre as Ilhas do Piloto e do Piterucu (De Paula e Silva, 2019).

No entorno das Ilhas do Embaubal existem ramificações do canal principal que ao longo do processo evolutivo da paisagem tiveram seus fluxos EMI reduzidos, principalmente, no período de vazante, a exemplo do Rio Tamanduá, que passa em frente a comunidade Vila Nova, e também o Lago do Cajuí, que somente em períodos de cheia tem ligação com o fluxo fluvial do Xingu.

Quanto ao fluxo de águas subterrâneas, contribuem com o fluxo fluvial do canal principal do Rio Xingu em momentos de restrição de chuvas e, de acordo com De Paula et al. (2016), as características geológicas das regiões geoecológicas Superfícies Aplainadas Transamazônica e Xingu, Superfícies Aplainadas Trincheira do Bacajá e Superfícies Aplainadas São Félix do Xingu restringem a disponibilidade de águas subterrâneas, quando compara-se com as demais regiões geoecológicas presentes na sub-bacia do Baixo Rio Xingu.

#### *Funcionamento geoecológico com a exploração hidroelétrica do Rio Xingu*

As mudanças antropogênicas podem tanto aumentar ou diminuir a quantidade de EMI. Para o contexto da sub-bacia do Baixo Rio Xingu, o desflorestamento, a mineração de areia e, principalmente, as barragens da Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte modificam o equilíbrio dos fluxos de EMI e, conseqüentemente, a dinâmica da evolução geoecológica. As mudanças por consequência do desflorestamento das Florestas Ombrófilas são a diminuição da infiltração da chuva, o aumento do escoamento superficial, a lixiviação dos solos e a ampliação da carga de sedimentos dos rios e

igarapés. Já a mineração de areia para construção civil retira sedimentos que seriam transportados até a foz do Xingu, comprometendo a formação de antepraias e dunas submersas e a manutenção das praias fluviais.

Em 2011 iniciou-se o processo de instalação da UHE Belo Monte e em 2016 teve-se o início de sua operação. Mesmo a operação realizada sendo a fio d'água<sup>2</sup>, promoverá o rompimento do equilíbrio do rio, devido à magnitude da intervenção do corredor fluvial (Cunha, 1995; 2008; Coelho et al., 2014).

A UHE Belo Monte modificou o fluxo de EMI do Rio Xingu. Os desdobramentos provocados com as mudanças no fluxo fluvial serão percebidos primeiramente na biota (Petts, 1987; Brandt, 2000) e não devem ser percebidas no meio físico antes de 5 anos após o represamento (Buma e Day, 1977).

Em concordância com Christofolletti (1980), Cunha (1995; 2008), Brandt (2000), Coelho (2008) e Christopherson (2012), caracterizou-se o funcionamento geoecológico do Rio Xingu com a exploração hidroelétrica da UHE Belo Monte, em síntese apresentada no Figura 2, para os trechos “a montante do reservatório” (A); e do “reservatório” (B) da UHE Belo Monte; para o trecho da “Volta Grande do Xingu” (C); e para o trecho “a jusante de Belo Monte” (D).

Em acordo com as proposições de Cunha (1995; 2008), a redução da velocidade das águas a montante do reservatório da UHE Belo Monte permitirá a deposição de sedimentos que irão assorear a desembocadura do Rio Irirí e do Rio Xingu e constituirá novas áreas de inundação. Já no reservatório, com o armazenamento de água e, conseqüente, mudança da cota fluviométrica, inundou permanentemente parte da planície fluvial do Rio Xingu e afluentes, incluindo ilhas e praias; acontece deposição de sedimentos que irá assorear o reservatório, reduzindo sua vida útil; modifica as taxas de infiltração ampliando a disponibilidade de água subterrânea; e provoca mudanças na temperatura das águas.

Foram construídos dois barramentos para UHE Belo Monte: Pimental e Belo Monte, que proporcionam diversas respostas de fluxos de água e sedimento a jusante dos barramentos. A relação entre a capacidade de transporte e a carga de sedimentos liberada do reservatório, em conjunto com a relação entre erosividade do

<sup>2</sup> Quando a energia é produzida aproveitando a descarga natural de água do rio.

escoamento e erodibilidade das margens do rio, deve determinar mudanças que a longo prazo

produzirá um novo estado de equilíbrio fluvial (Brandt, 2000; Cunha; 2008).

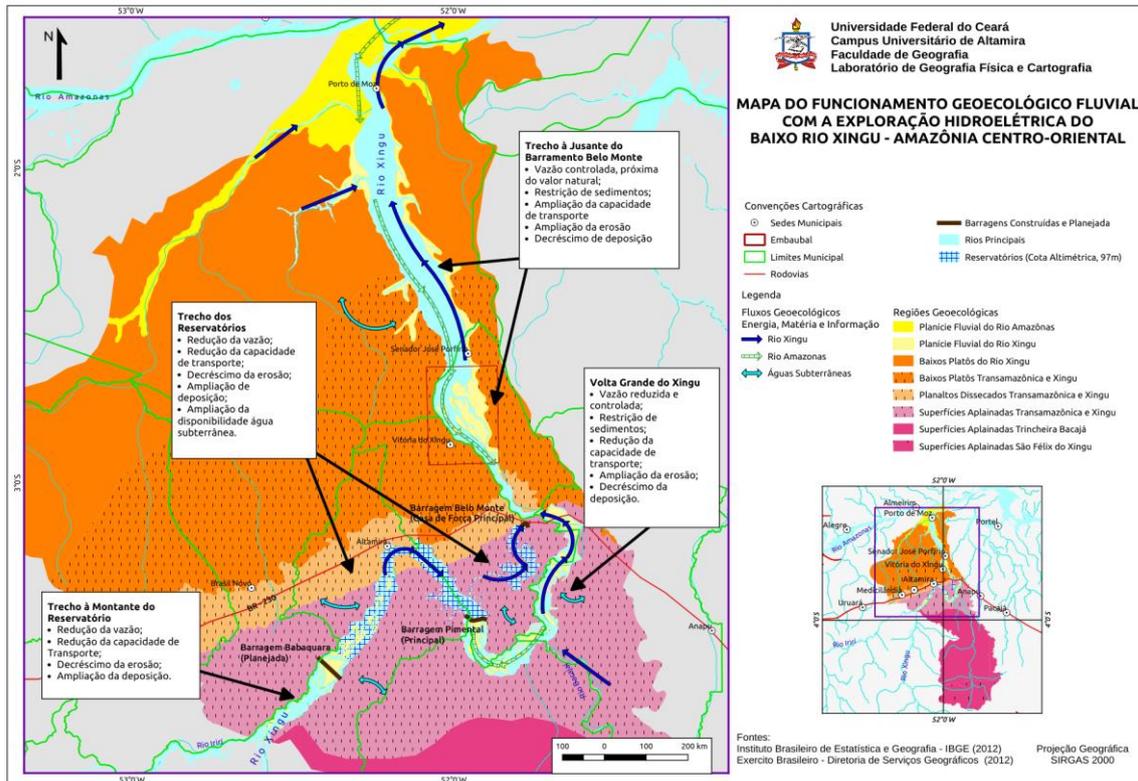


Figura 2. Mapa do Funcionamento do Fluxo Fluvial com Exploração Hidroelétrica do Rio Xingu - Amazônia Centro-Oriental

Todos os barramentos afetam as descargas naturais de água de alguma forma, ou seja, há redução de fluxo para a maioria dos barramentos fluviais com consequente redução da potência de fluxo e da capacidade de transporte de sedimentos, resultado do armazenamento e da evaporação da água (Higgs e Petts, 1988; Brandt, 2000). A jusante do barramento Belo Monte e a jusante do barramento Pimental o fluxo fluvial tem restrição de sedimentos, pois entre 90 e 99% dos sedimentos serão capturados pelos barramentos construídos (Grimshaw e Lewin, 1980; Cunha, 2008; Williams e Wolman, 1984).

Com a restrição de sedimentos a jusante dos barramentos da UHE Belo Monte, tem-se o início da erosão da calha fluvial para se restabelecer o equilíbrio com a capacidade de transporte. E, de acordo com Cunha (2008), a erosão avança alguns quilômetros por ano. O Embaubal está a 25 km da UHE de Belo Monte e o predomínio de processo deposicional deve ser revertido para predomínio de processos erosivos (Alvarez, 1986; Cunha, 2008), que ampliarão a vulnerabilidade ambiental

e comprometerão o processo evolutivo e de funcionamento do Embaubal.

A construção do barramento Pimental repartiu a vazão da água do Rio Xingu e inibiu o fluxo normal de sedimentos, modificando a relação entre a capacidade de transporte e de erosividade do escoamento na Volta Grande do Xingu. Assim, a água que flui por ela não tem a mesma disponibilidade de sedimentos para transportar, o que implicará na ampliação da erosão lateral e vertical desse trecho do rio, modificando a planície fluvial.

A vazão não é, e não pode ser, entendida como igual ao longo do rio (Christopherson, 2012). Isso também pode ser observado na comparação das medições de vazão realizadas na estação fluviométrica UHE Belo Monte Mangueiras, localizada logo após o barramento Pimental, e da estação Ilha da Fazenda, cerca de 15km desse barramento (Figura 3), pois há diferença de forma do canal fluvial nos trechos mensurados e pela ampliação da velocidade da água por conta da pressão exercida pela massa

d'água do reservatório sobre o barramento Pimental.

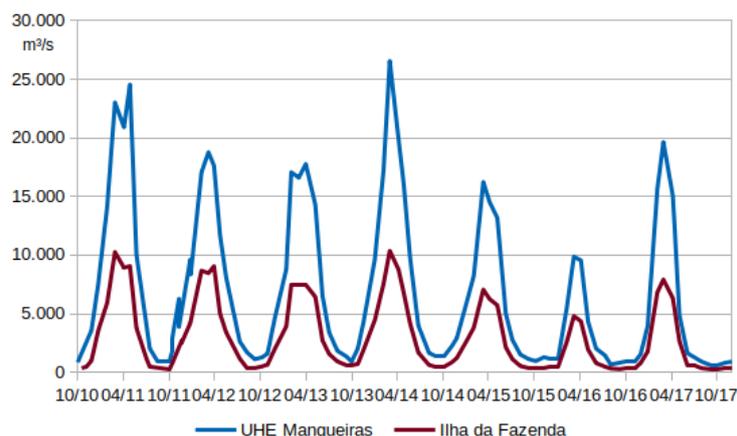


Figura 3. Gráfico com medições de Vazão da Estações UHEBM Mangueiras e Ilha da Fazenda entre outubro de 2010 e dezembro de 2017. Fonte: Norte Energia (2018).

Os dados da estação UHE Belo Monte Mangueiras (Figura 4) também demonstram que a vazão é irregular durante o dia, aumentando e diminuindo seu valor, diferentemente da vazão natural que aumenta progressivamente até o

máximo normal do período, para depois começar o processo de redução, provocando impactos na rotina de vida da fauna, dos ribeirinhos e indígenas.

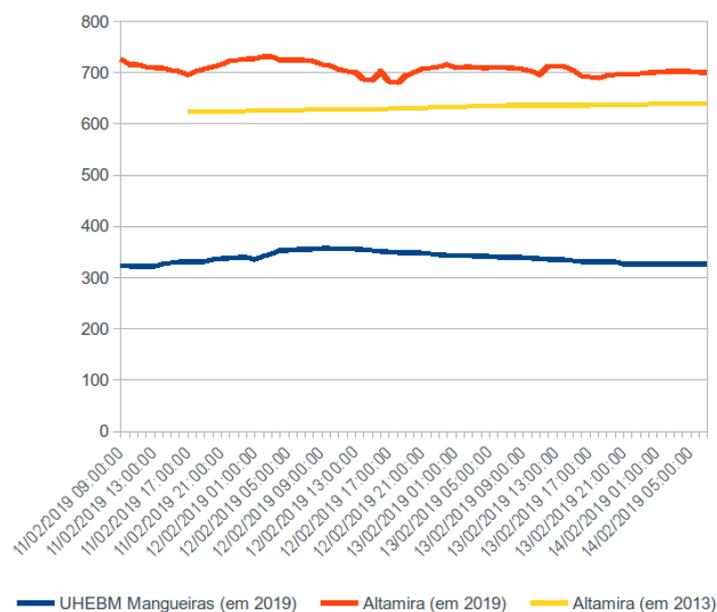


Figura 4. Gráfico com medições da Cota Fluviométrica em 72h das Estações UHEBM Mangueiras no mês de fevereiro de 2019 e Altamira no mês de fevereiro de 2013 e 2019. Fonte: ANA (2019).

Com o término da construção da UHE Belo Monte, previsto para 2019, serão implementadas duas rotinas de vazões mínima para VGX (Figura 5), com objetivo de garantir a continuação da navegação e do modo de vida dos ribeirinhos e indígenas (Brasil, 2009), denominadas de Hidrograma de Consenso A e B. A quantidade de

água que flui pela Volta Grande do Xingu ainda é maior do que o proposto pelos “Hidrogramas de Consenso”. Mesmo assim, esta não permite que os igapós sejam inundados e não consegue transpor adequadamente o conjunto de cachoeiras do Jericoá, restringindo a dispersão de espécies que sobem e descem o rio, comprometendo a sua

alimentação e reprodução e, conseqüentemente, modificando o modo de vida das comunidades

ribeirinhas e indígenas.

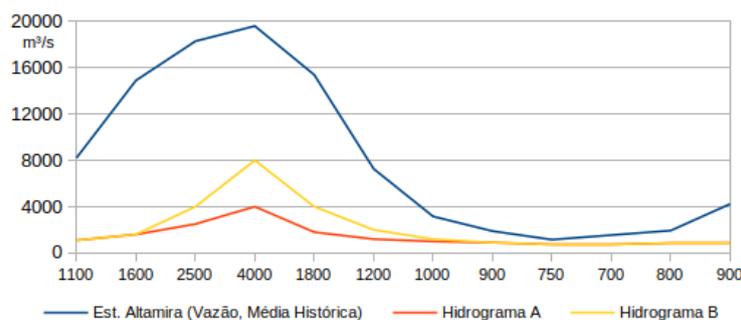


Figura 5. Gráfico com medições da Vazão Média da Estação Altamira da ANA e o Hidrograma de Consenso A e B para Volta Grande do Xingu. Fonte: Brasil (2009; 2019).

A redução da quantidade de água que passa na Volta Grande do Xingu impacta na navegação, obrigando os ribeirinhos e indígenas (por vezes) realizar trajetos maiores, pois as embarcações não conseguem mais passar por determinados locais. O Rio Bacajá, que deságua na VGX, por não ser mais influenciado pela subida das águas do Rio Xingu, teve sua velocidade aumentada no período de chuva (Jan-Mar), o que tornou impraticável a navegação por propulsão humana, conforme relatado por morador da TI Arara.

Em consonância com a pesquisa de Fearnside (2015) e do planejamento de hidrelétricas para a Amazônia apontado por Becker (1990), existe a possibilidade de construção da UHE Altamira (Babaquara) a montante do reservatório da UHE Belo Monte, pela necessidade de regularização da vazão, e conseqüente potencialização da produção de energia durante o ano pela UHE Belo Monte, minimizando a dependência da vazão fluvial natural. Entretanto, os efeitos individuais de uma barragem são pequenos quando comparados a efeitos de barragens em cadeia (Thoms e Walker, 1993; Brandt, 2000). Em acordo com Cunha (1993; 2008), Brandt (2000) e Coelho (2008), os impactos no funcionamento provocados pela UHE Belo Monte serão intensificados com a construção de uma barragem a montante do reservatório, fato que impediria a inundação sazonal das ilhas fluviais e das planícies de inundação comprometendo a evolução dos meios bióticos e abióticos.

## Conclusões

Nos principais afluentes do Rio Amazonas não há sincronismo pleno na elevação e rebaixamento sazonal das cotas fluviométricas no baixo curso, principalmente próximo à foz, em relação aos médios e altos cursos dos rios, tendo

em vista que o nível da água do trecho final do rio também está sob influência dos regimes de cheias e vazantes do Rio Amazonas, dado que o prolongamento ou antecipação das cheias no Amazonas pode aumentar ou diminuir as cotas fluviométricas dos seus afluentes, antecipando ou perdurando cheias nos baixos cursos. Acrescenta-se ainda que os rios afluentes próximos à foz do Amazonas, até a cidade de Almeirim-Pará, têm suas cotas fluviométricas também sob o regime dos avanços e retrocessos diários do oceano atlântico.

Considerando a proposição de Forman e Gordon (1986) e Casimiro (2009) para corredor e matriz da paisagem, nas paisagens fluviais, a água do rio – os igarapés, paranás, furos, lagos intermitentes, etc. – atua como corredores na paisagem, à medida que distribuem e coletam energia, matéria e informação entre as unidades de paisagem e entre paisagens adjacentes, exercendo controle sobre o seu funcionamento e evolução.

Paisagens de gênese fluvial têm o funcionamento geocológico em primeiro nível dependente da quantidade de energia (vazão da água, capacidade de transporte) e matéria (areias, siltes, argilas, húmus), proporcionado pelo fluxo fluvial que, por sua vez, está diretamente influenciado por mudanças antropogênicas, meteorológicas e climáticas, regionais e globais. Assim, em período de chuvas acima da média, ocorre excedentes de energia e matéria e é nesse momento funcional que as paisagens podem iniciar um novo momento evolutivo. Algumas unidades de paisagens fluviais serão erodidas e outras receberão sedimentos. E a intensidade desses processos formadores do relevo depende do momento evolutivo específico da unidade de paisagem.

O desflorestamento, a mineração e a pecuária são exemplos de intervenções da sociedade na natureza que proporcionam o aumento ou a redução da disponibilidade de energia e matéria do fluxo fluvial. Entretanto, os barramentos do rio para exploração hidroelétrica têm a maior capacidade de desequilibrar o fluxo fluvial, provocando mudanças substanciais no funcionamento das paisagens fluviais, a jusante e a montante dos barramentos, e mesmo se a vazão for próxima à natural, os efeitos negativos das obras de engenharia serão percebidos, primeiramente, na biota e em seguida no meio físico.

A restrição de sedimentos a jusante dos barramentos dá início à erosão da calha fluvial, buscando restabelecer a capacidade de transporte do rio. A erosão avançará horizontalmente e verticalmente até ocorrer um novo equilíbrio entre capacidade de transporte, erosão e deposição. Trechos do rio que possuem predomínio de processo deposicional podem ser revertidos e passar a ter predomínio de processos erosivos, desestabilizando a paisagem, conseqüentemente, ampliando a vulnerabilidade ambiental e comprometendo o processo evolutivo das paisagens fluviais.

Os Hidrogramas de Consenso propostos para Volta Grande do Xingu devem ser baseados na inundação dos igapós, mesmo que ela se dê de forma parcial, pois somente com a inundação desses ambientes pode-se garantir a vida da fauna e conseqüentemente o modo de vida das populações que dependem desse trecho do rio. A inundação não deve ser súbita e nem durar pouco tempo, as águas devem aumentar paulatinamente até o igapó ser inundado, permanecer inundado e em seguida diminuir gradualmente até valores próximos do mínimo histórico para o trecho.

A construção de barramentos para armazenamento de água a montante das UHE, operadas a fio d'água para inibir sua dependência da vazão natural, ampliará os impactos negativos no funcionamento da paisagem fluvial, pois a regularização da vazão e conseqüente estabilização da cota fluviométrica impedirá a inundação ou emersão sazonal das paisagens fluviais a jusante dos barramentos, o que compromete os meios biótico e abiótico e o cotidiano dos ribeirinhos e indígenas.

## Agradecimentos

Agradeço às Universidades Federais do Pará e do Ceará, ao Ministério Público Federal, ao Instituto Socioambiental e ao Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará, o apoio científico e logístico na construção da pesquisa.

## Referências

- Alvarez, J.A.M., 1986. Assoreamento de reservatórios e erosão do leito a jusante de barragens. XII Congresso Latino-Americano de Hidráulica, São Paulo.
- Becker, B.K., 1990. Amazônia. São Paulo: Editora Ática.
- Brandt, S.A., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 1, 40, 375-401. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/catena](http://www.elsevier.com/locate/catena)>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- Brasil, 2007. Portaria nº 9, de 23 de janeiro de 2007. Áreas Prioritárias Para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Áreas Prioritárias para a Biodiversidade.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, 2009. Gerência de Regulação de Uso. Nota Técnica nº 129/2009/GEREG/SOF-ANA.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, 2019. Séries Históricas de Estações. Disponível em: [www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf). Acesso em: 02 de 2019.
- Buma, P.G., Day, J.C., 1977. Channel morphology below reservoir storage projects. *Environmental Conservation*, 4, 4, 279-284.
- Casimiro, P.C., 2009. Estrutura, composição e configuração da paisagem conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 1, 20, 75-99.
- Christofolletti, A., 1980. *Geomorfologia*. São Paulo: Editora Blucher.
- Christofolletti, A., 1999. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Editora Blucher.
- Christopherson, R.W., 2012. *Geossistemas: Uma introdução à geografia física*. Porto Alegre: Bookman. 728 p.

- Coelho, A.L.N., 2008. Geomorfologia Fluvial de Rios impactados por barragens. *Caminhos de Geografia*, 9, 26, 16-32.
- Coelho, A.L.N., Cunha, S.B., Souza, C.A., 2014. Efeitos na Morfologia Fluvial Provocados pelo Barramento da UHE Santo Antônio no Rio Madeira. *Revista Geonorte*, Edição Especial 4, 18-24.
- Cunha, S.B., 1995. 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, 378 p.
- Cunha, S.B., 2008. Geomorfologia Fluvial. In: Guerra, A.J.T., Cunha, S.B. (org.), 2008. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 20 ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 211-252.
- De Paula, E.M.S. et al., 2014. Percepção Ambiental e Dinâmica Geoecológica: Premissas para o Planejamento e Gestão Ambiental. *Sociedade & Natureza* 26, 511-518.
- De Paula, E.M.S. et al., 2016. Compartimentação Geoecológica da Sub-Bacia do Baixo Rio Xingu - Amazônia Centro-Oriental, Brasil. *Revista Equador* 5, 128-150.
- De Paula, E.M.S., Silva, E.V., 2019. Estrutura e Fragmentação Geoecológica de Paisagem Fluvial no Baixo Rio Xingu - Amazônia Centro-Oriental. *Geonordeste* 1, 122-142.
- Diakonov, K.N., 1988. *Geofísica das paisagens: método dos balances*. Moscou: Editora da Universidade Estadual de Moscou.
- Fearnside, P.M., 2015. Hidrelétricas na Amazônia: Impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus: Inpa, 296 p.
- Forman, R.T., Godron, M., 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley, Nova Iorque, 619 p.
- Grimshaw, D.L., Lewin, J., 1980. Reservoir effects on sediment yield. *Journal of Hydrology* 47, 163-171.
- Higgs, G., Petts, G., 1988. Hydrological changes and river regulation in the UK. *Regulated Rivers: Res. Manage* 1, 349-369.
- Müller, A.C., 1995. *Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo, Makron Books.
- Nobre, C.A., Sampaio, G., Salazar, L., 2007. Mudanças Climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura* 59, 22-27, Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a12v59n3.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2015.
- Norte Energia, 2017. 11º Relatório final consolidado de andamento do PBA e do atendimento de condicionantes. Brasília.
- Petts, G.E., 1987. Time-scales for ecological change in regulated rivers. In: Craig, J.F., Kemper, J.B. Ž Eds, 1987. *Regulated Streams. Advances in Ecology*. New York: Plenum, 257-266.
- Rodriguez, J.M.M., 2000. *Geografia de los paisajes: Paisajes Naturales*. La Habana, 62 p.
- Rodriguez, J.M.M., Silva, E.V., 2013. *Planejamento e Gestão Ambiental: subsídios da geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica*. Fortaleza: Edições UFC.
- Rodriguez, J.M.M., Silva, E.V., Cavalcanti, A.P.B., 2013. *Geoecologia das Paisagens: Uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Edições UFC, 222p.
- Rodrigues, R.A., 2013. *Vidas Despedaçadas Impactos Socioambientais da Construção da Usina Hidrelétrica de Balbina (AM), Amazônia Central*. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Sociedade e Cultura da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/relem/article/view/550/pdf>>. Acesso em: 2 set. 2015.
- Silva, E.V., Rodriguez, J.M.M., 2011. *Geoecologia da paisagem: zoneamento e gestão ambiental em ambientes úmidos e subúmidos*. *Revista Geográfica de América Central* 2, 47E, 1-12.
- Sotchava, V.B., 1977. O estudo dos geossistemas. *Método em Questão - IGEOG-USP*, 16.
- Souza, M.J.N. de, 2000. *Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*. Fortaleza: FUNECE.
- Souza, W.L. de, 2000. *Impacto Ambiental de Hidrelétricas: uma Análise Comparativa de Duas Abordagens*. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/wle\\_mgruber.pdf](http://ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/wle_mgruber.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2015.
- Thoms, M.C., Walker, K.F., 1993. Channel changes associated with two adjacent weirs

on a regulated lowland alluvial river.  
Regulated rivers: Res. Manage, 8, 271-284.  
Tricart, J., 1997. Ecodinâmica. Rio de Janeiro:  
IBGE.  
Vidal, M.R. et al., 2014. Análise de modelos  
funcionais em paisagens litorâneas. Revista

do Instituto Histórico e Geográfico do Pará,  
1, 103-116.

Williams, G.P., Wolman, M.G., 1984.  
Downstream effects of dams on alluvial  
rivers. Geological Survey, Professional  
Paper 1286 U.S. Government Printing  
Office, Washington, DC, 83 p.

Z

v

o

n

c

o

v

a

,

T

.

V

.

,

1

9

9

5

.

F

u

n

d

a

m

e

n

t

o

s

g

e

o

g

r

á

f

i

c

o

s

d

o