

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO RIO TOCANTINS NO
MUNICÍPIO DE BAIÃO (PARÁ) APÓS A CONSTRUÇÃO DA
BARRAGEM DA USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ**

**MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE TOCANTINS RIVER IN THE
MUNICIPALITY OF BAIÃO (PARÁ) AFTER THE CONSTRUCTION OF THE
TUCURUÍ HYDROELECTRIC POWER PLANT**

**ANALISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO TOCANTINS EN EL MUNICIPIO
DE BAIÃO (PARÁ) DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE TUCURUÍ**

Paulo Eduardo Silva Bezerra

Graduando em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis pela Universidade Federal Rural da
Amazônia – UFRA.
pauloeduardoea@gmail.com

Ádanna de Souza Andrade

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do
Pará – UEPA.
adanna.eng.ambiental@gmail.com

Milena Marília Nogueira de Andrade

Doutora em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental pela Universidade Federal do Pará –
PPGDSTU/UFPA. Docente da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.
milenamaria.andrade@gmail.com

Recebido para avaliação em 30/06/2017; Aceito para publicação em 07/11/2017.

RESUMO

Nas últimas décadas, grandes projetos hidroelétricos foram implantados na Amazônia, ocasionando diversos impactos ambientais. No estado do Pará, a construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí conferiu modificações físicas no rio Tocantins. Em vista disso, este trabalho teve como principal objetivo analisar as modificações fluviiais ocorridas no rio Tocantins, no município de Baião, que fica localizado a jusante UHE de Tucuruí no estado do Pará. Utilizou-se como fonte dados as imagens de satélite Landsat referentes ao ano de 1984 e 1999. Além disso, a análise espacial da dinâmica fluvial partiu da vetorização das margens do canal e das ilhas fluviiais em formato de polígono, dos respectivos anos, para análise e quantificação das áreas erodidas e depositadas. Os resultados mostraram uma variação de 4.609.803,07 m² na área do canal fluvial para o período estudado. Essa variação corresponde a um alargamento do canal nos trechos em que houve erosão lateral. As áreas das margens e das ilhas fluviiais onde houveram processos erosivos totalizam em 23.110.956 m² enquanto que as áreas de deposição ocorrem predominantemente nas ilhas fluviiais e totalizam em uma área de 18.500.761 m². Concluiu-se que houve um aumento dos processos erosivos no trecho do rio Tocantins compreendido nos limites territoriais do município de Baião no período de 15 anos após a construção da UHE de Tucuruí.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial; Erosão; Deposição; Análise Multitemporal; Barragem Hidroelétrica.

ABSTRACT

In recent decades, large dam's hydroelectric projects were implemented in the Amazon and causing significant environmental impacts. In the state of Pará, the construction of the Tucuruí Hydroelectric Power Plant (HPP) occasioned modifications in physical environment. The aim of this work was to analyze the river modifications in the Tocantins river in the municipality of Baião, which is located downstream of Tucuruí Hydroelectric Power Plant in the state of Pará. It was used remote sensing techniques using Landsat satellite images for the years 1984 and 1999. In addition, the spatial analysis of the river dynamics was based on the vectorization of the river banks and river islands in polygon format, from the respective years, for analysis and quantification of the eroded and deposited areas in the study area. The results showed that the fluvial dynamics presented a variation of 4.609.803,07 m² in the river channel area for the studied period. This variation corresponds to a widening of the canal in the sections where there was lateral erosion. The areas of the banks and river islands where there were erosive processes totaled 23,110,956 m² while the areas of deposition occur in the fluvial islands, totaling in an area of 18,500,761 m². It concludes that there was an increase in the erosion processes in the stretch of the Tocantins river in the city of Baião in the period of 15 years after the construction of the HPP of Tucuruí.

Keywords: Fluvial Geomorphology; Erosion; Deposition; Multitemporal Analysis; Hydroelectric Dam.

RESUMEN

En las últimas décadas, grandes proyectos hidroeléctricos fueron implantados en la Amazonia, ocasionando diversos impactos ambientales. En el estado de Pará, la construcción de la Usina Hidroeléctrica (UHE) de Tucuruí confería modificaciones físicas en el río Tocantins. En vista de eso, este trabajo tuvo como principal objetivo analizar las modificaciones fluviales ocurridas en el río Tocantins, en el municipio de Baião, que se encuentra localizado aguas abajo UHE de Tucuruí en el estado de Pará. Se utilizó como fuente datos las imágenes de satélite Landsat referentes a los años 1984 y 1999. Además, el análisis espacial de la dinámica fluvial partió de la vectorización de los márgenes del canal y de las islas fluviales en formato de polígono, de los respectivos años, para análisis y cuantificación de las áreas erosionadas y depositadas. Los resultados mostraron una variación de 4.609.803,07 m² en el área del canal fluvial para el período estudiado. Esta variación corresponde a una ampliación del canal en los locales en que hubo erosión lateral. Las áreas de los márgenes y de las islas fluviales donde hubo procesos erosivos totalizan en 23.110.956 m² mientras que las áreas de deposición ocurren predominantemente en las islas fluviales y totalizan en un área de 18.500.761 m². Se concluyó que hubo un aumento de los procesos erosivos en el tramo del río Tocantins comprendido en los límites territoriales del municipio de Baião en el período de 15 años después de la construcción de la UHE de Tucuruí.

Palabras clave: Geomorfología Fluvial; Erosión; Deposición; Análisis Multitemporal; Presa Hidroeléctrica.

INTRODUÇÃO

A Amazônia possui a maior bacia hidrográfica do mundo com uma vasta biodiversidade e um potencial de uso hídrico para instalação de hidrelétricas. No estado do Pará duas regiões hidrográficas estão presentes, a Amazônica e a Tocantins-Araguaia (ANA, 2016). Nesta última, ao longo do Rio Tocantins, está localizada a Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE) em funcionamento desde 1984 (PINTO, 2012). É considerada a quarta maior usina do mundo em funcionamento.

Com o barramento do rio houve a formação de um extenso lago artificial que inundou uma área de 2.830 km² (ELETRONORTE, 1989). Essa modificação fragmentou ecossistemas naturais e levou a transformações nos sistemas sócio-ecológicos a montante e jusante da barragem (SANTANA et al., 2014; REIS e SOUZA, 2015; PINTO, 2012). A área inundada pela hidrelétrica levou à perda da floresta, que incluiu as matas ciliares, de relevante importância ecológica e preservação prevista em lei (MMA, 2006). Os deslocamentos das populações situadas nas áreas do atual lago provocaram o desmatamento em outras áreas (FEARNSIDE, 2001). De acordo com Medeiros, Simões e Amorim (2013), a população do município de Baião está entre as que mais foram impactadas pela UHE de Tucuruí.

Além disso, os ecossistemas aquáticos foram alterados com a modificação de um ambiente lótico para lântico, o que dificultou a sobrevivência de muitas espécies da ictiofauna, além do impedimento do acesso dos peixes aos antigos locais de desova, que ocorria principalmente a jusante da barragem (COSTA, 2004). A diminuição da qualidade da água afetou diretamente as populações que vivem da atividade pesqueira (FLEXA; SILVA; CINTRA, 2016). Essa modificação físico-química foi causada pela decomposição da vegetação na represa a partir de restos de florestas não suprimidos e de macrófitas que se proliferaram na superfície (SANTANA et al., 2014; FEARNESIDE, 2001).

As modificações na geomorfologia e no aporte sedimentar também são frequentes à jusante de barragens hidroelétricas (BRANDT, 2000). No rio Tocantins, durante e após o funcionamento da UHE Tucuruí as comunidades ao longo do leito do Rio Tocantins relataram modificações na vazão, na morfologia fluvial, e na dinâmica dos processos erosivos (JUNK; MELLO, 1990). O objetivo desse trabalho é analisar as modificações fluviais ocorridas no rio Tocantins, no trecho situado no município de Baião, após a construção da UHE de Tucuruí no estado do Pará.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo abrange o Rio Tocantins inserido na delimitação político-administrativa do município de Baião, localizado a jusante da UHE de Tucuruí no estado do Pará. Baião localiza-se na mesorregião do nordeste paraense e na microrregião de Cametá (Figura 1). Esse município apresenta uma população de 36.882 habitantes,

| Paulo Eduardo Silva Bezerra | Adanna de Souza Andrade | Milena Marília Nogueira de Andrade |

densidade demográfica de 9,81 habitantes/km² (IBGE, 2010) e um baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,578, o que o coloca na posição 76º em relação a todo o estado.

O clima desse município é do tipo Af (tropical húmido), de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por apresentar precipitação média do mês mais seco igual ou superior a 60 mm (MARTORANO et al., 2008). As unidades de relevo da área de estudo são caracterizadas predominantemente por tabuleiros, baixos platôs e planícies fluviais e flúvio-lacustres (CPRM, 2013).

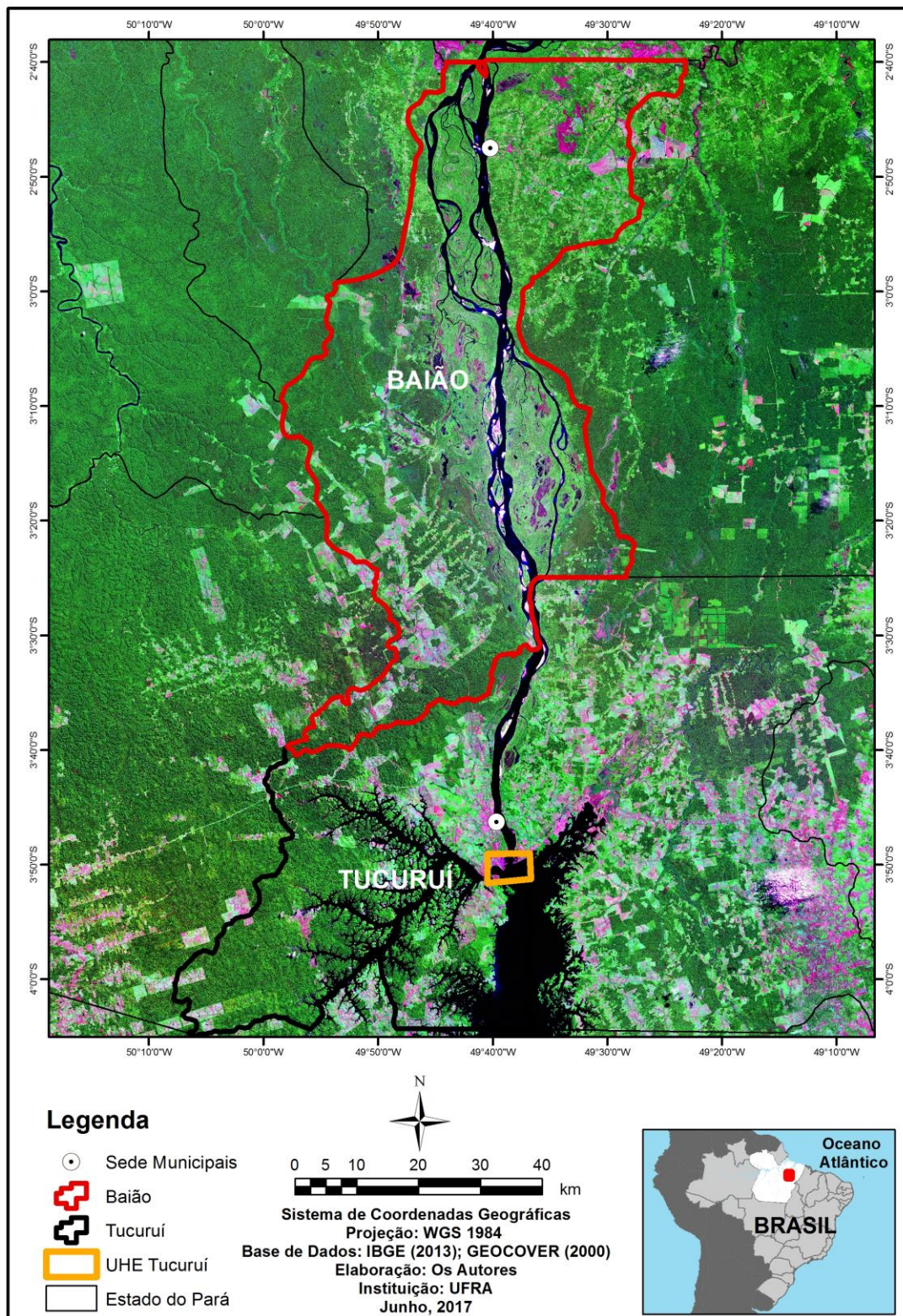


Figura 1 – Mapa de localização do Rio Tocantins no município de Baião.
Fonte: IBGE; GEOCOVER (2017). Elaboração: Autores, 2017.

A metodologia inclui técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Para a análise multitemporal foram adquiridas imagens do satélite Landsat disponíveis no

domínio digital do Serviço Geológico Americano (United States Geological Survey – USGS) dos anos de 1984 e 1999. As imagens do ano de 1984 foram geradas pelo sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat 4 e 5 e disponibilizadas em formato de mosaico com resolução espacial de 28,5 metros. Foi utilizada a composição 7R4G2B. As imagens do ano de 1999 são denominadas de Geocover, e, segundo Gomes et al. (2011), fazem parte de um projeto de mapeamento desenvolvido pela NASA para realizar um mosaico pré-fixado a partir das imagens do satélite Landsat 7. Estas imagens utilizam o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), possuem resolução espacial de 14,25 metros e estão na composição 7R4G2B. O sensor ETM+ possui como característica a banda pancromática o que possibilita a geração de imagens com melhor resolução através da técnica de fusão das imagens de satélite (Quadro 1).

As imagens já são disponibilizadas ortorretificadas. E, para melhor eficiência na visualização foi aplicado um aumento do contraste linear e realce. As datas do imageamento são dos meses de julho e agosto para os anos de 1984 e 1999, respectivamente, a fim de minimizar uma possível interferência da variação do nível das águas nas análises. Pois, esses meses correspondem ao período com baixos níveis de cota fluvial do Rio Tocantins de acordo com os dados da série histórica da estação fluviométrica de Baião (1971-1991) (ANDRADE et al., 2017).

Quadro 1 – Características das imagens utilizadas na pesquisa

Imagens	Plataforma	Sensor	Data de Aquisição	Resolução Espacial (m)	Projeção
Mosaico	Landsat 4 e 5	TM	11/07/1984	28,5	UTM WGS 84 22S
Geocover	Landsat 7	ETM+	19/08/1999	14,25	UTM WGS 84 22S

Fonte: USGS (2017).

A identificação e análise quantitativa das áreas que sofreram processo de erosão ou de sedimentação foi feita através de técnicas de interpretação visual das imagens de satélites. As modificações fluviais das margens do leito do rio e dos bancos arenosos no meio do canal foram delimitadas a partir das informações das assinaturas espectrais da imagem pela análise visual de forma, textura, cor dos alvos (JENSEN, 1996). O início da interpretação utilizou o arquivo base digital de drenagem da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Logo após, foi criado um plano de informação para cada ano analisado

| Paulo Eduardo Silva Bezerra | Ádanna de Souza Andrade | Milena Marília Nogueira de Andrade |

em formato shapefile. Foram extraídos os limites do Rio Tocantins para os diferentes anos com a delimitação de polígonos.

A comparação entre os limites com base na data de aquisição mais antiga com relação às datas mais recentes foi feita com geoprocessamento através da ferramenta Erase. Esse método usa a diferença da superposição das drenagens do ano de 1984 e do ano 1999, e assim identificando as áreas de erosão e deposição. Os mapas finais estão na escala de 1:600.000 e foram confeccionados utilizando o software ArcGis 10.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação das áreas do canal fluvial no rio Tocantins mostra uma variação de 4.609.803,07 m² (Tabela 1). Segundo Coelho (2008), essa diferença está relacionada à modificação fluvial por conta dos processos de erosão e deposição. Fatores como a vazão, turbulência, profundidade de leitos de rios, a remoção da vegetação, e a variação de disponibilidade de materiais em suspensão por conta de uma barragem podem favorecer a erosão no decorrer do tempo (BRANDT, 2000).

Tabela 1 – Variação da área do rio Tocantins no município de Baião

Rio	Área (m ²)		Variação (m ²)
	1984	1999	
Tocantins	276.423.100,96	281.032.904,03	4.609.803,07

Fonte: Autores (2017).

Os processos erosivos no rio Tocantins foram de aproximadamente 23.110.956 m² o que apresenta uma média anual de 1.540.3708 m²/ano. Enquanto que os processos de deposição obtiveram uma área de 18.500.761 m² e uma média anual de 1.233.384 m²/ano, mostrando uma predominância dos processos erosivos em relação aos processos deposicionais para o período estudado (Figura 2).

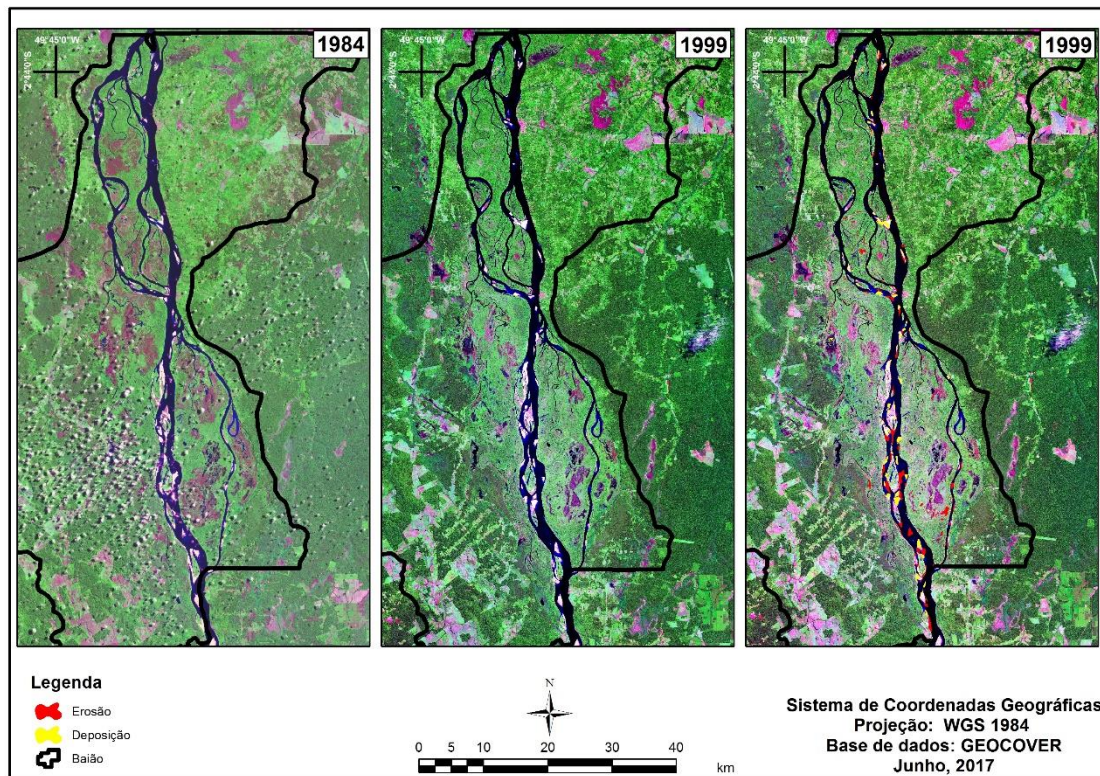


Figura 2 – Análise das áreas de erosão e deposição no Rio Tocantins no trecho estudado
Fonte: GEOCOVER (2017).

No ano de 1999 houve um aumento nas barras arenosas na proximidade de ilhas fluviais como aumento da deposição de sedimentos (Figura 3a). Isso pode ser explicado, pois com o alargamento do canal há uma diminuição da velocidade do fluxo do rio fazendo com que aumente a deposição do material em suspensão, formando assim bancos de areia que podem desaparecer com o tempo ou até mesmo formar novas ilhas (PASSOS; SOARES; SALAZAR, 2013).

Nos trechos do Rio Tocantins com predominância de erosão as barras fluviais são parcialmente erodidas (Figura 3b). A erosão lateral nas margens do canal atingiu em alguns trechos uma extensão linear de aproximadamente 2,5km. A erosão fluvial também é mencionada como na região como fenômeno de Terras Caídas. Este termo corresponde a um processo natural decorrente da dinâmica fluvial e que envolve o processo de erosão fluvial presentes nos rios amazônicos e geram impactos para os moradores que residem nas faixas marginais desses rios (MATOS & NOGUEIRA, 2014).

| Paulo Eduardo Silva Bezerra | Ádanna de Souza Andrade | Milena Marília Nogueira de Andrade |

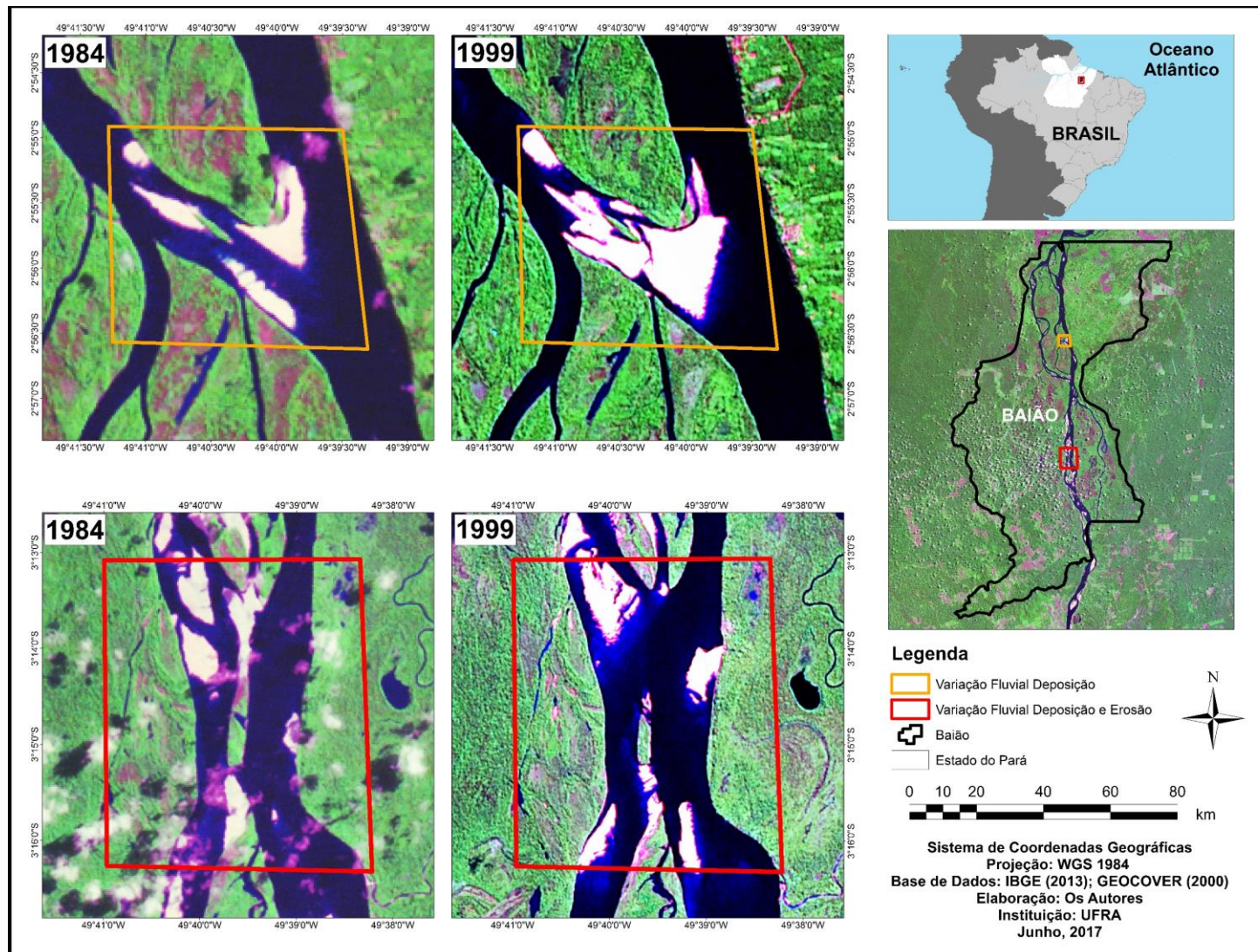


Figura 3 – (a) Acresção da barra arenosa nas proximidades de uma ilha fluvial; (b) Padrão erosivo em ilhas fluviais
Fonte: Autores (2017).

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada na pesquisa permitiu identificar as características morfológicas do Rio Tocantins no município de Cametá por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. De acordo com a análise multitemporal das imagens Landsat, houve uma variação de 4.609.803,07 m² na dinâmica fluvial.

No ano de 1999, mais ao norte do município, houve um aumento nas barras arenosas na proximidade de ilhas fluviais como aumento da deposição de sedimentos devido ao alargamento do rio reduzindo a velocidade do fluxo. Nos trechos do Rio Tocantins na direção centro-sul os processos erosivos ocorrem em todas as ilhas fluviais e pontualmente nas margens do canal.

Assim, pode-se concluir que houve um aumento dos processos erosivos em relação aos processos deposicionais no trecho do rio Tocantins que abrange o município de Baião, quando analisado o intervalo de 15 anos. Contudo, os processos de erosão e deposição de um sistema fluvial variam no decorrer do tempo. O reajuste da morfologia do canal pela migração dos setores de erosão e sedimentação deve ser monitorado principalmente em caso de barramento como o da UHE de Tucuruí.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2017.

ANDRADE, Milena Marília Nogueira de; BANDEIRA, Íris Celeste Nascimento; FONSECA, Dianne Daniele Farias; BEZERRA, Paulo Eduardo Silva; ANDRADE, Ádanna de Souza; OLIVEIRA, Rodrigo. Flood risk mapping in the Amazon. In: HROMADKA, Theodore; RAO, Prasada (Org.). **Flood Risk Management**. Rijeka: Intech, 2017. Cap. 2. Available in: <<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68912>>. Access in: 28 jun. 2017.

BRANDT, Anders. Classification of geomorphological effects downstream of dams. **Catena**, v. 40, p. 375-401, 2000.

COELHO, André Luiz Nascentes. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 16-32, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15721>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

CPRM - Companhia de Pesquisa e de Recursos Minerais. **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. 256 p. Disponível em:

<<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Acervo-170>>. Acesso: 15 jun. 2017.

COSTA, Gilson Silva. **Desenvolvimento rural sustentável com base no paradigma da agroecologia**: estudo sobre a região das ilhas em Cametá, Pará, Brasil. 2004. 301 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos – NAEA, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

FEARNSIDE, Philip Martin. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Management**, v. 27, n. 3, p. 377-396, 2001.

FLEXA, Cassio Eduardo; SILVA, Kátia Cristina Araújo; CINTRA, Israel Hidenburgo Aniceto. Pescadores artesanais à jusante da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Amazônia, Brasil. **Boletim do Instituto Pesca**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 221-235, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cadastro Central de Empresas 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/pa/baiao/pesquisa/19/29761>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE CIDADES**. 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

JENSEN, Jensen. **Introductory digital image processing - A remote sensing perspective**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 1996. 318 p.

JUNK, Wolfgang; MELLO, J. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.

MARTORANO, Lucieta G. et al. **Estudos climáticos do Estado do Pará**, Belém-PA: SUDAM/EMBRAPA; SNLCS, 2008.

MATOS, Jônatas de Araújo; NOGUEIRA, Amélia Regina Batista. As terras-caídas no careiro de várzea e as implicações para os moradores da comunidade Miracauera no Paraná do Careiro (Careiro da Várzea-AM). **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1 (Ed. especial), p. 128-134, 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1531>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

MEDEIROS, Matheus Benessuly Maués de; SIMÕES, Aquiles Vasconcelos; AMORIM, Bianca Pereira. A Comunidade Açaizal e a escassez de recursos naturais à jusante da barragem de Tucuruí: conflitos e alteração do modo de vida em uma comunidade de pescadores do município de Baião, estado do Pará. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 1-5, nov. 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia**. Brasília: MMA, 2006. 132 p.

PASSOS, Marcel Silva; SOARES, Emilio Alberto Amaral; SALAZAR, Carlo Alejandro. Análise bitemporal do Rio Solimões no trecho entre Manacapuru e Manaus (Amazônia

| Paulo Eduardo Silva Bezerra | Ádanna de Souza Andrade | Milena Marília Nogueira de Andrade |

Central) por meio de imagens Landsat-5/TM. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

PINTO, Lúcio Flávio. De Tucuruí a Belo Monte: a história avança mesmo? **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 7, n. 3, p. 777-782, 2012.

REIS, João Francisco Garcia; SOUZA, Jaime Luiz Cunha de. Grandes projetos na Amazônia: a hidrelétrica de Belo Monte e seus efeitos na segurança pública. **Dilemas: Revista de Estudos de Conflito e Controle Social**, v. 9, n. 2, p. 215-230, 2016.

SANTANA, Antônio Cordeiro de; BENTES, Elizabeth dos Santos; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama; OLIVEIRA, Francisco de Assis; OLIVEIRA, Cyntia Meireles de. Influência da barragem de Tucuruí no desempenho da pesca artesanal, estado do Pará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, n. 2, p. 1-13, 2014.

USGS – United States Geological Survey. 2017. **Imagens Landsat**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.