



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ANDRÉS DANILO VELÁSTEGUI MONTOYA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COBERTURA DA TERRA NO
ENTORNO DE USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA: A EVOLUÇÃO DA UHE DE TUCURUÍ**

**BELÉM-PA
2018**

ANDRÉS DANILO VELÁSTEGUI MONTOYA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COBERTURA DA TERRA NO
ENTORNO DE USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA: A EVOLUÇÃO DA UHE DE TUCURUÍ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Amazônia Oriental-EMBRAPA e Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima

BELÉM-PA

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Velástegui Montoya, Andrés Danilo, 1986-

Avaliação do processo de cobertura da terra no entorno de usinas hidrelétricas na Amazônia brasileira: a evolução da UHE de Tucuruí / Andrés Danilo Velástegui Montoya. – 2018.

116 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Aline Maria Meiguins de Lima

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2018.

1. Cobertura dos solos - Amazônia. 2. Usinas hidrelétricas - Amazônia. 3. Barragens e açudes - Amazônia. 4. Indicadores sociais - Amazônia. 5. Indicadores econômicos - Amazônia. I. Título.

CDD 22. ed.: 333.731309811

Elaborado por
Hélio Braga Martins
CRB-2/698

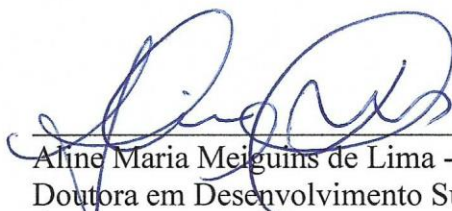
ANDRÉS DANILO VELÁSTEGUI MONTOYA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COBERTURA DA TERRA NO ENTORNO DE
USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: A EVOLUÇÃO DA
UHE DE TUCURUÍ**

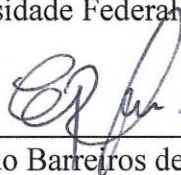
Tese apresentada para obtenção do grau de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA – Amazônia Oriental. Área de concentração em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 16 / 05 / 2018

Banca Examinadora:



Aline Maria Meiguins de Lima - Orientadora
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico
Úmido
Universidade Federal do Pará



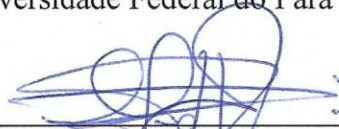
Everaldo Barreiros de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Marcos Adami - Membro
Doutor em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Pará



Luis Otávio do Canto Lopes
Doutor em Desenvolvimento Rural
Universidade Federal do Pará



Christian Nunes da Silva - Membro
Pós-doutor em Desenvolvimento Regional
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Durante quatro anos desta pesquisa, chego ao final deste trabalho. Durante este período tive o privilégio de contar com a valiosa orientação da Professora Aline Meiguins, direcionando e auxiliando o melhor caminho a tomar, sempre de maneira profissional, sincera e amiga.

Este trabalho dedico aos meus pais Sonia Montoya e Galo Velástegui. Agradeço também a toda minha família, irmã, cunhado e sobrinhos, que torceram por mim nos momentos mais difíceis, que nunca se cansaram de me apoiar e incentivar ao longo de minha vida acadêmica e por acreditarem que eu poderia conseguir todos meus objetivos.

O doutoramento, às vezes, pode parecer um trabalho solitário, mas é um processo que se faz com muita participação. Devo ressaltar a colaboração da minha esposa e melhor amiga, Débora Velástegui, que mesmo sendo de uma área tão diferente da minha, leu cada artigo deste trabalho e fez as correções gramaticais de cada parte desta tese, sendo sempre compreensiva. Obrigado pela sua força, carinho e por tornar essa caminhada mais suave e agradável.

Agradeço ao Professor Marcos Adami, pelo auxílio, colaboração e abertura de disponibilizar as instalações do Centro Regional da Amazônia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRA/INPE) na fase inicial da pesquisa, oferecendo condições possíveis para a minha capacitação e realização deste trabalho. Ao CRA/INPE, por ceder a estrutura física e capacitações, colaborando também nesta minha caminhada. Agradeço a todos os amigos do INPE, em especial ao Luis Sadeck, pelo auxílio durante a aprendizagem das tecnologias empregadas neste trabalho.

Muitas contribuições e muitos nomes me ocorrem e corro o risco de não recordar de todos. Contudo, alguns deles estão extremamente presentes, por sempre contribuírem para que eu desse conta de realizar esse trabalho, como queridos familiares e amigos que me incentivaram e me entenderem nos momentos de ausência, obrigado pelas palavras amigas. A meu amigo Dario Lisboa e toda sua família que me receberam como um familiar por muitos finais de semana, fazendo minha estadia no Brasil aconchegante e prazerosa. Agradeço à Professora Iracilda Sampaio e ao professor Edson Rocha, por sua recepção e suporte logístico no início desta caminhada.

Devo um especial agradecimento à Escola Superior Politécnica do Litoral (ESPOL), universidade na qual sou docente. Agradeço pelo apoio financeiro nos últimos dois anos, que permitiu cobrir despesas da pesquisa de doutorado e cursos complementares para meu

aperfeiçoamento profissional. À OEA, que me concedeu a bolsa de estudos. À CAPES, que financiou a bolsa de doutorado.

Enfim, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigado.

RESUMO

A análise dos impactos ambientais produzidos pela construção de megaprojetos na Amazônia, vem sendo o campo de estudo de várias pesquisas. Neste trabalho, o objeto de estudo foi a hidrelétrica de Tucuruí, construída no estado do Pará. Por tratar-se de uma região estratégica para a expansão da capacidade produtora de energia hidrelétrica do Brasil, tem sido foco de diversas abordagens de análise que visam subsidiar a melhor caracterização de cenários futuros. Foi discutido o modelo de mudança de cobertura da terra nas áreas ribeirinhas e no entorno dos reservatórios, motivados pela modificação da dinâmica dos ecossistemas naturais. Este fenômeno é causado pelos extensos reservatórios e aspectos migratórios, em uma situação já consolidada. Foi realizado o mapeamento e análise multitemporal de imagens do satélite Landsat, de datas representativas às diferentes etapas de construção, inauguração, ampliação e cenário atual da usina hidrelétrica. Buscou-se, também, verificar se o aumento das áreas antropizadas nos municípios afetados diretamente pelo reservatório, têm papel compensatório nas melhoras das condições socioeconômicas na região. Tem-se, de fato, que essas regiões absorvem os custos sociais, econômicos e ambientais associados à construção e operação das usinas, enquanto que os benefícios energéticos são distribuídos às demais regiões do país. Espera-se, deste modo, contribuir com uma avaliação crítica dos novos planejamentos hidrelétricos, prevendo os possíveis impactos ambientais e sociais do empreendimento, dado o histórico de eventos já observados na UHE de Tucuruí. E para o debate sobre elementos que induzam a “desenvolvimento regional”, subsidiando, assim, a gestão pública, o setor privado e à comunidade acadêmica, no que tange à formulação e implementação de ações voltadas à melhoria da qualidade de vida destas localidades.

Palavras-chave: Cobertura da terra. Usinas hidrelétricas. Barragens. Indicadores socioeconômicos. Análise multitemporal.

ABSTRACT

The analysis of the environmental impacts produced by the construction of megaprojects in the Amazonia has been the field of study of several researches. In this work, the object of study was the Tucuruí hydroelectric power plant, built in the state of Pará. Since it is a strategic region for the expansion of the capacity of hydroelectric power generation of Brazil, it has been the focus of several analysis approaches aimed at subsidizing the best characterization of future scenarios. The model of land cover change was discussed in the riparian areas and in the surroundings of the reservoirs, motivated by the modification of the dynamics of the natural ecosystems. This phenomenon is caused by the extensive reservoirs and migratory aspects, in an already consolidated situation. It was carried out a multitemporal mapping and analysis of Landsat satellite images of the representative dates of the different stages of construction, inauguration, expansion and current scenario of the hydroelectric power plant. It was also sought to verify if the increase of the anthropic areas, in the municipalities directly affected by the reservoir, have a compensatory role in the improvement of the socioeconomic conditions in the region. In fact, these regions absorb the social, economic and environmental costs associated with the construction and operation of the plants, while the energy benefits are distributed to other regions of the country. It is hoped, therefore, to contribute with a critical evaluation of the new hydroelectric plans, predicting the possible environmental and social impacts of the project, given the history of events already observed in the Tucuruí hydroelectric power plant. Also, to contribute to the debate on elements that induce "regional development", thus subsidizing public management, the private sector and the academic community, regarding the formulation and implementation of actions aimed at the improvement of life quality in these localities.

Keywords: Land cover. Hydroelectric power plants. Dams. Socioeconomic indicators. Multitemporal analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1- Chuva acumulada mensal x chuva (Normal Climatológica 61-90), para o município de Tucuruí, anos: (a) 2010 e (b) 2016	25
Figura 2.1- Localização da área de estudo: o reservatório de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório	35
Figura 2.2- Imagem colorida de uma parcela da área de estudo, gerada a partir das imagens TM-Landsat 5 dos canais 3, 4 e 5, com as cores azul, vermelha e verde respectivamente, com as segmentações das imagem-fração sombra e solo do modelo linear de mistura	38
Figura 2.3- Mapas temáticos de cobertura da terra dos municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, derivados do processamento de imagens dos sensores Thematic Mapper e Enhanced Thematic Mapper Plus do satélite Landsat, referentes aos anos de 1988 (a) e 1999 (b)	39
Figura 2.4- Proporção das áreas de cobertura da terra nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga e Goianésia do Pará (a), e os municípios de Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí (b).....	40
Figura 2.5- Taxas de cobertura da terra dos fragmentos de floresta nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí	46
Figura 3.1- A barragem de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório	59
Figura 3.2- Mapas temáticos de cobertura da terra nos municípios de Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco e Tucuruí, referentes aos anos de 1999 (a) e 2010 (b).....	62
Figura 3.3- Proporção das áreas de cobertura da terra nos anos de 1999 e 2010	63
Figura 3.4- Taxas de cobertura da terra por fragmentos florestais nos anos de 1999 e 2010 ..	68
Figura 4.1- O lago de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório	81
Figura 4.2- Gráficos de ordenação dos municípios utilizando os dois fatores resultantes da análise de componentes principais entre o grupo de variáveis da classe 1, e indicação das quatro categorias formadas para os anos (a) 1991, (c) 2000 e (e) 2010. Dendrograma resultante da análise de agrupamento dos municípios, utilizando a Distância Euclidiana Quadrática e método de agrupamento de Ward para os anos (b) 1991, (d) 2000 e (f) 2010.....	85

Figura 5.1- Localização da área de estudo: o lago de Tucuruí e o raio de 30 km ao redor do reservatório	94
Figura 5.2- Mapas temáticos de cobertura da terra no raio de 30 km do Lago de Tucuruí nos cinco cenários de 1984 a 2017.....	98
Figura 5.3- Taxas de cobertura da terra das áreas antropizadas nos seis anéis de buffers circundantes a área alagada. Os dados pertencem aos cenários de 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, para toda a área de estudo e parte dos municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Itupiranga	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Imagens de satélite Landsat utilizadas.....	24
Tabela 1.2- Variáveis socioeconômicas.....	28
Tabela 2.1- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999, para toda a região e o Município de Novo Repartimento	40
Tabela 2.2- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Itupiranga e Goianésia do Pará.....	41
Tabela 2.3- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Breu Branco e Jacundá.....	42
Tabela 2.4- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Nova Ipixuna e Tucuruí.....	44
Tabela 2.5- Número de fragmentos de floresta nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí	45
Tabela 2.6- Número (NP), densidade (PD) e tamanho médio de fragmentos florestais (MPS) nos anos de 1988 e 1999, para os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí.....	47
Tabela 3.1- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para toda a região e o município de Novo Repartimento	63
Tabela 3.2- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para os municípios de Itupiranga e Goianésia do Pará.....	64
Tabela 3.3- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para os municípios de Breu Branco e Tucuruí.....	65
Tabela 3.4- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para os municípios de Jacundá e Nova Ipixuna	66

Tabela 3.5- Número de fragmentos florestais nos anos de 1999 e 2010	68
Tabela 3.6- Número (PN), densidade (PD) e tamanho médio (MPS) dos fragmentos florestais nos anos de 1999 e 2010	69
Tabela 4.1- Coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais dos cenários de 1991, 2000 e 2010	83
Tabela 4.2- Componentes principais dos municípios e ordem de “padrão de vida” indicado pelo fator 1 (C ₁ , C ₃ ou C ₅), nos cenários 1991, 2000 e 2010	84
Tabela 5.1- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 1984 – 1988, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha).....	100
Tabela 5.2- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 1988 – 1999, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha).....	101
Tabela 5.3- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 1999 – 2010, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha).....	101
Tabela 5.4- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 2010 – 2017, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha).....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Análise por Agrupamento

AAN – Áreas Antropizadas

ACP – Análise de Componentes Principais

APA – Área de Proteção Ambiental

AREAS – Área dos fragmentos

AUR – Áreas Urbanas

BHTA – Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia

BRE – Breu Branco

C – Coeficiente de correlação

CA – Área total da classe

DN – Digital Number

ETM+ – Enhanced Thematic Mapper Plus

EVN – Esperança de Vida ao Nascer

FCMI – Ensino Fundamental Completo e Médio Incompleto

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais

GOI – Goianésia do Pará

GW – Gigawatt

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBM – International Business Machines

IDHE – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal relativo a Educação

IDHL – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal relativo a Longevidade

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IDHR – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal relativo a Renda

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPI – Nova Ipixuna

ITU – Itupiranga

IVM – Infravermelho Médio

IVP – Infravermelho Próximo

JAC – Jacundá

L1T – Level 1 Terrain

MCSI – Ensino Médio Completo e Superior Incompleto

MO5 – Mortalidade até 5 anos de idade

MOIN – Mortalidade Infantil

MPS – Tamanho médio dos fragmentos das classes

MW – Megawatt

NIR – Near Infrared

NP – Número de fragmentos das classes

OLI – Operational Land Imager

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PAL – Percentagem de Áreas Alagadas

PD – Densidade dos fragmentos das classes

PIC – Projeto Integrado de Colonização

PIN – Programa de Integração Nacional

POP – População total

PRODES – Programa de Cálculo do Desflorestamento na Amazônia

R – Red

RADAM – Radar da Amazônia

REP – Novo Repartimento

RGB – Red, Green e Blue

RPER – Renda Per capita

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SWIR-1 – Shortwave Infrared

TFEC – Taxa de Fecundidade total

TM – Thematic Mapper

TUC – Tucuruí

UHE – Usina Hidrelétrica

UTM – Universal Transversa de Mercator

V – Vermelho

WGS – World Geodetic System

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	23
1.1.1 Objetivo Geral.....	23
1.1.2 Objetivos Específicos	23
1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	24
1.2.1 Processamento de dados de sensores remotos	25
1.2.2 Métricas para análise espacial da paisagem.....	27
1.2.3 Relação entre dados socioeconômicos e desmatamento.....	27
1.2.4 Análise dos padrões de desmatamento	29
1.3 ESTRUTURA DA TESE	30
1.4 INTERDISCIPLINARIDADE DA PESQUISA	30
CAPÍTULO 2 MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA PAISAGEM: FIM DA FASE I E INÍCIO DA FASE II DE CONSTRUÇÃO DA UHE TUCURUÍ: MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA PAISAGEM NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ-PA	32
2.1 INTRODUÇÃO	33
2.2 MATERIAIS E MÉTODO	35
2.2.1 Área de estudo.....	35
2.2.2 Dados de sensores remotos: aquisição e processamento	36
2.2.3 Uso de métricas para análise espacial da paisagem.....	38
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
2.4 CONCLUSÃO	48
2.5 REFERÊNCIAS	50
CAPÍTULO 3 MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA PAISAGEM: INÍCIO DA FASE II E FIM DE CONSTRUÇÃO DA UHE TUCURUÍ: ANÁLISE DA COBERTURA DA TERRA NO ENTORNO DE UMA HIDRELÉTRICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	56

3.1	INTRODUÇÃO	57
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	58
3.2.1	Processamento de dados do sensor remoto.....	59
3.2.2	Métricas para análise espacial da paisagem.....	61
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.4	CONCLUSÃO	70
3.5	REFERÊNCIAS	71
CAPÍTULO 4 RELAÇÃO DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E O DESMATAMENTO: PÓS INAUGURAÇÃO DA FASE I, INÍCIO DA FASE II E FINALIZAÇÃO COMPLETA DA UHE TUCURUÍ: ANÁLISE MULTIVARIADA DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ-PA		
4.1	INTRODUÇÃO	79
4.2	MATERIAL E MÉTODO	80
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.4	CONCLUSÃO	88
4.5	REFERÊNCIAS	88
CAPÍTULO 5 DINÂMICA DE TRANSIÇÃO DE COBERTURA DA TERRA: 33 ANOS DE OPERAÇÃO CONTÍNUA DA UHE TUCURUÍ: ANÁLISE MULTITEMPORAL DO DESMATAMENTO, EM RESPOSTA À CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE TUCURUÍ		
5.1	INTRODUÇÃO	92
5.2	MATERIAIS E MÉTODO	93
5.2.1	Área de estudo.....	93
5.2.2	Aquisição de dados de sensores remotos.....	94
5.2.3	Processamento dos dados.....	95
5.2.4	Análise dos padrões de desmatamento	96

5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96
5.4	CONCLUSÃO.....	102
5.5	REFERÊNCIAS.....	103
	CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
	REFERÊNCIAS.....	110

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A Amazônia torna-se cada vez mais atrativa como fonte geradora de energia para o Brasil e outras nações. O potencial espacial e volumétrico do aproveitamento hidroelétrico em toda a bacia Amazônica é significativo, por abranger todos os principais afluentes do rio Amazonas. A região Amazônica andina tem um grande potencial de geração de energia hidroelétrica, por seus altos índices pluviométricos e pela topografia montanhosa. A Amazônia brasileira é menos favorável, por causa da sua configuração geomorfológica, com baixos gradientes de que requerem grandes áreas de acumulação, propensas à sedimentação e inundação de extensas áreas (FINER; JENKINS, 2012; JUNK; MELLO, 1990).

Para atender à crescente demanda de energia elétrica nos países da região amazônica, requer grandes empreendimentos hidrelétricos (FREITAS, 2011; GOLDEMBERG et al., 2002; SOITO; TANCREDI; ABBUD, 2013; SOUZA, 2008). O Brasil detém o maior potencial hidrelétrico (260 GW – *Gigawatt*) na América do Sul, porém conta com apenas 29% de aproveitamento; assim, a hidroeletricidade é a principal fonte de energia no Brasil, com menor custo operacional, que permite a expansão da matriz energética e atendimento da demanda futura (MME; EPE, 2007; SOUZA, 2008).

O Brasil, para os próximos dez anos, possui 26 usinas hidrelétricas planejadas e em construção na Amazônia (BERMANN, 2012). Na região amazônica andina, estão planejadas a construção de 151 barragens com ≥ 2 MW (*Megawatt*) de capacidade instalada, para os próximos vinte anos (FINER; JENKINS, 2012; TUNDISI et al., 2014), 79 no Peru, 60 no Equador, 10 na Bolívia e duas na Colômbia. De 17 barragens com ≥ 1.000 MW de capacidade instalada, 10 estão no Peru, cinco no Equador e duas na Bolívia (BERMANN, 2012; FEARNSSIDE, 2014a; FINER; JENKINS, 2012).

A maior parte das barragens (84%) está em altitudes superiores dos 500 metros acima do nível do mar (altura média do pé dos Andes). Todavia, 21 barragens estão abaixo dos 400 metros (em relação ao nível do mar), tendo maior probabilidade de originar grandes reservatórios (FINER; JENKINS, 2012). Todas essas obras têm um ponto comum: são propostas sob o lema de “segurança energética” em cada um dos países envolvidos nesses projetos (BERMANN, 2012; FINER; JENKINS, 2012; MOYA et al., 2007; SENPLADES, 2013; STERNBERG, 2008).

A energia hidrelétrica é renovável, “limpa”, eficiente e permite o uso múltiplo da água (BLANCO et al., 2008; POTTMAYER et al., 2013). Entretanto, existem aspectos prejudiciais; as barragens desses empreendimentos regulam os níveis dos rios, alterando a carga e a

deposição do sedimento na planície de inundação. Deste modo, podem também alterar a disponibilidade de água e nutrientes para a biota, a partir da modificação na magnitude, frequência e duração das inundações (LÓPEZ-PUJOL, 2008; MERRITT; COOPER, 2000; NILSSON et al., 1991; POFF et al., 1997). Além disso, causam efeitos sobre os povos indígenas, como a perda de peixes e outros recursos do rio (CARNEIRO FILHO; SOUZA, 2009; FEARNSTIDE, 1999, 2001, 2014b; JUNK; MELLO, 1990; VON SPERLING, 2012).

A construção de reservatórios requer o deslocamento da população, que pode modificar o ambiente e atingir a fauna e a flora, com inundação de áreas agricultáveis, campos e bosques, resultando em degradação e perda da floresta, fragmentando a paisagem ao redor destes megaprojetos (CHEN et al., 2015; CLEPS JUNIOR, 2012; FERREIRA et al., 2013; NILSSON et al., 2005; SANCHES; FISCH, 2005; SIEBEN; QUEIROZ; MOTTA-VEIGA, 2012; STERNBERG, 2006, 2008); causam impactos econômicos, sociais e culturais locais, enquanto que, os benefícios energéticos ocorrem em outras regiões (FEARNSTIDE, 1999; RODRIGUES et al., 2009; VERDUM, 2007;). O conflito advém de tal uso da água, onde o agente principal de intervenção está no aproveitamento energético nas bacias de interesse (GALVÃO; BERMANN, 2015).

A bacia do rio Tocantins é um exemplo desta natureza. Por causa da diversidade do aproveitamento hídrico para a pesca, navegação, consumo e geração de energia hidroelétrica. Trata-se da maior bacia hidrográfica (767.164 km²) situada inteiramente no Brasil, 9% do território. Nesta bacia há grande biodiversidade devido a sua localização, situada nos biomas Amazônico, ao norte e noroeste e Cerrado nas demais áreas que abrangem ecótonos, transição entre Floresta-Cerrado como a Ilha do Bananal (MORAIS et al., 2008; ROCHA et al., 2002).

A Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (BHTA), suas características fisiográficas e recursos naturais são citados desde o século XVIII, com a expedição científica de Henri Coudreau. Este explorador e pesquisador destacou a qualidade e quantidade de vida silvestre no Estado do Pará. No seu relatório da terceira missão pelo governo do Pará, “*Voyage au Tocantins-Araguaya*” descreve detalhadamente as Cachoeiras de Itaboca, onde está o aproveitamento hidroenergético de Tucuruí (COUDREAU, 1897). Lima (2009) narra a viagem do médico Júlio Paternostro ao Tocantins para estudar a distribuição da febre amarela no sudoeste do estado do Pará. A viagem de Paternostro se iniciou na foz do rio e foi até o norte de Goiás, entre 1934 e 1935. Este médico e investigador, relatou as condições socioeconômicas e culturais das populações ribeirinhas, além da fauna e a flora da região.

A região do sudeste do Pará era pouco povoada até as décadas de 50 e 60. A maioria da população era concentrada nas margens dos rios, distribuída entre os núcleos urbanos

desde o período colonial devido à dinâmica econômica em vigor, entre o fim do século XIX e início do século XX. Neste contexto, as cidades de Marabá e Tucuruí constituíam os maiores núcleos urbanos e importantes centros de comércio (LA ROVERE; MENDES, 2000; ROCHA, 2008). O levantamento dos recursos da BHTA foi sistematizado por entidades governamentais, a partir da década de 60; iniciaram-se, então, grandes projetos minero metalúrgicos, dada à posição geográfica e potencial hídrico da bacia (FEARNSIDE, 2001; MANYARI; CARVALHO JUNIOR, 2007).

Na década de 60 foi criado pelo governo militar brasileiro do Presidente Médici, o Programa de Integração Nacional (PIN), que possuía um cunho geopolítico, com o objetivo de financiar obras de infraestrutura tanto na região norte, quanto no nordeste do país (BAINES, 1991). A proposta era baseada na utilização da mão de obra nordestina. Pessoas da região nordeste eram atraídas para a Amazônia pelas terras baratas e férteis proporcionadas pelo PIN. Com isso, pretendia-se solucionar dois problemas: o dos “homens sem terra do Nordeste” e o das “terras sem homens da Amazônia” (SKIDMORE, 2004). O Projeto RADAM (Radar da Amazônia) na década de 70, resultou na geração de bancos de dados e informações hidrometeorológicas da BHTA.

Em meados da década de 60 e início da década de 70 já existiam previsões de alteração na região de Tucuruí. No âmbito do PIN, tinham-se os projetos desenvolvedores da construção da rodovia Transamazônica (BR-230), implementação do Projeto Integrado de Colonização (PIC) e o programa de regularização fundiária comandado pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) (COSTA; ROCHA, 2017). Dessa forma, motivou-se a mudança do padrão de ocupação regional, a saber: padrão de povoamento com populações concentradas predominantemente nas beiras dos rios; modelo de ocupação concentrados nas laterais das rodovias e espaço de confluência dos rios Tocantins e Araguaia (ROCHA, 2008).

A crise do petróleo entre 1972 e 1979 e o estímulo do Governo japonês levaram à construção da usina hidrelétrica de Tucuruí. O objetivo era desenvolver a indústria eletro-intensiva do alumínio na Amazônia brasileira (COELHO et al., 2010; FEARNSIDE, 2016; SILVA, 2001). A construção deste empreendimento, atraiu trabalhadores de diversas partes do país que perseguiam oportunidades de trabalho, e ao atraírem grande fluxo populacional deram à cidade de Tucuruí uma nova configuração urbana e lhe imprimiram uma nova dinâmica espacial (COSTA; ROCHA, 2017; ROCHA, 2008).

Pode-se entender que a UHE de Tucuruí foi parte de um sistema de ações do poder público que transformou a configuração espacial e dinâmica da vida das populações na sua

área de influência, que fomentou uma ressignificação da relação entre homem e natureza naquela área (COSTA; ROCHA, 2017). Desse modo, no ano de 1974, Tucuruí contava com cerca de 5.000 habitantes e a Vila Pioneira (espaço construído pela Eletronorte) abrigava uma população entre 2.000 e 3.000 habitantes (ROCHA, 2008).

Em 1977, iniciou-se a construção da usina hidrelétrica, do mesmo modo que as obras de edificação do espaço urbano do empreendimento eram prosseguidas. A administração da Eletronorte construiu o bairro Vila Permanente, espaço para acomodar a seus operários estáveis para seus quadros de administração e de chefias (CARAMELO; CIDADE, 2004; ROCHA, 2008). A Eletronorte também construiu os bairros satélites Vila Temporária I (1977), inicialmente e, logo a Vila Temporária II (1979), no qual passaram a se estabelecer os trabalhadores não estáveis e os temporários, ligados principalmente às empresas responsáveis pela construção da obra e pela prestação de serviços (ROCHA, 2008). Todas estas dotadas de infraestrutura, equipamentos urbanos e de serviços que atendem às necessidades de seus moradores, mas que refletem o modelo de desenvolvimento que privilegia certos espaços e atores (COSTA; ROCHA, 2017).

Entre 1979 e 1980, época do pico dos trabalhos das obras, o total de população no espaço urbano planejado e não planejado girava em aproximadamente 110.000 habitantes. Destes, 55.000 habitantes em Tucuruí e 55.000 nos núcleos urbanos da Eletronorte. Se por um lado, a ocupação do espaço se dava de forma planejada nas quatro vilas da Eletronorte, embora densamente habitados, por outro lado, a cidade de Tucuruí expandiu sua malha urbana, quintuplicando em área territorial (CARAMELO; CIDADE, 2004; ROCHA, 2008).

Após a finalização da obra e início da fase de operação da usina hidrelétrica, já não demandava a mão de obra mobilizada em sua construção. Estima-se que a construção da usina hidrelétrica de Tucuruí mobilizou cerca de 30.000 operários. Já em 1983, aproximadamente 14.000 trabalhadores foram dispensados e, em 1985, o número de trabalhadores foi reduzido para menos de 4.000 (CARAMELO; CIDADE, 2004; ROCHA, 2008). Parte dessa força de trabalho retornou aos seus locais de origem, outras deslocadas para novas atividades de operação da usina hidrelétrica e, ainda, outra ficou na própria cidade de Tucuruí, como também buscou inserir-se nos novos núcleos urbanos construídos ou espontâneos no entorno do lago artificial formado (ROCHA, 2008).

Na primeira fase de construção, a usina hidrelétrica de Tucuruí possuía uma capacidade instalada de 4.000 MW (*megawatts*) de energia elétrica, criando um reservatório que inundou uma área de 2.430 km², que entrou em operação comercial no dia 10 de novembro de 1984 (FEARNSIDE, 1999; LA ROVERE; MENDES, 2000). A formação do

lago artificial submergiu cerca de quatorze povoados ribeirinhos: a sede municipal de Jacundá, os povoados Vila Dephos, Remansão do Centro, Remansão da Beira, Pucuruí, Breu Branco, Repartimento Central, Jacundazinho, Jatobal, Remansinho, Altamira, Ipixuna, Vila Tereza do Taurí, Santo Antônio e a antiga Estrada de Ferro Tocantins. Igualmente, inundou trechos das rodovias BR-230 e BR-422, implementadas pelo Programa de Integração Nacional (ROCHA, 2008).

Os recursos hídricos da BHTA são estratégicos para o desenvolvimento socioeconômico, dado a extensão das áreas potencialmente irrigáveis para a agricultura, navegação, pesca e turismo, além de seu grande potencial hidroenergético e mineral. Trata-se de uma das áreas preferenciais e mais promissoras para a expansão do crescimento econômico brasileiro nas próximas décadas (ANA, 2009).

As magnitudes dos planos, comparáveis somente com a magnitude dos impactos provocados pela construção de obras deste porte, fazem com que seja importante avaliar todas as experiências positivas e negativas no planejamento e construção das hidrelétricas na região amazônica (FEARNSIDE, 2001). A construção de usinas hidrelétricas sempre acende a questionamentos da sociedade, principalmente da população dos municípios que tem suas áreas inundadas pelos reservatórios. Tem-se, de fato, que essas regiões absorvem os custos sociais, econômicos e ambientais associados à construção e operação de uma usina, enquanto que os benefícios energéticos são distribuídos às demais regiões do país.

A Lei nº 7.990/1989 define a compensação financeira a ser paga pelos concessionários de serviço de energia elétrica aos Estados e Municípios, em cujos territórios se localizarem instalações destinadas à produção de energia elétrica, ou que tenham áreas alagadas dos respectivos reservatórios, na proporção das áreas inundadas (ANEEL, 2005). Ressarcindo assim, as externalidades provocadas pela ocupação de áreas por usinas hidrelétricas e um pagamento pelo uso da água na geração de energia, fomentando o desenvolvimento social-ambiental da região, e a adequação da estrutura social e econômica local, às novas condições impostas pelo empreendimento hidrelétrico.

Tendo como exemplo a UHE Tucuruí, como uma das maiores obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (BERMANN, 2012), faz-se necessário analisar os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pelas usinas. Deve-se estudar, em especial, as mudanças da cobertura da terra relacionadas às alterações da dinâmica populacional e infraestruturas complementares. Mudanças estas, originadas pela extensão das áreas inundadas no entorno das barragens e redução da lâmina de água à jusante das represas,

antes e após a construção das usinas; como também, sua influência nos indicadores socioeconômicos nos municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí.

Assim sendo, esta pesquisa busca avaliar os impactos ambientais e sociais, provocados por empreendimentos hidrelétricos na região amazônica. Desta forma, tem-se como justificativas de trabalho, a necessidade de considerar a influência, segundo a distância dos reservatórios das usinas hidrelétricas com suas imediações. Assim como, a imprescindibilidade de levar-se em conta a conectividade das áreas urbanas, mediante rodovias circundantes ao reservatório, como fundamental no processo de planejamento energético, diante da magnitude dos potenciais impactos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar as relações entre o desmatamento e os indicadores socioeconômicos dos municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí e sua influência, segundo a distância do reservatório nas imediações do lago artificial, nas diferentes etapas de construção da usina hidrelétrica, ao longo dos 33 anos de operação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Avaliar os padrões espaço-temporais de desmatamento nos municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, no período após a inauguração da primeira fase de construção e início da fase de ampliação da usina, de 1988 a 1999, respectivamente.
- 2) Avaliar os padrões espaço-temporais de desmatamento, no período inicial da segunda fase de construção e finalização completa do megaprojeto hidrelétrico, de 1999 a 2010, respectivamente.
- 3) Analisar as relações do desmatamento com os indicadores socioeconômicos dos sete municípios em estudo, nos períodos de finalização da fase I, início da fase II de construção e finalização completa do megaprojeto hidrelétrico.
- 4) Avaliar os padrões espaço-temporais do desmatamento e sua influência, segundo a distância do reservatório nas imediações do lago de Tucuruí nas etapas de pré-inauguração,

finalização da fase I, início da fase II de construção, finalização completa do megaprojeto e cenário atual da região, referente aos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, respectivamente.

1.2 Procedimentos metodológicos

Dados de uso e cobertura do solo são necessários, tanto como base na tomada de decisões para o planejamento de medidas relevantes de proteção à natureza, como também para o controle sobre o êxito de tais medidas (LANG; BLASCHKE, 2009). As imagens de sensoriamento remoto proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre, possibilitam uma visão espectral, espacial e temporal das mudanças em ambientes terrestres (FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009) e constituem-se numa forma rápida e econômica para a aquisição de informações geográficas sobre a superfície terrestre para grandes áreas (BIELENKI JUNIOR; BARBASSA, 2012), onde os elementos da paisagem mais visíveis em imagens de satélite são o relevo, a vegetação, a água e uso da terra.

Na análise espaço-temporal se levará em conta, que o ano 1984 refere-se ao período de pré-inauguração da fase I de construção da usina hidrelétrica de Tucuruí, o ano 1988 à data pós-inauguração da fase I de construção, o ano 1999 ao início da fase II de construção (ampliação da usina), o ano 2010 à inauguração das eclusas de Tucuruí, para garantir a navegação entre o Submédio Tocantins e Baixo Tocantins, ou seja, finalização completa da UHE Tucuruí, e o ano 2017 a um cenário atual da região de estudo.

Tabela 1.1- Imagens de satélite Landsat utilizadas

Órbita/Ponto	1984 ⁽¹⁾	1988 ⁽¹⁾	1999	2010 ⁽¹⁾	2017 ⁽³⁾
223/62	25/6/84	22/7/88	05/07/99 ⁽¹⁾	3/7/10 17/8/09	6/7/17
223/63	27/7/84	22/7/88	13/07/99 ⁽²⁾ 29/07/99 ⁽²⁾	5/9/10 16/5/10	6/7/17
223/64	11/7/84	22/7/88	21/07/99 ⁽¹⁾	3/7/10 1/8/09	6/7/17
224/62	22/10/84	14/8/88	28/07/99 ⁽¹⁾	26/7/10	13/7/17
224/63	31/5/84	14/8/88	05/08/99 ⁽²⁾ 12/07/99 ⁽¹⁾	26/7/10 21/6/09	13/7/17
224/64	31/5/84	29/7/88	28/07/99 ⁽¹⁾	26/7/10 8/8/09	13/7/17
225/63	10/8/84	21/8/88	04/08/99 ⁽¹⁾	15/6/10	20/7/17

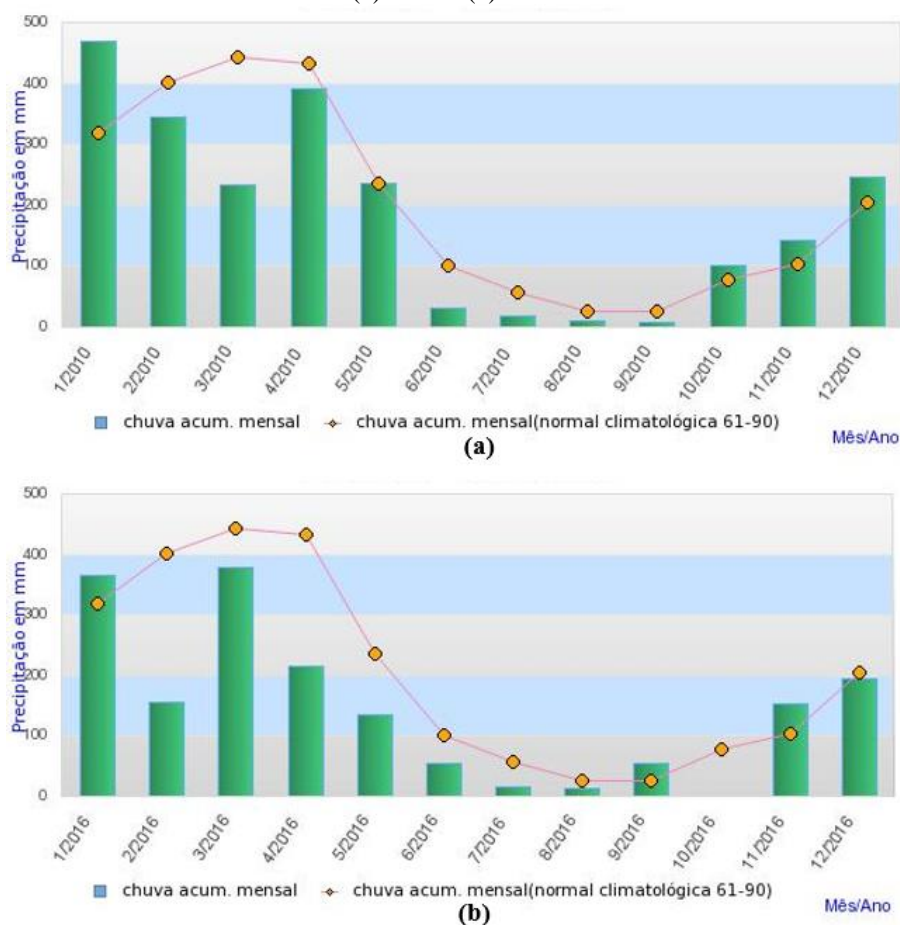
⁽¹⁾ TM-Landsat 5, ⁽²⁾ ETM+-Landsat 7, ⁽³⁾ OLI-Landsat 8

Fonte: USGS (1984, 1988, 1999, 2009, 2010, 2017)

Com o propósito de cobrir os municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, foram adquiridas para cada ano de análise, sete cenas de imagens adjacentes, totalizando 42 imagens (Landsat), com 30 m de

resolução espacial (Tabela 1.1). Estas imagens foram obtidas do acervo do Serviço Geológico Americano, com nível de correção *Level 1 Terrain (L1T)*, ortorretificadas com projeção em UTM, datum/esferoide WGS1984 e exatidão superior a 0,8 pixel (USGS, 2017a). As imagens foram obtidas na estação seca (julho - setembro) (Figura 1.1). Não obstante, a elevada porcentagem de cobertura de nuvens nesta região, dificultou a aquisição de imagens com menos de 5% de cobertura de nuvem na estação seca, fazendo-se necessário considerar algumas imagens correspondentes aos meses de maio (3), junho (3) e outubro (1).

Figura 1.1- Chuva acumulada mensal x chuva (Normal Climatológica 61-90), para o município de Tucuruí, anos: (a) 2010 e (b) 2016



Fonte: INMET (2015)

1.2.1 Processamento de dados de sensores remotos

Para obter um registro dos dados processados, foi criado um banco de dados para armazenar as informações processadas, utilizando-se para isso, os aplicativos TerraAmazon (TERRAAMAZON, 2016) e PostgreSQL (POSTGRESQL, 2012). O TerraAmazon é uma ferramenta de SIG (Sistema de Informação Geográfica) gratuita, desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE), possui ferramentas de classificação de uso e cobertura

do solo, assim como operações espaciais entre dados vetoriais (INPE; FUNCATE, 2016). O PostgreSQL é um sistema gerenciador de banco de dados, desenvolvido como projeto de código aberto.

Inicialmente criou-se um projeto no TerraAmazon, com objetivo de determinar a projeção geográfica a ser utilizada (Latitude e Longitude) e sistema de referência para delimitar a área de estudo, importando os limites municipais da área de estudo, no formato vetorial, em escala 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). A partir desse ponto, foram elaboradas as composições coloridas RGB (*Red* – Vermelho, *Green* – Verde e *Blue* – Azul) utilizando as bandas do Infravermelho Próximo (IVP), Infravermelho Médio (IVM) e Vermelho (V) respectivamente, e o realce linear de contraste das imagens, de modo a melhorar a distinção entre as classes.

Outra etapa importante do processamento, foi a aplicação do modelo linear de mistura espectral (SHIMABUKURO et al., 1997), nas bandas do IVP, IVM e V das imagens dos sensores TM (Thematic Mapper) - Landsat 5, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)-Landsat 7 e OLI (Operational Land Imager)-Landsat 8, para gerar as frações sombra, solo e vegetação. O modelo linear de mistura utilizado para cada imagem foi gerado mediante a seleção dos pixels puros, referentes aos componentes vegetação, solo e sombra, utilizando-se os mesmos valores de níveis de cinza (DN – *Digital Number*) em todas as datas.

Em seguida, foi aplicado o algoritmo de segmentação, baseado no método de crescimento de regiões. Este algoritmo agrupa pixels tendo por base dois limiares: similaridade e área. O limiar de similaridade indica a distância em que um pixel pode pertencer ao agrupamento e o limiar de área define a área mínima de cada grupo de pixels (SHIMABUKURO et al., 1997). Se utilizaram limiares de similaridade e de área, de 8 e 16 respectivamente. Esta combinação já foi utilizada com bons resultados por Vasconcelos e Novo (2004) em parte da área de estudo, como também no PRODES (CÂMARA et al., 2013).

Para o processo de classificação, foram utilizadas as imagens-fração (sombra e solo) segmentadas, para sua classificação polígono a polígono. A chave de interpretação das classes foi baseada no PRODES Digital (CÂMARA et al., 2013) e no comportamento espectral dos alvos, principalmente em relação à resposta de sombra e solo do modelo linear de mistura. As classes selecionadas foram: 1) floresta – formações florestais sem interferência antrópica; 2) área antropizada – compreendendo as interferências nas formações florestais, relacionadas diretamente as atividades humanas (áreas desmatadas, mosaicos de ocupação, agronegócio) e a solos expostos relacionados a ilhas de areia e a planícies de inundação; 3) área alagada – engloba toda a água do rio Tocantins a montante da barragem; 4) área não alagada – considera

toda a água do rio Tocantins a jusante da usina; 5) água – abrange os outros corpos de água (rios, lagos); 6) área urbana – considera as manchas urbanas, e grandes empreendimentos de engenharia como aeroportos e a barragem de Tucuruí; 7) nuvem – abarca as áreas cobertas por nuvem e sombra de nuvem, sem informação espectral dos alvos encobertos.

Para a classificação polígono a polígono dos segmentos das imagens-fração sombra e solo, estes foram selecionados e classificados, segundo as respostas espectrais dos alvos na composição colorida RGB das bandas IVP, IVM e V das imagens satélite. Esta atividade foi realizada em escala 1:30.000, de forma a identificar o detalhamento dos contornos dos segmentos que define cada classe. Em seguida, realizou-se a edição matricial das áreas mal classificadas da área de interesse, por meio de classificação visual em escala 1:30.000.

1.2.2 Métricas para análise espacial da paisagem

A partir do mapeamento da terra, a estrutura da paisagem foi quantificada, utilizando o software FRAGSTATS (MCGARIGAL et al., 2012) para as métricas de classes e paisagem. Desta maneira, ao nível de toda a paisagem e classes mapeadas, foram consideradas algumas das métricas usadas por Ferraz e Vettorazzi (2003), Valente (2001) e Vidolin et al. (2011). A descrição das métricas utilizadas nessa pesquisa refere-se, conforme McGarigal e Marks (1995), a:

- Área dos fragmentos (ÁREA): é igual à área (m^2) do fragmento, dividida por 10.000 (para converter em hectares).
- Área total da classe (CA): soma das áreas (m^2) de todos os fragmentos da correspondente classe, dividido por 10.000 (para converter em hectares).
- Número de fragmentos das classes (NP): número de fragmentos da classe na paisagem.
- Densidade dos fragmentos das classes (PD): número de fragmentos da classe em 100 ha de paisagem.
- Tamanho médio dos fragmentos das classes (MPS): média entre as áreas em ha de todos os fragmentos da classe.

1.2.3 Relação entre dados socioeconômicos e desmatamento

Com os dados da estrutura da paisagem, as áreas desmatadas foram relacionadas com os dados socioeconômicos de cada um dos municípios estudados. Consideram-se parte das

variáveis socioeconômicas utilizadas por Sousa (2016), para relacioná-los com as áreas antropizadas, manchas urbanas e percentagem de áreas alagadas pelo reservatório, previamente estimadas. Todas as variáveis socioeconômicas coletadas pertencem aos censos desenvolvidos pelo IBGE, correspondentes aos anos de 1991, 2000 e 2010. Dentre das inúmeras variáveis que poderiam ser utilizadas, as escolhidas cumpriram alguns critérios de seleção, tais como, importância a priori como indicadora do “padrão de vida” e boa relação fatorial entre elas. As siglas de identificação e a definição das variáveis socioeconômicas utilizadas são apresentadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2- Variáveis socioeconômicas

Siglas	Variáveis	Unidade de medida
POP	População total	Número de pessoas
TFEC	Taxa de fecundidade total	Filhos por mulher
EVN	Esperança de vida ao nascer	Anos
IDHE	IDHM Educação	-
IDHL	IDHM Longevidade	-
IDHR	IDHM Renda	-
RPER	Renda per capita	-
FCMI	Fundamental completo e médio incompleto	Percentual (%)
MCSI	Médio completo e superior incompleto	Percentual (%)
MOIN	Mortalidade infantil	-
MO5	Mortalidade até 5 anos de idade	-

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010).

Foram coletadas as variáveis dos anos 1991, 2000 e 2010 para os municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento. A descrição das variáveis utilizadas refere-se, conforme PNUD (2013), a:

- População total: População Residente total;
- Taxa de fecundidade total: Número médio de filhos que uma mulher teria ao terminar o período reprodutivo (15 a 49 anos de idade);
- Esperança de vida ao nascer (em anos): Número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do nascimento;
- IDHM Educação: Sub-índice do IDHM relativo à educação. Obtido a partir da frequência de crianças e jovens a escola e nível de escolaridade da população adulta, convertidos em índices;
- IDHM Longevidade: Sub-índice do IDHM relativo à dimensão longevidade. É obtido a partir do indicador esperança de vida ao nascer;

- IDHM Renda: Sub-índice do IDHM relativo à dimensão renda. É obtido a partir do indicador renda familiar per capita;
- Renda per capita: Razão entre o somatório da renda de todos os indivíduos e o número total desses indivíduos;
- Ensino fundamental completo e médio incompleto: Percentual de pessoas que completaram o ensino fundamental e que não completaram o ensino médio;
- Ensino médio completo e superior incompleto: Percentual de pessoas que completaram o ensino médio e que não completaram o ensino superior;
- Mortalidade infantil: Probabilidade de morrer entre o nascimento e a idade exata de 1 ano, por 1000 crianças nascidas vivas;
- Mortalidade até 5 anos de idade: Probabilidade de morrer entre o nascimento e a idade exata de 5 anos, por 1000 crianças nascidas vivas;

Também foram consideradas as variáveis relacionadas ao mapeamento e análise temporal da paisagem no entorno do reservatório de Tucuruí, correspondente aos períodos de pós-inauguração da fase I de construção (1988), início da fase de ampliação da usina (1999) e finalização completa da UHE Tucuruí (2010). Essas variáveis correspondem às áreas antropizadas (AAN), áreas urbanas (AUR) e percentagem de áreas alagadas (PAL), detalhadas e avaliadas nos capítulos 2 e 3.

Como as variáveis não apresentam as mesmas escalas (ou unidades), foram normalizadas (0-1) pelo total da variável, de modo a torna-las adimensionais. Para a análise estatística, foram empregados dois métodos multivariados, aplicados e explicados por Corrar et al. (2007), Curi (1993) e Leite et al. (2009), utilizando-se o software SPSS Statistics (SPSS STATISTICS, 2014), desenvolvido pela IBM. A Análise de Componentes Principais (ACP), foi utilizada para reduzir as variáveis originais correlacionadas a um par de variáveis não correlacionadas, designadas componentes principais. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, permitindo obter o grau de relação entre variáveis e; a Análise por Agrupamento (AA) no auxílio de agrupar os municípios similares para certo conjunto de variáveis originais.

1.2.4 Análise dos padrões de desmatamento

Com os mapas de cobertura da terra dos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, realizou-se a análise de proximidade com base em Chen et al. (2015). Para avaliar a influência

segundo a distância do reservatório sobre o crescimento das áreas antropizadas, empregou-se seis anéis de *buffers*, a partir de 5 km até 30 km em torno do Lago de Tucuruí¹ de cada cenário mapeado, em intervalos de 5 km por anel. Para determinar o percentual de cobertura da terra das áreas antropizadas nos seis anéis de *buffers* nas imediações do reservatório de Tucuruí, nas etapas de pré-inauguração, finalização da fase I, início da fase II de construção, finalização completa do megaprojeto e cenário atual da região, referente aos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, respectivamente.

1.3 Estrutura da tese

Para atingir o objetivo proposto, este trabalho divide-se em seis capítulos apresentados em formato de artigos, os quais foram desenvolvidos nas diferentes etapas desta pesquisa. A presente parte consta com uma introdução, na qual se faz a apresentação do trabalho, abordando a problemática e as justificativas que motivaram essa pesquisa, bem como, os dados utilizados e as metodologias empregadas para alcançar os objetivos propostos.

Nos capítulos 2 e 3, são apresentados o mapeamento das classes de cobertura da terra nos municípios diretamente afetados pelo reservatório de Tucuruí e a caracterização quantitativa das classes presentes na região, expondo o nível de fragmentação florestal tropical em cada um dos municípios, entre os períodos de pós-inauguração da fase I, início da ampliação e conclusão da construção da usina hidrelétrica de Tucuruí. O capítulo 4 traz os indicadores socioeconômicos para os sete municípios analisados. São discutidas as relações entre os desmatamentos com os indicadores socioeconômicos, nos períodos de finalização da fase I, início da fase II e finalização completa da UHE Tucuruí.

No capítulo 5, apresenta-se o mapeamento das classes de cobertura da terra nas vizinhanças do lago artificial de Tucuruí e sua influência, segundo a distância do reservatório sobre a expansão das áreas antropizadas nas imediações do lago de Tucuruí até um raio de 30 km do mesmo e, finalmente, as conclusões são apresentadas no capítulo 6.

1.4 Interdisciplinaridade da pesquisa

O desenvolvimento da sociedade no seu meio ambiente e as suas interações são processos naturalmente interdisciplinares. O próprio desenvolvimento humano gerou novas pressões e interações ambientais que exigem da ciência uma indispensável postura

¹ O raio de 30 km foi delimitado tendo como objetivo que o alcance do sexto anel de *buffer* contemplasse, pelo menos, parte de todos os municípios em cada um dos cenários analisados.

interdisciplinar (PHILIPPI JUNIOR, 2000). Segundo Rocha (2003) a interdisciplinaridade ambiental é o processo de pesquisa, de conhecimento, de levantamento, análise e síntese da realidade por diferentes campos disciplinares, em trabalho conjunto interligado por um objetivo unificado, o de compreender e resolver problemáticas socioambientais.

Faz-se, portanto, necessário estudar não somente as partes e processos isoladamente de cada aspecto. É imprescindível a abordagem de questões fundamentais da realidade humana, no que tange à sua relação com o meio ambiente, focado não tanto às diferenças, mas às semelhanças, a partir de uma visão integrada da problemática ambiental.

Neste trabalho, a contribuição interdisciplinar consiste em trazer à análise as relações das classes de cobertura da terra dos municípios diretamente afetados pelo lago artificial de Tucuruí, com seus indicadores socioeconômicos. Isso, com a finalidade de entender as dinâmicas dos padrões de vida entre os municípios, especificamente nos períodos de pós-inauguração da fase I, início da ampliação (fase II), e conclusão da construção da usina hidrelétrica de Tucuruí.

CAPÍTULO 2 MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA PAISAGEM: FIM DA FASE I E INÍCIO DA FASE II DE CONSTRUÇÃO DA UHE TUCURUÍ

MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA PAISAGEM NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ-PA²

Resumo

O grande interesse de gerar energia "limpa" nos países da região para o fornecimento energético e contínuo crescimento econômico, motiva o planejamento e construção de grandes projetos hidrelétricos, com vasta presença na bacia Amazônica. Contudo, devido à extensão dos reservatórios produzidos pelos mesmos, estes projetos podem alterar a dinâmica dos ecossistemas naturais. Para compreender melhor o padrão espacial das mudanças da cobertura da terra motivadas pelos grandes reservatórios hidrelétricos, este estudo aplicou o modelo linear de mistura em imagens Landsat-TM e ETM+ segmentadas e métricas de paisagens, para o mapeamento das classes de cobertura da terra nos municípios diretamente afetados pelo reservatório de Tucuruí-PA e a caracterização quantitativa das classes presentes na região, entre os períodos de finalização da I fase e início da II fase de construção da UHE Tucuruí. Os resultados da análise espacial apontaram que houve modificações no padrão espacial da cobertura florestal no entorno do reservatório de Tucuruí, com comportamentos diferenciados na escala de municípios. Onde, o alto nível de fragmentação está associado à conectividade das rodovias entre as manchas urbanas presentes nestes municípios, facilitando o acesso e conversão de áreas de floresta em pasto.

Palavras-chaves: Cobertura da terra; Usinas hidrelétricas; Barragens.

Abstract

The great interest of generating "clean" energy in the countries of the region for energy supply and continuous economic growth, motivates the planning and construction of large hydroelectric projects, with a significant presence in the Amazon basin. Nevertheless, due to the extent of the reservoirs generated by these projects, the dynamics of natural ecosystems may be altered. To better understand the spatial pattern of land cover changes fostered by large hydroelectric reservoirs, this study applied the linear mixture model in segmented

² Aceito na Revista Anuário do Instituto de Geociências, Qualis B1, em Ciências Ambientais.

Landsat-TM and ETM+ images, and landscape metrics for the mapping of land cover classes in municipalities directly affected by the Tucuruí-PA reservoir, and the quantitative characterization of the classes present in the region, between the periods of completion of the 1st phase and the beginning of the 2nd phase of construction of the Tucuruí hydroelectric plant. The results of the spatial analysis indicated that there were modifications in the spatial pattern of the forest cover in the surroundings of the Tucuruí reservoir, with differentiated behaviors in the scale of municipalities, in which the high level of fragmentation is associated to the connectivity of the highways between the urban spots present in them, facilitating the access and conversion of forest areas into pasture.

Keywords: Land cover; Hydroelectric plants; Dams.

2.1 Introdução

O potencial espacial e volumétrico do aproveitamento hidroelétrico em toda a bacia Amazônica é significativo por abranger todos os principais afluentes do rio Amazonas. Por isso, há centenas de usinas hidrelétricas planejadas e em construção na Amazônia, pertencentes ao Brasil, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Suriname e Guianas (Bermann, 2012; Finer & Jenkins, 2012; Fearnside, 2014). A capacidade hidrelétrica inexplorada, remanescente na região, é esperada para fornecer energia “limpa” e para o desenvolvimento econômico regional (Tundisi *et al.*, 2014). Entretanto, há aspectos prejudiciais, como a construção de reservatórios que pode levar a alterações nas variáveis hidrológicas, do uso do solo e climáticas, resultando em degradação e perda florestal, fragmentando a paisagem ao redor destes megaprojetos (Ferreira *et al.*, 2013; Finer & Jenkins, 2012; Chen *et al.*, 2015).

A geração de energia no país através de empreendimentos hidrelétricos possui grande importância, dado que a matriz energética brasileira está assentada na hidroeletricidade, considerada como a melhor alternativa de geração de energia, por se tratar, especialmente, de uma fonte renovável e acessível no país. No entanto, são bem conhecidos os inúmeros impactos socioambientais causados por esse tipo de obras, e, de maneira geral, a intensidade desses impactos está diretamente relacionada à dimensão do empreendimento (Souza, 2008; Finer & Jenkins, 2012). Este fato favorece a ocupação inapropriada no entorno dos reservatórios e o uso desequilibrado dos recursos ali presentes; o que prejudica o ambiente, em decorrência do desmatamento, da contaminação do solo, da deterioração da qualidade da

água dentre outros, além do que, os benefícios energéticos ocorrem em outras regiões (Fearnside, 1999, 2001; Rodrigues *et al.*, 2009).

O desmatamento é uma realidade que se verifica em todos os países amazônicos. Contudo, no Brasil acontece de maneira mais acentuada, de modo que este é o país que provê dados mais exatos sobre mudanças da cobertura da terra na Amazônia. Desde 1988, o Instituto de Pesquisas Espaciais estima taxas de desmatamento anuais por meio do Programa de Cálculo do Desflorestamento na Amazônia (PRODES), utilizando imagens de satélite. Constatou-se que na década de 1988 a 1998, aproximadamente 174.000 km² foram desmatados na região, atingindo uma média de 15.000 km² por ano. No período de 1994-1995 este número aumentou para 29.059 km². O desmatamento coincidiu, principalmente, com a fronteira agrícola, à medida que avança para o norte pelos estados do Pará (56.872 km²), Tocantins (4.804 km²), Mato Grosso (60.308 km²), Rondônia (23.275 km²) e Acre (5.814 km²), formando o que se conhece como o "arco de desmatamento" (Wood & Porro, 2002; Vasconcelos & Novo 2004).

O peso de cada causa do desmatamento e a forma como se combinam podem variar na Amazônia, mas, em geral, elas são as mesmas: a agropecuária, a exploração madeireira, a grilagem de terras e projetos de infraestrutura. A devastação segue um roteiro conhecido. Primeiro, as madeiras abrem circunvizinhanças, a partir das rodovias na direção de locais com árvores valiosas, muitas vezes em áreas protegidas ou de comunidades ribeirinhas³; segundo, esgotam o estoque de madeiras nobres e buscam novas frentes de extração; terceiro, aproveitando-se das estradas abertas, grileiros e fazendeiros financiam a conversão da floresta em pasto, com a venda da madeira restante e por último, os incêndios provocados pela própria população no manejo das pastagens consolida-se em uma pecuária extensiva de baixa produtividade (Carneiro Filho & Souza, 2009).

Neste contexto, destaca-se a importância do mapeamento da cobertura da terra, como forma de identificação e espacialização disto na paisagem. Se fornecerá, neste estudo, a combinação de sensoriamento remoto, SIG e métricas da paisagem, para determinar e avaliar os padrões de desmatamento, espacialmente explícitos na região do reservatório de Tucuruí, ao longo de um período de 11 anos de pleno funcionamento da usina. É importante considerar

³ Neste trabalho, pedimos licença para utilizarmos o termo "comunidades ribeirinhas" para designar as comunidades que se encontram no entorno dos rios. Sabemos que a discussão acerca do tema é muito mais ampla. Segundo Lira & Chaves (2016) as comunidades ribeirinhas são o *locus* onde os ribeirinhos estabelecem as relações sociais, nas quais o rio é muito importante, configurando-se como complemento de suas vidas. Prevalece uma relação de respeito entre homem-natureza, o que permite o manejo do ambiente sem a degradação dos recursos naturais. É uma das populações tradicionais na Amazônia, que vivem em agrupamentos comunitários com várias famílias, localizadas ao longo dos rios e seus tributários.

que a UHE Tucuruí foi o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na região amazônica (Chen *et al.*, 2015); e por ter pelo menos 33 anos de funcionamento, caso ideal para a compreensão dos impactos das megabarragens a longo do tempo na Amazônia, possibilita prever os possíveis impactos ambientais e sociais em futuros empreendimentos hidrelétricos na região.

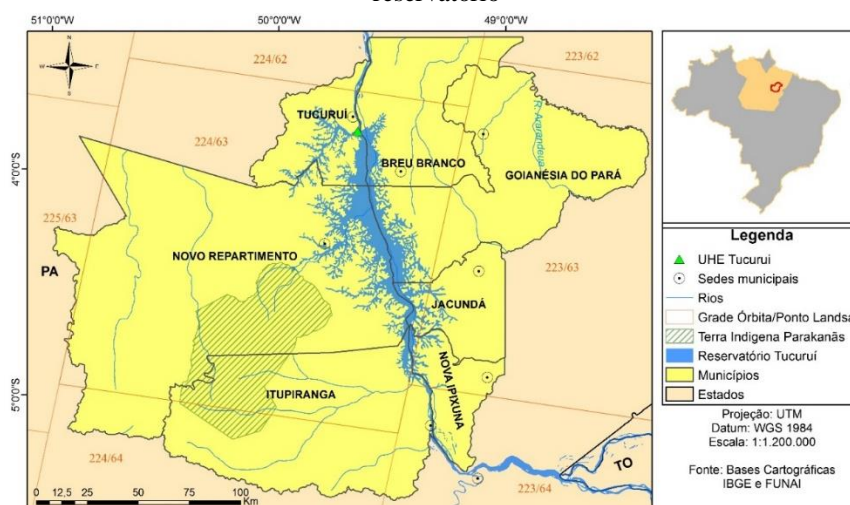
O presente artigo teve como objetivo avaliar os padrões espaço-temporais de desmatamento, motivados pela construção da hidrelétrica de Tucuruí, no período após a inauguração da primeira fase de construção e início da construção da segunda etapa da usina, de 1988 a 1999, respectivamente. Este estudo é primeira fase de uma análise completa multitemporal, da cobertura da terra nos 32 anos de funcionamento da usina.

2.2 Materiais e método

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo, delimitada entre as latitudes 03° 24' e 05° 28' S e 48° 22' e 50° 59' W, corresponde a uma parte da região hidrográfica Tocantins-Araguaia e cobre todos os municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí, sendo eles: Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, além da represa de Tucuruí (Figura 2.1), formada pelo barramento do Rio Tocantins no Estado do Pará. É uma área de floresta tropical e o clima, segundo a classificação Köeppen tropical úmido, com moderado período de estiagem (entre julho e setembro) (ANA, 2009).

Figura 2.1- Localização da área de estudo: o reservatório de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nas malhas cartográficas do IBGE

A UHE Tucuruí foi o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na região amazônica (Manyari & Carvalho Jr, 2007), seu reservatório foi preenchido e inaugurado em

1984, completando assim a fase I de construção para gerar 4.000 MW (megawatts) de energia elétrica, criando um reservatório que inundou uma área de 2.430 km² (Fearnside, 1999, 2001; La Rovere & Mendes, 2000; Caramelo & Cidade, 2004). As florestas tropicais da região experimentaram um elevado grau de fragmentação. Algumas árvores foram inundadas pelo reservatório, enquanto que o desmatamento aconteceu em torno da represa (Fearnside, 2002; Manyari & Carvalho Jr, 2007; Chen *et al.*, 2015).

2.2.2 Dados de sensores remotos: aquisição e processamento

As imagens de sensoriamento remoto Landsat foram adquiridas do acervo de imagens do Serviço Geológico Americano, com nível de correção *Level 1 Terrain* (L1T), ortorretificadas com projeção em UTM e datum/esferoide WGS1984 e exatidão superior a 0,8 pixel (USGS, 2017a). As imagens correspondem aos meses de julho e agosto de 1988 e 1999. Especificamente, os dados de 1988 foram adquiridos pelo sensor TM-Landsat 5, enquanto que os dados de 1999 foram coletados pelos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7. Apesar de se utilizar dois sensores na aquisição dos dados, a extensão das imagens, a resolução espacial, a geometria e a qualidade dos mesmos, mantiveram-se consistentes graças à coerência do programa Landsat, sistema de satélite de observação da Terra mais antigo dos Estados Unidos, tendo adquirido dados desde 1972 (USGS, 2017b).

Com o propósito de cobrir os sete municípios envolvidos no estudo, foram adquiridas para cada ano sete cenas de imagens adjacentes, sendo as órbitas/pontos: 223/62 datada em 22/07/88 e 05/07/99 (USGS, 1988a, 1999a), 223/63 datada em 22/07/88 e 13/07/99 (USGS, 1988b, 1999b), 223/64 datada em 22/07/88 e 21/07/99 (USGS, 1988c, 1999c), 224/62 datada em 14/08/88 e 28/07/99 (USGS, 1988d, 1999d), 224/63 datada em 14/08/88 e 05/08/99 (USGS, 1988e, 1999e), 224/64 datada em 29/07/88 e 28/07/99 (USGS, 1988f, 1999f) e 225/63 datada em 21/08/88 e 04/08/99 (USGS, 1988g, 1999g). A elevada porcentagem de cobertura de nuvens nesta região dificultou a aquisição de imagens com menos de 5% de cobertura de nuvem nos anos desejados. Sendo assim, precisou-se do uso complementar de uma segunda imagem de diferente data para duas das cenas, sendo as órbitas/pontos: 223/63 (USGS, 1999h) datada em 29/07/99 e 224/63 (USGS, 1999i) datada em 12/07/99. Após a aquisição dos dados, foi criado um banco de dados para armazenar as informações processadas, utilizando-se para isso, os softwares TerraAmazon (TerraAmazon, 2016) e PostgreSQL (PostgreSQL, 2012).

Inicialmente criou-se um projeto no TerraAmazon com objetivo de determinar a projeção geográfica a ser utilizada e sistema de referência para delimitar a área de estudo, importando os limites municipais da área de estudo, no formato vetorial, em escala 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). A partir desse ponto, foram elaboradas as composições coloridas RGB utilizando as bandas do infravermelho próximo (IVP), infravermelho médio (IVM) e vermelho (V) respectivamente, e o realce linear de contraste das imagens, de modo a melhorar a distinção entre as classes. Outra etapa importante do processamento foi o emprego do modelo linear de mistura espectral, nas bandas IVP, IVM e V das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7, para gerar as frações sombra, solo e vegetação. Os modelos lineares de mistura foram gerados mediante a seleção dos pixels puros, referentes aos componentes sombra, solo e vegetação, utilizando-se os mesmos valores de níveis de cinza (DN) nos dos anos analisados (Shimabukuro *et al.*, 1997).

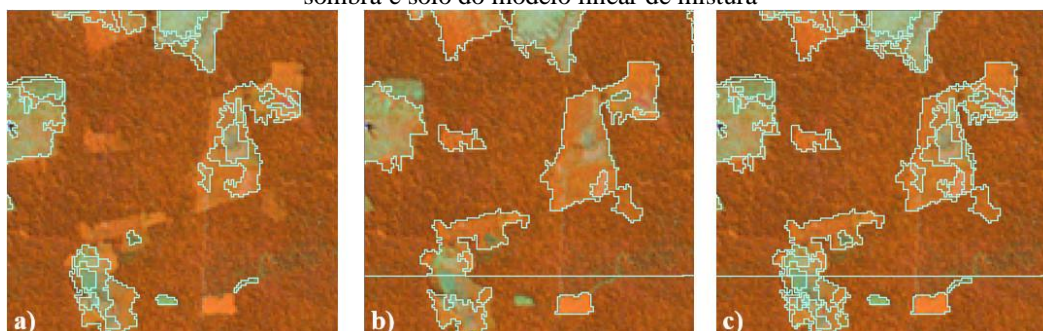
A seguir, aplicou-se o algoritmo de segmentação de imagens por crescimento de regiões. Este algoritmo agrupa pixels tendo por base dois limiares: similaridade e área. O limiar de similaridade indica a distância em que um pixel pode pertencer ao agrupamento e o limiar de área define a área mínima de cada grupo de pixels (Shimabukuro *et al.*, 1997). Utilizaram-se limiares de área e de similaridade de 16 e 8, respectivamente. Esta combinação já foi aplicada com bons resultados por Vasconcelos & Novo (2004) em parte da área de estudo, como também no PRODES (Câmara *et al.*, 2013).

Iniciou-se, então, o processo classificatório cujas imagens-fração (sombra e solo) segmentadas foram classificadas polígono a polígono. A chave de interpretação das classes foi baseada no PRODES Digital e no comportamento espectral dos alvos. As classes selecionadas foram: 1) floresta – todo tipo de formação florestal que não apresenta nenhuma interferência antrópica; 2) área antropizada – engloba as interferências nas formações florestais, relacionadas diretamente as atividades humanas (agricultura, agropecuária, áreas desmatadas, mosaicos de ocupação) e a solos expostos relacionados a planícies de inundação e bancos de areia; 3) área alagada – abrange toda a água do rio Tocantins a montante da barragem; 4) área não alagada – considera toda a água do rio Tocantins a jusante da usina; 5) água – compreende aos outros corpos de água (rios e lagos); 6) área urbana – considera as manchas urbanas, e grandes empreendimentos de engenharia como aeroportos e a barragem de Tucuruí; 7) nuvem e sombra de nuvem – sem informação espectral dos alvos encobertos.

Para a classificação polígono a polígono dos segmentos das imagens-fração sombra e solo, estes foram selecionados e classificados, segundo as respostas espectrais dos alvos na

composição colorida RGB das bandas IVP, IVM e V, dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7. Esta atividade foi realizada em escala 1:30.000, de forma a identificar o detalhamento dos contornos dos segmentos que define cada classe. Os polígonos da segmentação da imagem-fração sombra, permitiram identificar bem as classes hidrografia, nuvem (sombra) e áreas antropizadas (agricultura). Enquanto que os polígonos da segmentação da imagem-fração solo, permitiram identificar as manchas urbanas, e nuvens, como também permitiu classificar áreas antropizadas (pastagens e solos expostos), que não conseguiram ser discriminadas na imagem-fração sombra segmentada (Figura 2.2). Após o processo de classificação, realizou-se a edição matricial das áreas mal classificadas da área de estudo, mediante classificação visual em escala 1:30.000.

Figura 2.2- Imagem colorida de uma parcela da área de estudo, gerada a partir das imagens TM-Landsat 5 dos canais 3, 4 e 5, com as cores azul, vermelha e verde respectivamente, com as segmentações das imagem-fração sombra e solo do modelo linear de mistura



Pode-se observar que a segmentação da imagem-fração solo (a) permitiu identificar as áreas de pastagens e solos expostos (áreas antropizadas), e a segmentação da imagem-fração sombra (b) identificou as áreas de agricultura e regeneração florestal (áreas antropizadas). Imagem colorida RGB com as segmentações das imagem-fração sombra e solo (c).

2.2.3 Uso de métricas para análise espacial da paisagem

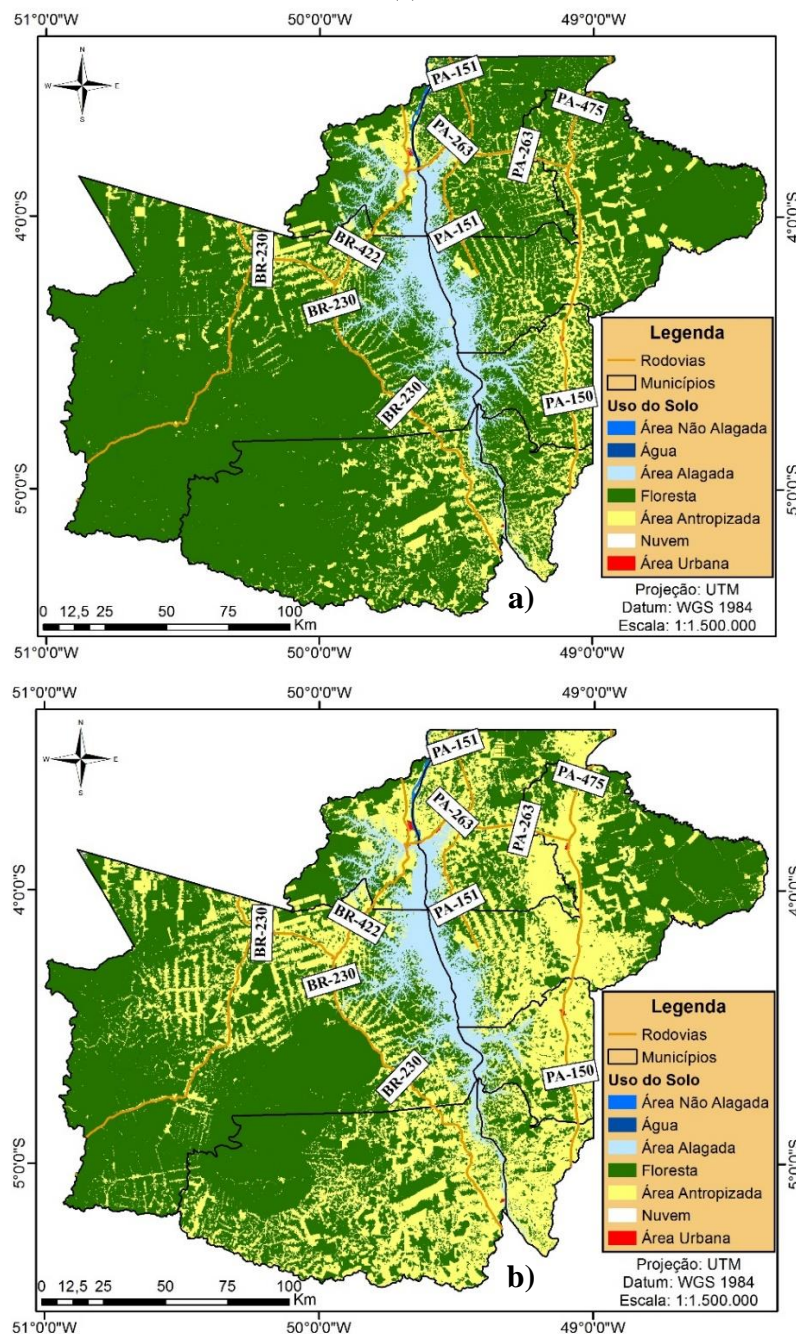
Com a cobertura da terra, a estrutura da paisagem foi quantificada, utilizando o software FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012) para as métricas de classes e paisagem. Desta maneira, ao nível de toda a paisagem e classes mapeadas, foram consideradas algumas das métricas usadas por Valente (2001), Ferraz & Vettorazzi (2003) e Vidolin *et al.* (2011), avaliaram-se as métricas de área dos fragmentos (AREA), área dos fragmentos das classes (CA), número de fragmentos das classes (NP), densidade dos fragmentos das classes (PD) e tamanho médio dos fragmentos das classes (MPS).

2.3 Resultados e discussão

Após a etapa de processamento de imagens, obtiveram-se os mapas classificados da cobertura da terra para os anos de 1988 e 1999 (Figura 2.3). Estes mapas possibilitaram gerar

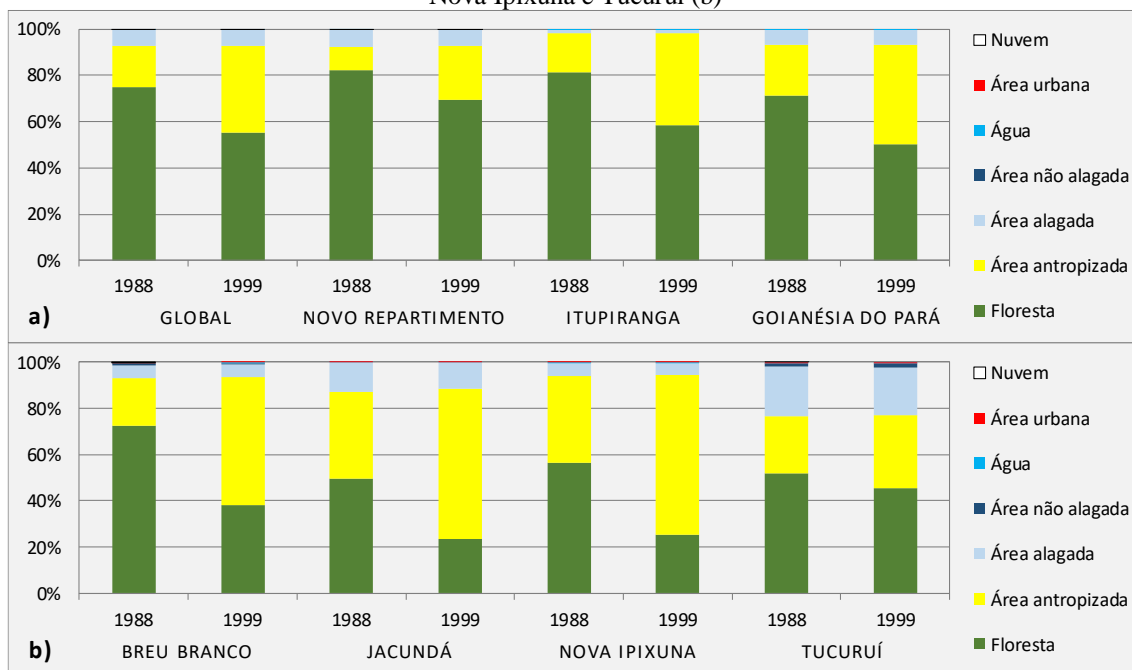
informações sobre os padrões espaciais de cobertura nos sete municípios afetados pelo reservatório da UHE Tucuruí, ao longo de um período de 11 anos. A partir da análise dos mapas de cobertura da terra, notam-se algumas alterações na paisagem dos municípios, os valores de área em hectares (ha) ocupados por cada classe nos anos de 1988 e 1999, e os valores de mudanças na área e porcentual de cada classe se encontram nas Tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4.

Figura 2.3- Mapas temáticos de cobertura da terra dos municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna e Novo Repartimento, derivados do processamento de imagens dos sensores Thematic Mapper e Enhanced Thematic Mapper Plus do satélite Landsat, referentes aos anos de 1988 (a) e 1999 (b)



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 2.4- Proporção das áreas de cobertura da terra nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga e Goianésia do Pará (a), e os municípios de Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí (b)



Ao analisar os resultados do mapeamento de toda a região de estudo, pode-se verificar que as áreas antropizadas e urbanas em 1999 foram cerca de duas vezes maiores em relação a 1988. Deste modo, a classe antropizada passou de 705.670 ha (17,70%) para 1.493.687 ha (37,48%), e a classe urbana passou de 1.474 ha (0,04%) para 2.824 ha (0,07%), gerando uma queda no predomínio da cobertura florestal de toda área de estudo (Tabela 2.1). No ano de 1988, $\frac{3}{4}$ da terra da região estava coberta por floresta (2.988.683 ha), enquanto que, no ano 1999 esse predomínio baixou para quase a metade de toda a paisagem (2.211.279 ha). Foi possível constatar que os municípios com os maiores aumentos de perdas de floresta foram Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará e Breu Branco.

Tabela 2.1- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999, para toda a região e o Município de Novo Repartimento

CLASSES	GLOBAL				NOVO REPARTIMENTO			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	275.987	264.227	6,92	6,63	116.131	110.578	7,56	7,20
Área não alagada	6.200	6.537	0,16	0,16	-	-	-	-
Água	6.024	6.740	0,15	0,17	1.591	1.533	0,10	0,10
Floresta	2.988.683	2.211.279	74,98	55,48	1.265.222	1.067.255	82,33	69,45
Área antropizada	705.670	1.493.687	17,70	37,48	153.577	356.789	9,99	23,22
Área urbana	1.474	2.824	0,04	0,07	72	211	0,00	0,01
Nuvem	1.692	436	0,04	0,01	209	436	0,01	0,03

No Município de Novo Repartimento, as áreas desmatadas passaram de 153.649 ha em 1988 (10,00%) para 356.999 ha em 1999 (23,23%), sendo este o município que experimentou a maior extensão de áreas desmatadas durante os onze anos de análise. Coincidentemente, segundo o mapeamento do ano 1988, o mesmo município abrange a maior parte do reservatório de Tucuruí, correspondendo ao 42,08% da represa (7,56% do município) (ver Tabela 2.1). Na área central do Município de Novo Repartimento se encontra uma região praticamente sem afetação, que corresponde à reserva indígena dos Parakanãs (Figuras 2.3a e 2.3b). No Município de Itupiranga, por sua vez, as áreas desmatadas passaram de 132.361 ha (16,83%) a 315.915 ha (40,18%), posicionando-se como o município com a segunda maior propagação de áreas desmatadas entre 1988 e 1999. Também foi possível verificar que as áreas antropizadas e urbanas para 1999 aumentaram 2,3 vezes, em relação ao ano 1988, passando de 132.215 ha (16,81%) a 315.574 ha (40,13%) em áreas antropizadas e de 146 ha (0,02%) a 339 ha (0,04%) em manchas urbanas. Este município aloja 4,3% do reservatório de Tucuruí (1,51 % do município), correspondendo a segunda menor área alagada pela represa (Tabela 2.2).

Tabela 2.2- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Itupiranga e Goianésia do Pará

CLASSES	ITUPIRANGA				GOIANÉSIA DO PARÁ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	11.854	10.568	1,51	1,34	45.982	45.618	6,56	6,51
Área não alagada	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	834	1.000	0,11	0,13	1.618	1.867	0,23	0,27
Floresta	641.281	458.847	81,55	58,35	500.677	352.962	71,43	50,35
Área antropizada	132.215	315.574	16,81	40,13	152.623	300.264	21,77	42,84
Área urbana	146	339	0,02	0,04	79	267	0,01	0,04
Nuvem	-	-	-	-	-	-	-	-

Tanto o Município Novo Repartimento, como o Município Itupiranga, localizados sobre a margem esquerda do reservatório, apresentaram os maiores crescimentos de áreas antropizadas no período analisado. No ano 1988, estas áreas estavam localizadas nas proximidades da represa, ao redor da rodovia Transamazônica (BR-230) e BR-422 (Figura 2.3a). Em Itupiranga, foi possível identificar duas manchas urbanas interconectadas pela BR-230, sendo a sede de Itupiranga a de maior tamanho (117 ha), situada na beira do reservatório de Tucuruí. No Município Novo Repartimento foram identificadas três manchas urbanas interconectadas pela BR-230, sendo a sede de Novo Repartimento a maior mancha urbana com 38 ha. Parte da BR-230 delimita a fronteira nordeste da reserva indígena dos Parakanãs.

No ano 1999, as áreas antropizadas seguem um padrão mais disperso ao redor da BR-230, BR-422 e estradas que conectam as pequenas vilas com a Transamazônica, sendo possível apreciar com facilidade as fronteiras noroeste, norte, este e sul da reserva indígena dos Parakanãs (Figura 2.3b). Constataram-se seis novas manchas urbanas no Município de Itupiranga, ligadas por estradas às manchas urbanas acentuadas na BR-230, onde a sede de Itupiranga continua sendo a mancha de maior área (200 ha). O Município de Novo Repartimento teve três novas manchas urbanas, ligadas também por meio de estradas à BR-230, onde a cidade de Novo Repartimento ainda é a de maior tamanho (141 ha).

Em relação ao Município de Breu Branco, as áreas desmatadas passaram de 81.637 ha em 1988 (20,77%) para 217.344 ha em 1999 (55,29%), e contém o 7,84% da represa de Tucuruí (5,51 % do município) (Tabela 2.3). No que concerne a Goianésia do Pará, suas áreas desmatadas foram praticamente duplicadas, passando de 152.702 ha em 1988 (21,78%) para 300.531 ha em 1999 (42,87%), sendo o município que experimentou a terceira maior extensão de áreas desmatadas ao longo dos onze anos analisados. Este é o município que alberga a segunda maior parte da represa de Tucuruí, o 16,66% do reservatório (6,56 % do município) (Tabela 2.2). Durante os 11 anos de análise na zona leste do município, encontra-se uma região de baixa afetação da cobertura florestal, especificamente a área compreendida entre o Rio Ararandeuá e o limite leste do município (Figuras 2.3b e 2.1).

Tabela 2.3- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Breu Branco e Jacundá

CLASSES	BREU BRANCO				JACUNDÁ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	21.642	21.311	5,51	5,42	25.106	23.022	12,54	11,50
Área não alagada	2.758	2.916	0,70	0,74	-	-	-	-
Água	1.230	1.478	0,31	0,38	37	64	0,02	0,03
Floresta	284.409	150.070	72,35	38,17	99.150	47.243	49,53	23,60
Área antropizada	81.471	216.976	20,72	55,19	75.627	129.415	37,78	64,65
Área urbana	166	368	0,04	0,09	273	449	0,14	0,22
Nuvem	1.443	-	0,37	-	-	-	-	-

Os municípios de Goianésia do Pará e Breu Branco, assentados nas margens superior e direita do reservatório de Tucuruí, correspondem ao segundo grupo de municípios de maiores crescimentos de áreas antropizadas. No ano 1988, estas áreas antropizadas estavam altamente concentradas ao redor da parte norte da represa, nas proximidades da jusante da usina hidrelétrica, e ao redor das rodovias PA-263, PA-151, PA-150 e PA-475 (Figura 2.3a). Em Breu Branco, detectaram-se duas manchas urbanas interconectadas mediante a PA-263,

uma das manchas corresponde a um segmento da barragem, e a outra mancha de 109 ha (a de maior tamanho) representa a cidade de Breu Branco, formada pelo remanejamento dos habitantes do antigo vilarejo Breu Velho, atualmente submerso pelo reservatório de Tucuruí (Netto & Neiva, 2011). No Município de Goianésia do Pará, detectou-se apenas uma mancha urbana de 79 ha, correspondente à sede de Goianésia do Pará, localizada na rodovia PA-150, próxima à interseção das rodovias PA-150, PA-263 e PA-475.

No ano 1999, as áreas antropizadas seguem um padrão mais disperso em torno do reservatório e ao redor das rodovias PA-263, PA-151, PA-150, PA-475 e estradas localizadas na região (Figura 2.3b). Detectaram-se três novas manchas urbanas no Município de Breu Branco, duas destas localizadas a jusante da usina, na beira do Rio Tocantins e conectadas à rodovia PA-151 por uma estrada, e a outra, localizada ao leste do reservatório, conectada também por uma estrada à rodovia PA-150. No entanto, a cidade de Breu Branco continua sendo a maior mancha urbana (284 ha) do município. No Município de Goianésia do Pará, por seu turno, identificou-se somente uma mancha a mais, localizada na rodovia PA-475, ao norte no município, onde a sede de Goianésia do Pará continua sendo a mancha urbana de maior tamanho (236 ha) no município.

Os municípios de Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí foram os que apresentaram as menores propagações de áreas desmatadas entre 1988 e 1999, passando de 75.900 ha (37,91%) a 129.863 ha (64,87%) em Jacundá, de 58.390 ha (37,49%) a 107.642 ha (69,11%) em Nova Ipixuna, e de 51.729 ha (24,90%) a 66.274 ha (31,90%) em Tucuruí. O baixo incremento de áreas desmatadas nestes três municípios, podendo-se associar, que no ano 1988, boa parte dos territórios dos municípios (entre 25 e 38%) já estavam cobertas por áreas antropizadas (ver Tabelas 2.3 e 2.4). Os municípios de Tucuruí e Jacundá abrangem a terceira e quarta maior parte do reservatório, correspondendo ao 16,21% (21,53% do município) e 9,1% (12,54% do município) respectivamente. Enquanto que, o 3,22% do reservatório (5,71% do município) é albergada pelo Município de Nova Ipixuna. De todos os municípios estudados, Tucuruí foi o que albergou as maiores áreas urbanas, passando de 688 ha em 1988 (0,33%) para 1.079 ha em 1999 (0,52%) no período analisado (Tabela 2.4).

No ano 1988, as áreas antropizadas dos municípios Jacundá e Nova Ipixuna já estavam dispersas por todo o território, com maior concentração aos arredores das rodovias PA-151 e PA-150, onde se acentuaram as duas únicas manchas urbanas detectadas, sendo estas, a cidade de Jacundá (273 ha) e a sede de Nova Ipixuna (45 ha), enlaçadas pela PA-150, rodovia que atravessa de norte a sul, dividindo pela metade o Município de Jacundá e parte do Município de Nova Ipixuna (Figura 2.3a). Na parte sul de Nova Ipixuna, também é possível

observar ampla concentração de áreas antropizadas, região influenciada pela proximidade e dinamismo da cidade de Marabá, localidade considerada entroncamento logístico, pela interligação de várias rodovias ao território nacional, por via aérea, ferroviária e fluvial (La Rovere & Mendes, 2000).

Tabela 2.4- Quantificação das áreas (em hectare) e a participação relativa das classes de cobertura da terra derivadas do processamento das imagens dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7 para os anos de 1988 e 1999 para os municípios de Nova Ipixuna e Tucuruí

CLASSES	NOVA IPIXUNA				TUCURUÍ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1988	1999	1988	1999	1988	1999	1988	1999
Área alagada	8.899	8.165	5,71	5,24	44.729	43.305	21,53	20,85
Área não alagada	-	-	-	-	3.251	3.415	1,56	1,64
Água	612	655	0,39	0,42	106	141	0,05	0,07
Floresta	87.848	39.287	56,40	25,22	107.888	94.608	51,93	45,54
Área antropizada	58.345	107.532	37,46	69,04	51.040	65.195	24,57	31,38
Área urbana	45	110	0,03	0,07	688	1.079	0,33	0,52
Nuvem	-	-	-	-	40	-	0,02	-

No Município de Tucuruí, localizado ao noroeste do reservatório, já se apresentavam extensas áreas antropizadas, com maior concentração ao redor da usina hidrelétrica, nas proximidades da jusante da usina, e ao redor das rodovias BR-422, PA-263 e estradas (Figura 2.3a). Estas rodovias interconectam quatro manchas urbanas observadas, correspondendo as de maior tamanho à cidade de Tucuruí (462 ha), acentuada a jusante da usina, na beira do Rio Tocantins, e o bairro Vila Permanente (236 ha), construída pela Eletronorte para acomodar as pessoas que trabalhavam na construção e operação da usina de Tucuruí (Caramelo & Cidade, 2004).

No ano 1999, as áreas antropizadas se apresentam muito mais estendidas em todo o território dos municípios de Jacundá e Nova Ipixuna, como também na superfície central e norte do Município de Tucuruí (Figura 2.3b). Nenhum destes três municípios teve incremento no número de manchas urbanas, mas quatro manchas aumentaram de tamanho, sendo estas a cidade de Jacundá (449 ha), a sede de Nova Ipixuna (110 ha), o bairro Vila Permanente (273 ha) e a cidade de Tucuruí (789 ha), sendo as cidades de Jacundá e Tucuruí as que representam as maiores manchas urbanas de toda a região de estudo, ao longo dos onze anos analisados.

Desde que surge a notícia da construção da hidrelétrica de Tucuruí na região, alguns dos municípios sofreram um grande aumento da população. Segundo dados de população do IBGE (1970), em 1970 os municípios de Tucuruí, Itupiranga e Jacundá tinham uma população de 9.921, 5.346 e 2.228 habitantes respectivamente, e para o ano de 1980, esses valores passaram para 61.140, 15.641 e 14.868 habitantes (IBGE, 1980). Ao final da década de 80 e

início da década de 90, começam a acontecer desmembramentos territoriais nos núcleos urbanos, criados em função dos deslocamentos populacionais e da submersão de localidades, formando-se os municípios de Goianésia do Pará, Breu Branco, Novo Repartimento e Nova Ipixuna, construídos com a finalidade de abrigar a população recolocada de seus centros de origem (La Rovere & Mendes, 2000).

Segundo dados de população do IBGE (1991), em 1991 os municípios de Tucuruí, Breu Branco, Novo Repartimento, Jacundá, Goianésia do Pará, Itupiranga e Nova Ipixuna tinham uma população de 54.330, 13.879, 31.585, 28.701, 12.358, 30.141 e 7.400 habitantes respectivamente, e para o ano 2000 esses valores foram de 73.798, 32.446, 41.817, 40.546, 22.685, 49.655 e 11.866 habitantes. Durante todo este tempo, se perdeu o predomínio da floresta, fato provocado pela execução dos projetos de “desenvolvimento”, implementação de estradas, incremento de áreas urbanas e áreas antropizadas, relacionadas a projetos agropecuários, ação de madeireiros e assentamentos (Chen *et al.*, 2015).

A Tabela 2.5 e a Figura 2.5 apresentam dados relativos ao número de fragmentos de floresta e cobertura da terra dos fragmentos, presentes nas paisagens dos anos de 1988 e 1999.

Tabela 2.5- Número de fragmentos de floresta nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí

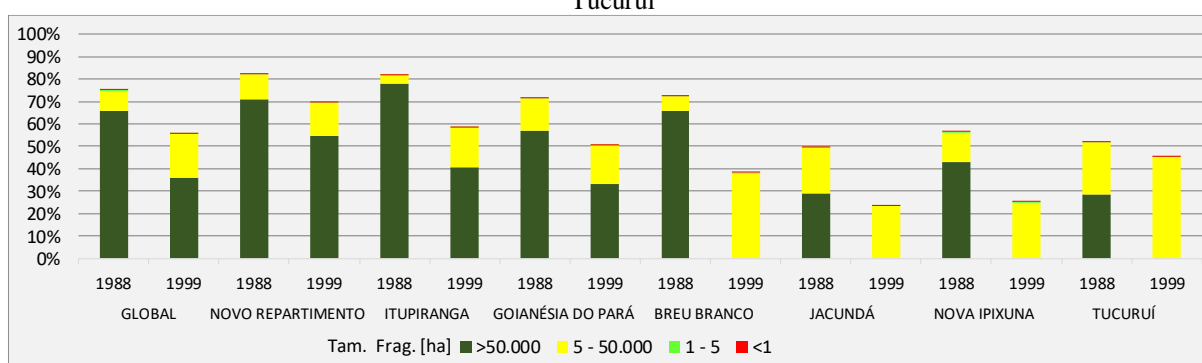
MUNICÍPIOS	1988				1999			
	<1 ha	1-5 ha	5-50.000 ha	>50.000 ha	<1 ha	1-5 ha	5-50.000 ha	>50.000 ha
GLOBAL	484	1.211	1.826	6	205	1.287	3.656	4
NOVO REPARTIMENTO	74	375	650	1	58	362	941	1
ITUPIRANGA	82	194	165	1	31	248	717	1
GOIANÉSIA DO PARÁ	144	216	319	2	78	210	587	2
BREU BRANCO	37	70	162	2	34	155	511	0
JACUNDÁ	85	125	218	1	21	95	363	0
NOVA IPIXUNA	115	148	156	1	18	156	357	0
TUCURUÍ	29	114	240	1	17	82	254	0

A nível regional, no ano 1988 o 65,81% da paisagem estava coberta por 6 fragmentos florestais de grande tamanho (>50.000 ha), enquanto que, no ano 1999 foram identificados 4 destes fragmentos florestais, que representam o 36,03% da paisagem. Este resultado corrobora com a queda do predomínio da cobertura florestal de toda área de estudo, produzindo-se fragmentações dos grandes segmentos de área florestal. Contudo, estes resultados globais escondem informação das mudanças reais, acontecidas nas paisagens de cada município.

No ano de 1988, os municípios Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento foram os únicos municípios que com menos do 1% dos fragmentos florestais (2, 2, 1 e 1 fragmentos maiores a 50.000 ha, respectivamente) apresentaram uma cobertura

florestal maior do 50% de suas superfícies. No ano de 1999, só o Município de Novo Repartimento foi o que manteve a cobertura florestal em mais do 50% do território, com menos do 1% dos fragmentos florestais (um fragmento maior a 50.000 ha), em que parte deste fragmento, corresponde a um segmento da reserva indígena dos Parakanãs. Mesmo assim, este município teve um incremento de 23,82% de fragmentos, e perda de 12,88% da cobertura florestal. No caso de Goianésia do Pará, se mantiveram os dois fragmentos florestais maiores a 50.000 ha, porém, que só cobrem o 33,39% do município, como também, a diminuição em 21,07% da cobertura florestal e aumento de 29% no número de fragmentos.

Figura 2.5- Taxas de cobertura da terra dos fragmentos de floresta nos anos de 1988 e 1999, para toda a região e os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí



O Município de Breu Branco, para o ano 1999, não apresentou nenhum fragmento florestal maior que 50.000 ha, e a soma de todas as áreas dos fragmentos florestais atingiu menos do 40% do município (Figura 2.5), com um aumento de 158% de fragmentos, e perda do 34,17% da cobertura florestal. Ou seja, mais fragmentos em poucas áreas de floresta. Acontecimento similar, apresentou o Município de Itupiranga, apesar de manter um fragmento florestal maior a 50.000 ha, este fragmento representa 40,59% do município (Figura 2.5), e corresponde exclusivamente a um segmento da reserva indígena dos Parakanãs, mas com um incremento de 126% dos fragmentos florestais e redução de 23,2% da cobertura florestal. Pode-se afirmar que estes dois municípios foram os que apresentaram os maiores incrementos de fragmentos florestais.

Os municípios de Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí, já tinham valores próximos a 50% de cobertura florestal no ano de 1988, apresentando pelo menos um fragmento florestal maior a 50.000 ha em cada município. Cobrindo estes fragmentos florestais uma área aproximada de 29% do município de Jacundá e Tucuruí, e o 42,83% do município de Nova Ipixuna (Figura 2.5). Para o ano de 1999, estes municípios apresentam menores extensão de áreas desmatadas e número de fragmentos florestais, comparados aos municípios Breu

Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento, a exceção de Jacundá, que apresenta uma perda de cobertura florestal de 25,93%.

O número (NP), densidade (PD) e tamanho médio dos fragmentos de floresta (MPS) existentes nos sete municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí, podem ser observados na Tabela 2.6. Constatando-se que o Município de Novo Repartimento é o que apresenta o maior número de fragmentos florestais no ano 1988, seguido pelos municípios de Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Tucuruí e Breu Branco. Contudo, ao analisar os números de fragmentos dos municípios no ano de 1999, todos eles apresentaram um acréscimo, com exceção de Tucuruí, porém esse acréscimo não aconteceu de forma proporcional, gerando alteração no *ranking* de municípios com maior número de fragmentos florestais. No ano de 1999, Novo Repartimento continua sendo o município que apresenta o maior número de fragmentos florestais, seguido pelos municípios de Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Nova Ipixuna, Jacundá e Tucuruí. Constatando-se que, os municípios que apresentaram os maiores incrementos de fragmentos florestais foram Itupiranga (555), Breu Branco (429).

Tabela 2.6- Número (NP), densidade (PD) e tamanho médio de fragmentos florestais (MPS) nos anos de 1988 e 1999, para os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna e Tucuruí

MUNICIPIOS	1988			1999		
	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]
GLOBAL	3.527	0,09	847,37	5.152	0,13	429,21
NOVA IPIXUNA	420	0,27	209,16	531	0,34	73,99
JACUNDÁ	429	0,21	231,12	479	0,24	98,63
TUCURUÍ	384	0,18	280,96	353	0,17	268,01
GOIANÉSIA DO PARÁ	681	0,10	735,21	877	0,13	402,47
BREU BRANCO	271	0,07	1.049,48	700	0,18	214,39
NOVO REPARTIMENTO	1.100	0,07	1.150,20	1.362	0,09	783,59
ITUPIRANGA	442	0,06	1.450,86	997	0,13	460,23

Segundo McGarigal & Moks (1995), as paisagens que apresentem menores valores do tamanho médio de fragmento, devem ser consideradas como as mais fragmentadas, considerando-se bom indicativo do grau de fragmentação, por ser função do número de fragmentos e área ocupada de toda a floresta. Quando é avaliado em conjunto com a densidade de fragmentos, é possível ter um melhor entendimento de diferentes aspectos da estrutura da paisagem (Valente, 2001). Os resultados da Tabela 2.6 apontam um processo de fragmentação em toda a região de estudo, evidenciado pelo aumento da densidade (PD) e diminuição dos tamanhos médios das manchas (MPS) florestais. Ao analisar as métricas de tamanho médios e densidade das manchas em toda a região, a fragmentação fica mais

evidente, em razão do aumento do número de manchas na paisagem (NP), que eram 3.527 em 1988 e passaram para 5.152 manchas em 1999. A fragmentação, fez com que o tamanho médio das manchas (MPS) diminuísse, passando de 847,37 ha em 1988 para 429,21 ha em 1999. Assim, o aumento do número de manchas também fez com que a densidade das manchas (PD) fosse maior em 1999.

Assim, pode-se começar a ter uma representação do nível de fragmentação florestal da paisagem dos municípios da região de estudo. Os municípios que tem os menores tamanhos médios de fragmentos são os que apresentaram a maior densidade de fragmentos, porém, mais fragmentados, possibilitando organizar os municípios por seu nível de fragmentação. Sendo para o ano 1988, da maior para a menor fragmentação, tem-se os municípios de: Nova Ipixuna, Jacundá, Tucuruí, Goianésia do Pará, Breu Branco, Novo Repartimento e Itupiranga. Assim como, para o ano 1999, da maior para a menor fragmentação, destacam-se os municípios de: Nova Ipixuna, Jacundá, Breu Branco, Tucuruí, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento. Constatando-se que para o ano 1999, o Município de Breu Branco ingressou no grupo dos municípios de maior fragmentação, inclusive superando ao Município de Tucuruí.

Segundo Laurance & Vasconcelos (2009), a fragmentação florestal causa uma diversidade de efeitos, alterando o tamanho e a dinâmica das populações, as interações tróficas e os processos ecossistêmicos. Neste caso de estudo, a fragmentação criou um grande número de fragmentos, propiciando a que as espécies que ocupam o interior de cada fragmento sofram uma redução em suas populações, já que os efeitos do tamanho do fragmento e da perda de hábitat atuam em conjunto.

2.4 Conclusão

Os resultados obtidos permitem concluir que houve modificações no padrão espacial da cobertura florestal no entorno do reservatório de Tucuruí, entre o período de finalização da I fase e início da II fase de construção da UHE Tucuruí. Ao analisar esse padrão espacial na escala de municípios, constatamos que o mesmo apresenta comportamentos diferentes para cada um deles, sendo importante sua identificação para determinar as possíveis causas. Neste estudo de caso, foram investigados os níveis de fragmentação florestal, ao longo de um período de 11 anos, nos sete municípios afetados pela represa de Tucuruí, o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na bacia Amazônica.

Constatou-se que a taxa de desmatamento de toda a região foi de 70.673 ha/ano, enquanto que as taxas de desmatamento para cada município foram de 1.207 ha/ano em Tucuruí, 4.415 ha/ano em Nova Ipixuna, 4.719 ha/ano em Jacundá, 12.213 ha/ano em Breu Branco, 13.429 ha/ano em Goianésia do Pará, 16.585 ha/ano em Itupiranga e 17.997 ha/ano em Novo Repartimento. Verifica-se que o desmatamento dos municípios não foi proporcional à porcentagem do reservatório nestes municípios, com exceção de Novo Repartimento, que é o município que abrange o 42,08% da represa (21,53% do município) e, apresenta a maior propagação de áreas desmatadas neste período, podendo estar vinculada aos diferentes tipos de uso da água.

Ao avaliar os níveis de fragmentação florestal da paisagem, os municípios de Nova Ipixuna, Jacundá e Tucuruí, apresentaram os maiores níveis de fragmentação no ano de 1988, onde o 25 a 38% de seus territórios já estavam desmatados. Para o ano de 1999, se adicionou a este *ranking* o Município de Breu Branco, superando em nível de fragmentação ao Município de Tucuruí, ao mesmo tempo que, Breu Branco foi o município que apresentou a maior taxa de crescimento populacional e segunda maior extensão de manchas urbanas nos 11 anos analisados.

Estes quatro municípios, no ano de 1999 possuíam entre 32% e 69% de seus territórios desmatados, dos quais, dois deles (Tucuruí e Jacundá) apresentavam as maiores manchas urbanas e um deles a maior população (Tucuruí). Todos estes municípios altamente fragmentados, comparando-se aos da região de estudo, coincidem localizados na margem superior e direita do reservatório de Tucuruí, em que, parte destas regiões é atravessada pelas rodovias BR-422, PA-150 e PA-263, conectando os municípios de maiores manchas urbanas da região (Tucuruí, Jacundá, Breu Branco e Nova Ipixuna) com a dinâmica cidade de Marabá. Pode-se concluir que o alto nível de fragmentação está associado à conectividade das rodovias entre as manchas urbanas destes municípios, facilitando o acesso e conversão de áreas de floresta em pasto, atividades desenvolvidas nos arredores destas manchas urbanas e rodovias.

Finalmente, os municípios de Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento foram os que apresentaram os menores níveis de fragmentação florestal, sendo os únicos municípios em toda a região, que até o ano 1999 ainda conservaram fragmentos florestais de grande tamanho (>50.000 ha), ajudando a sua preservação florestal. Parte destes fragmentos corresponde à reserva indígena de Parakanãs e áreas sem aberturas de estradas.

2.5 Referências

- ANA – Agência Nacional de Águas. 2009. *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: Relatório síntese*. Brasília, ANA/SPR, 256p.
- Bermann, C. 2012. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. *Novos Cadernos NAEA*, 15(1): 5-23.
- Câmara, G.; Valeriano, D. & Viane, J. 2013. *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal – Projeto PRODES*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 37p.
- Caramelo, S.U.J. & Cidade, L.C.F. 2004. Gestão do território e conflitos ambientais na represa de Tucuruí na Amazônia brasileira. *POLÍGONOS. Revista de Geografia*, 14: 53-77.
- Carneiro Filho, A. & Souza, O.B. 2009. *Atlas de Pressões e Ameaças às Terras Indígenas na Amazônia Brasileira*. São Paulo, Instituto Socioambiental, 47p.
- Chen, G.; Powers, R.P.; Carvalho, L.M.T. & Mora, B. 2015. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Applied Geography*, 63: 1-8.
- Fearnside, P.M. 1999. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management*, 24(4): 483-495.
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. *Environmental Management*, 27(3): 377-396.
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and The Energy Policy Implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133(1-4): 69-96.

- Fearnside, P.M. 2014. *Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica*. Lima, DAR/CLAES, 55p.
- Ferraz, S.F.B. & Vettorazzi, C.A. 2003. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. *Revista Árvore*, 27(4): 575-583.
- Ferreira, L.V.; Cunha, D.A.; Chaves, P.P.; Matos, D.C.L. & Parolin, P. 2013. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3): 1013-1023.
- Finer, M. & Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon Connectivity. *PLoS ONE*, 7(4): e35126.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1970. *Censo demográfico: 1970*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1980. *Censo demográfico: 1980*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1991. *Censo demográfico: 1991*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Malhas digitais: 2015*. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2016.
- La Rovere, E.L. & Mendes, F.E. 2000. *Tucuruí Hydropower Complex, Brazil*. Cape Town, World Commission on Dams, 195p.
- Laurance, W.F. & Vasconcelos, H.L. 2009. Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3): 434-451.
- Lira, T.M. & Chaves, M.P.S.R. 2016. Comunidades ribeirinhas na Amazônia: organização sociocultural e política. *Interações*, 17(1): 66-76.

- Manyari, W.V. & Carvalho Jr, O.A. 2007. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. *Energy Policy*, 35(12): 6526-6534.
- McGarigal, K. & Marks, B.J. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Portland, Department of Agriculture/Forest Service/Pacific Northwest Research Station, 122p.
- McGarigal, K.; Cushman, S.A. & Ene, E. 2012. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Amherst, University of Massachusetts. Disponível em:
<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Netto, B.M. & Neiva, É. 2011. Além da energia: Preservação e desenvolvimento no entorno de Tucuruí. In: ELETROBRAS, *Hidreletricidade e desenvolvimento: Exemplos de usinas das empresas Eletrobras prenunciam impactos positivos de Belo Monte*. Rio de Janeiro, Sistema Eletrobras, p. 24-26.
- PostgreSQL. 2012. *PostgreSQL version 9.4 for Windows*. Open Source Object-Relational Database System. Disponível em: <https://www.postgresql.org>.
- Rodrigues, W.; Nogueira, J.M. & Carvalho, E. 2009. Mensuração dos Impactos Ambientais de Empreendimentos Hidroelétricos: O uso do Método de Valoração Contingente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(2): 39-45.
- Shimabukuro, Y.E.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C. & Duarte, V. 1997. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 16p.

- Souza, A.C.C. 2008. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7): 1843-1863.
- TerraAmazon. 2016. *TerraAmazon version 4.6.2 for Windows*. São Jose dos Campos, INPE/FUNCATE. Disponível em: <http://terraamazon.org/index.php>.
- Tundisi, J.G; Goldemberg, J.; Matsumura-Tundisi, T. & Saraiva, A.C.F. 2014. How many more dams in the Amazon? *Energy Policy*, 74: 703-708.
- USGS – United States Geological Survey. 1988a. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/62 de 22 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988b. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/63 de 22 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988c. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/64 de 22 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988d. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/62 de 14 de agosto de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988e. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/63 de 14 de agosto de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988f. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 224/64 de 29 de julho de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1988g. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 225/63 de 21 de agosto de 1988.
- USGS – United States Geological Survey. 1999a. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/62 de 05 de julho de 1999.
- USGS – United States Geological Survey. 1999b. Imagem Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5. Órbita/Ponto 223/63 de 13 de julho de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999c. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 223/64 de 21 de julho de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999d. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 224/62 de 28 de julho de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999e. Imagem Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 224/63 de 05 de agosto de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999f. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 224/64 de 28 de julho de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999g. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 225/63 de 04 de agosto de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999h. Imagem Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 223/63 de 29 de julho de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999i. Imagem Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Órbita/Ponto 224/63 de 12 de julho de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 2017a. *Landsat processing details*. Disponível em:

<https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>. Acesso em: 25 ago. 2017.

USGS – United States Geological Survey. 2017b. *Landsat missions timeline*. Disponível em:

<https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>. Acesso em: 25 ago. 2017.

Valente, R.O.A. 2001. *Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP*.

Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo,
Dissertação de Mestrado, 144p.

Vasconcelos, C.H. & Novo, E.M.L.M. 2004. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir

da segmentação e classificação de imagens - fração solo, sombra e vegetação

derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5,

na região do reservatório de Tucuruí - PA. *Acta Amazônica*, 34(3): 487-493.

Vidolin, G.P.; Biondi, D. & Wandembruck, A. 2011. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. *Revista Árvore*, 35(3): 515-525.

Wood, C.H. & Porro, R. 2002. *Deforestation and Land Use in the Amazon*. Gainesville, University Press of Florida, 385p.

CAPÍTULO 3 – MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DA PAISAGEM: INÍCIO DA FASE II E FIM DE CONSTRUÇÃO DA UHE TUCURUÍ

ANÁLISE DA COBERTURA DA TERRA NO ENTORNO DE UMA HIDRELÉTRICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA⁴

Resumo

O artigo analisa o padrão espacial das alterações na cobertura da terra nos municípios diretamente afetados pelo reservatório de Tucuruí. Esta análise foi feita usando imagens de satélite Landsat. Foi realizado o mapeamento das classes de cobertura da terra e a caracterização quantitativa das classes presentes na região, entre os períodos de início da fase II e a conclusão da construção da usina hidrelétrica de Tucuruí. O estudo foi desenvolvido em duas etapas, a primeira corresponde à aplicação do modelo linear de mistura em imagens Landsat-TM e ETM+ segmentadas, efetuado para o mapeamento das classes de cobertura da terra. A segunda, para o cálculo das métricas de paisagem, com o objetivo de caracterizar quantitativamente as classes. Os resultados revelaram alterações no padrão espacial de cobertura florestal ao redor do lago Tucuruí. O município de Novo Repartimento foi o que apresentou a maior expansão de áreas desmatadas, sendo este, o município que abriga a maior parte do reservatório. O alto nível de fragmentação está associado a estradas e caminhos vicinais da região, permitindo a conectividade entre manchas urbanas, facilitando o acesso a novas áreas e a conversão de florestas em grandes áreas destinadas ao agronegócio.

Palavras-chave: Cobertura da terra; Usinas hidrelétricas; Barragens; Tucuruí.

Abstract

The article analyzes the spatial pattern of alterations in land cover in the municipalities directly affected by the Tucuruí reservoir. This analysis was carried out by using Landsat satellite images. The mapping of the land cover classes and the quantitative characterization of the classes present in the region were carried out between the start period of the II phase and the conclusion of the construction of the Tucuruí hydroelectric power plant. The study was carried out in two phases, the first one corresponds to the application of the linear model of mixing in Landsat-TM and ETM+ segmented images, executed for the mapping of the

⁴ Submetido na Revista Anuário do Instituto de Geociências, Qualis B1, em Ciências Ambientais, artigo original em língua espanhola.

land cover classes. The second, corresponds to the calculation of landscape metrics, with the purpose of quantitatively characterizing the classes. The results revealed alterations in the spatial pattern of forest cover around the Tucuruí Lake. The municipality of Novo Repartimento was the one that presented the largest expansion of deforested areas and is also the municipality that houses most of the reservoir. The high level of fragmentation is associated with highways and country roads in the region, which allow connectivity between urban spots, facilitating access to new areas and conversion of forests into large areas for agribusiness.

Keywords: Land cover; Hydroelectric power plant; Dam; Tucuruí.

3.1 Introdução

O planejamento e construção de empreendimentos hidrelétricos na Amazônia é de grande interesse regional, cada vez mais atraente como fonte de energia, por englobar todos os principais afluentes do rio Amazonas (Finer & Jenkins, 2012; Fearnside, 2014). A região Amazônica andina tem um grande potencial de geração de energia hidrelétrica, por seus altos índices pluviométricos e pela topografia montanhosa, enquanto a Amazônia brasileira é menos favorável devido à sua configuração geomorfológica, com gradientes de altura que exigem grandes áreas de acumulação, propensos a sedimentação e inundação de áreas extensas (Junk & Mello, 1990; Finer & Jenkins, 2012).

A crise do petróleo, entre 1972 e 1979, e o incentivo do governo japonês levaram à construção da usina hidrelétrica de Tucuruí, no sudeste do Estado do Pará. O objetivo era desenvolver a indústria eletro-intensiva do alumínio na Amazônia brasileira (Silva, 2001; Coelho *et al.*, 2010; Fearnside, 2016). Os recursos hídricos da região são estratégicos para o desenvolvimento socioeconômico, dada a extensão das áreas potencialmente irrigáveis para agricultura, agronegócio, navegação, pesca e turismo, além de seu grande potencial hidrelétrico (ANA, 2009).

A energia hidrelétrica é renovável, “limpa”, eficiente e permite o uso múltiplo de água (Blanco *et al.*, 2008, Pottmaier *et al.*, 2013). No entanto, sabe-se que a instalação desse tipo de empreendimento na Amazônia implica grandes alterações na cobertura da terra, relacionadas às mudanças na dinâmica populacional e infraestruturas complementares. Resultando em degradação e perda de florestas, que fragmentam a paisagem em torno desses megaprojetos e prejudicam o modo de vida das populações locais, enquanto os benefícios energéticos

ocorrem em outras regiões (Fearnside, 1999, 2001; Sperling, 2012; Ferreira *et al.*, 2013; Finer & Jenkins, 2012).

Desta forma, destaca-se a importância do mapeamento da cobertura da terra, como mecanismo de identificação e espacialização da paisagem. Neste estudo de caso, foi proposta a combinação de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e métricas de paisagem. O propósito foi determinar e avaliar os padrões de desmatamento, altamente concentrados em torno do lago Tucuruí, em um período de onze anos de operação e expansão da usina hidrelétrica de Tucuruí. É importante ter em mente, que a usina hidrelétrica de Tucuruí foi o primeiro projeto hidrelétrico de grande escala na região (Souza, 2008; Chen *et al.*, 2015); e para seus 32 anos de operação, é um caso ideal para entender os impactos de grandes reservatórios ao longo do tempo na Amazônia. Assim, é possível prever possíveis impactos ambientais e sociais de futuros projetos hidrelétricos na região.

O objetivo deste artigo foi avaliar os padrões espaço-temporais de desmatamento, causados pela construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no período posterior à fase inicial de expansão da hidrelétrica e inauguração das eclusas de Tucuruí, de 1999 a 2010, respectivamente. O estudo corresponde ao segundo estágio de uma completa análise multitemporal da cobertura da terra nos 32 anos de operação da usina hidrelétrica. Desta forma, foi possível verificar as alterações ambientais causadas pela implantação da barragem, em relação à fragmentação florestal ao redor do reservatório.

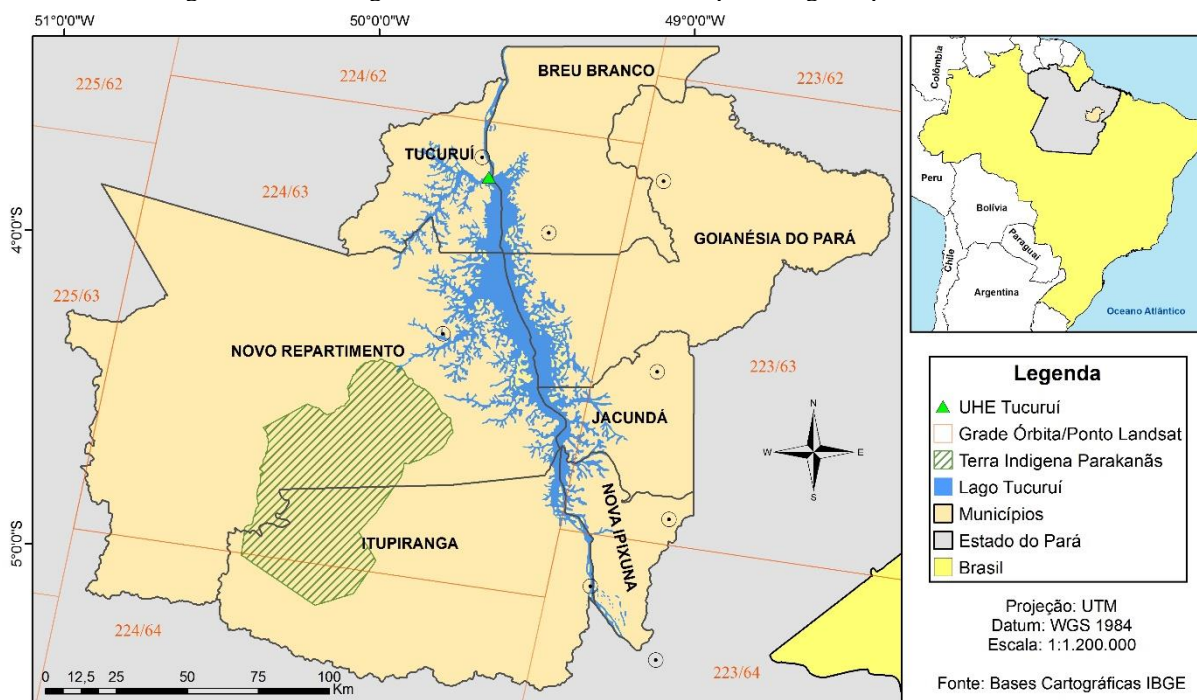
3.2 Materiais e métodos

A área de estudo é delimitada entre latitudes 03° 24' e 05° 28' S e 48° 22' e 50° 59' W. Corresponde a todos os municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí, sendo eles: Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco e Tucuruí (Figura 3.1). É uma região de floresta tropical e clima tropical úmido (segundo a classificação de Köppen), com moderado período de seca entre julho e setembro (ANA, 2009).

A usina hidrelétrica de Tucuruí foi o primeiro projeto hidrelétrico de grande escala na região amazônica (Manyari & Carvalho Jr, 2007; Fearnside, 2014). O reservatório de Tucuruí, formado pelo represamento do rio Tocantins, afluente do rio Amazonas no estado do Pará (Figura 3.1), foi preenchido e inaugurado em 1984, criando uma área de 2.430 km² de lâmina de água represada (Fearnside, 1999, 2002; La Rovere & Mendes, 2000). As florestas tropicais da região experimentaram um alto grau de fragmentação, algumas árvores foram inundadas

pela barragem. No entanto, o desmatamento ocorreu ao redor do reservatório (Fearnside, 2002; Manyari & Carvalho Jr, 2007).

Figura 3.1- A barragem de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nas malhas cartográficas do IBGE

Na primeira fase de construção, a usina hidrelétrica de Tucuruí possuía uma capacidade instalada de 4.000 MW (*megawatts*) de energia elétrica (Fearnside, 1999; La Rovere & Mendes, 2000). Em 1998 iniciou sua expansão, etapa que terminou em 2007, atingindo uma capacidade instalada de 8.370 MW de energia elétrica (Fearnside, 2002). Em 2010, foram inauguradas as eclusas de Tucuruí, o que permitiu devolver a navegabilidade pelo rio Tocantins, encerrando-se as obras do projeto hidrelétrico de Tucuruí (Eletronorte, 2010; MPDG, 2012).

3.2.1 Processamento de dados do sensor remoto

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat, adquiridas a partir do acervo de imagens do Serviço Geológico Americano, com nível de correção L1T (*Level 1 Terrain*), ortorretificadas com projeção em UTM e datum WGS1984 (USGS, 2017a). As imagens correspondem aos meses de julho e agosto de 1999, e de maio a setembro de 2010. Os dados de 2010 foram coletados pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) - Landsat 5, enquanto os dados de 1999 foram adquiridos pelos sensores TM-Landsat 5 e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) - Landsat 7. Embora dois sensores tenham sido utilizados na aquisição de dados, a extensão das imagens, a geometria, a resolução espacial e a qualidade destes,

permaneceram consistentes, em virtude da coerência do programa Landsat, sistema de satélite mais antigo dos Estados Unidos para a observação da Terra, adquirindo dados desde 1972 (USGS, 2017b).

Para abranger os sete municípios de interesse, foram adquiridas sete cenas de imagens adjacentes para cada ano de análise, sendo as órbitas/pontos: 223/62 datada em 05/07/99 e 03/07/10 (USGS, 1999a, 2010a), 223/63 datada em 13/07/99 e 05/09/10 (USGS, 1999b, 2010b), 223/64 datada em 21/07/99 e 03/07/10 (USGS, 1999c, 2010c), 224/62 datada em 28/07/99 e 26/07/10 (USGS, 1999d, 2010d), 224/63 datada em 05/08/99 e 26/07/10 (USGS, 1999e, 2010e), 224/64 datada em 28/07/99 e 26/07/10 (USGS, 1999f, 2010f) e 225/63 datada em 04/08/99 e 15/06/10 (USGS, 1999g, 2010g). Devido à alta porcentagem de cobertura de nuvens na região, o uso complementar de uma segunda imagem foi requerido dentro dos meses de interesse para cinco cenas, sendo as órbitas/pontos: 223/62 datada em 17/08/09 (USGS, 2009a), 223/63 datada em 29/07/99 e 16/05/10 (USGS, 1999h, 2010h), 223/64 datada em 01/08/09 (USGS, 2009b), 224/63 datada em 12/07/99 e 21/06/09 (USGS, 1999i, 2009c) e 224/64 datada em 08/08/09 (USGS, 2009d). Após a aquisição das imagens de satélite, foi criado um banco para armazenar os dados processados. Para isso, foram utilizados os programas TerraAmazon (TerraAmazon, 2016) e PostgreSQL (PostgreSQL, 2012).

Previamente foi criado um projeto no TerraAmazon com o objetivo de estabelecer a projeção geográfica a ser utilizada e importar os limites municipais no formato vetorial, em escala 1:250.000, fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). Além disso, foram elaboradas as composições coloridas RGB utilizando as bandas do infravermelho próximo (IVP), infravermelho médio (IVM) e vermelho (V), respectivamente, e o realce linear de contraste das imagens, para discriminar melhor as classes. As imagens-fração solo, sombra e vegetação também foram geradas, utilizando o modelo linear de mistura espectral das bandas IVP, IVM e V, nas imagens dos sensores TM-Landsat 5 y ETM+-Landsat 7. Foi necessário selecionar pixels puros referentes aos componentes solo, sombra e vegetação, utilizando-se os mesmos valores de níveis de cinza nos anos analisados (Shimabukuro *et al.*, 1997).

Em seguida, foi utilizado o algoritmo de segmentação de imagens por crescimento de regiões. Esse algoritmo agrupa os pixels tendo por base os limiares de similaridade e área. O limiar de similaridade indica a distância em que um pixel pode pertencer ao agrupamento e o limiar de área define a área mínima de cada grupo de pixels (Shimabukuro *et al.*, 1997). Em particular, utilizou-se limiares de similaridade e de área de 8 e 16, respectivamente. Esta combinação foi aplicada com bons resultados por Vasconcelos & Novo (2004) em três

municípios da região de estudo, bem como empregada no projeto de monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite (PRODES Digital) (Câmara *et al.*, 2013).

As imagens-fração (sombra e solo) segmentadas foram classificadas polígono a polígono, a modo que a chave de interpretação das classes foi baseada no PRODES Digital e no comportamento espectral dos alvos. As classes selecionadas foram: 1) floresta – todo tipo de formação florestal que não apresentam interferência antrópica; 2) área antropizada – compreende as interferências nas formações florestais, diretamente relacionadas às atividades humanas (pecuária, agricultura, mosaicos de ocupação, áreas desmatadas) e solos expostos, relacionados a planícies de inundação e bancos de areia; 3) área alagada – cobre toda a água do rio Tocantins a montante da barragem; 4) área não inundada – considera toda a água do rio Tocantins a jusante da barragem; 5) água – engloba as outras massas de água (rios, lagos); 6) área urbana – compreende as manchas urbanas e grandes empreendimentos de engenharia, como a barragem de Tucuruí e aeroportos; 7) nuvem e sombra de nuvens – nenhuma informação espectral dos alvos encobertos.

Para a classificação polígono a polígono dos segmentos das imagens-fração sombra e solo, foram selecionados e classificados, segundo a resposta espectral dos alvos na composição colorida RGB das bandas IVP, IVM e V, dos sensores TM-Landsat 5 e ETM+-Landsat 7. A classificação foi realizada em escala de 1:30.000, a fim de distinguir o contorno dos segmentos que demarcam cada classe. Os polígonos da segmentação da imagem-fração sombra, permitiram identificar bem as classes água, nuvem (sombra) e área antropizada (agricultura). Os polígonos da segmentação da imagem-fração solo permitiram identificar as manchas urbanas e nuvens, bem como discriminar reconhecer áreas antropizadas (pastagens e solos expostos), que não foram discriminadas na imagem-fração sombra segmentada. Por fim, foi realizada a edição matricial das áreas mal classificadas, mediante classificação visual em escala 1:30.000.

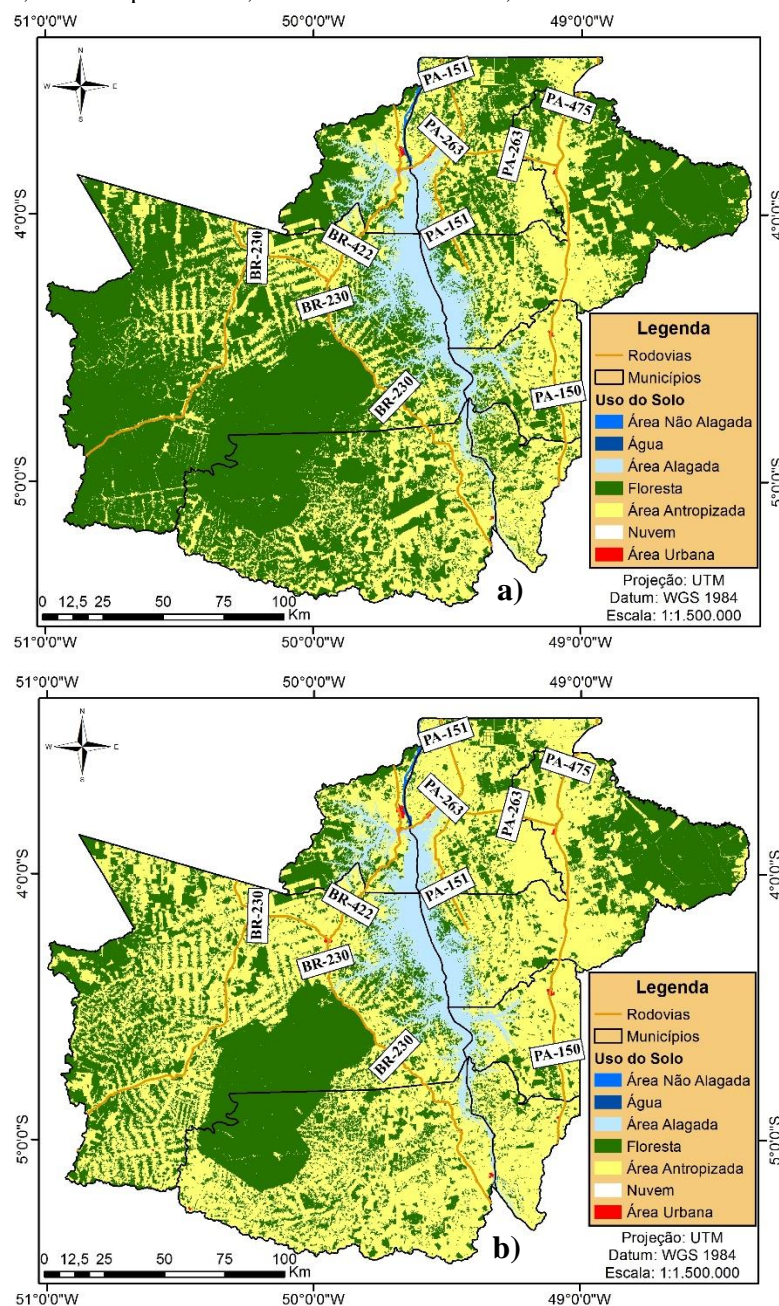
3.2.2 Métricas para análise espacial da paisagem

A estrutura da paisagem da região em análise foi quantificada utilizando o software FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012), para as métricas de classes e paisagem. Dessa forma, foram consideradas algumas métricas utilizadas por Valente (2001), Ferraz & Vettorazzi (2003) e Vidolin *et al.* (2011), calcularam-se as métricas de área dos fragmentos (AREA), área dos fragmentos das classes (CA), número de fragmentos das classes (NP), densidade dos fragmentos das classes (PD) e tamanho médio dos fragmentos das classes (MPS).

3.3 Resultados e discussão

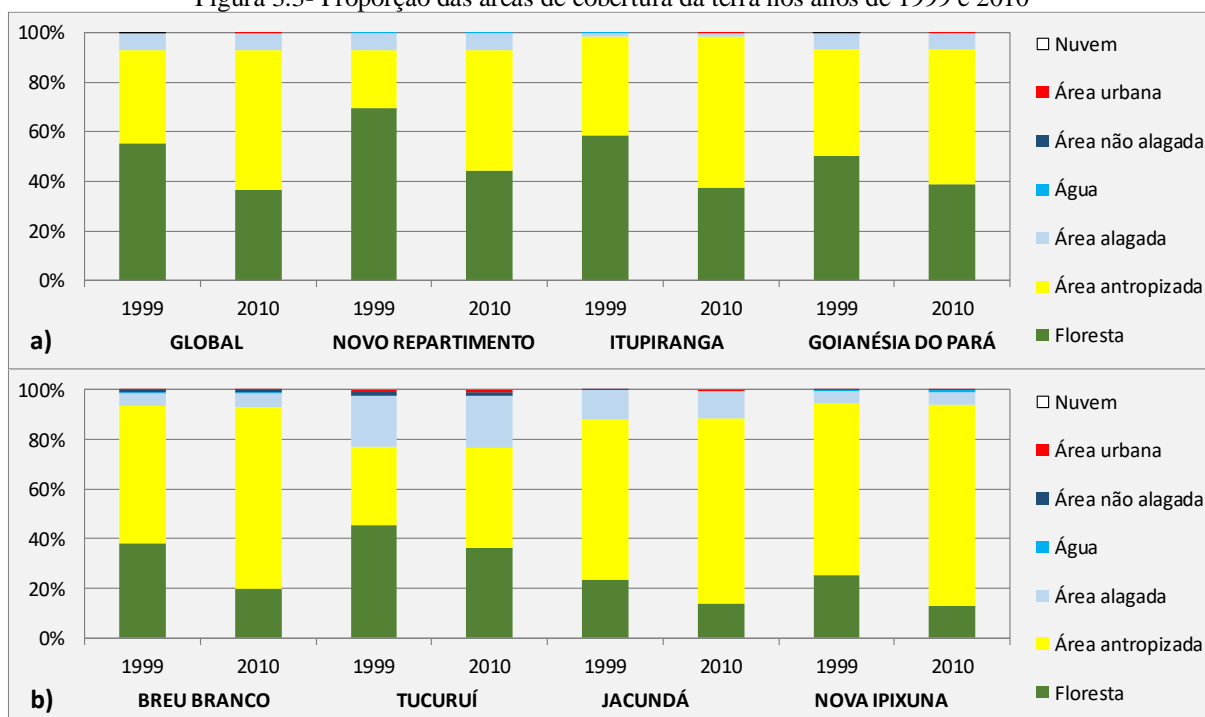
Nesta seção se apresentam os mapas temáticos de cobertura da terra e sua proporção, nos sete municípios diretamente atingidos pela barragem de Tucuruí, para os anos de 1999 e 2010 (Figuras 3.2 e 3.3). Os mapas temáticos fornecem informação do modelo espacial de cobertura na região, durante o período de ampliação da usina hidrelétrica, até sua conclusão e inauguração das eclusas de Tucuruí. A partir da análise dos mapas temáticos, notam-se alterações nas áreas ocupadas por cada classe, informações detalhadas nas Tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

Figura 3.2- Mapas temáticos de cobertura da terra nos municípios de Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco e Tucuruí, referentes aos anos de 1999 (a) e 2010 (b)



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 3.3- Proporção das áreas de cobertura da terra nos anos de 1999 e 2010



De acordo com os resultados do mapeamento da região de estudo, pode-se observar que as áreas urbanas em 2010 experimentaram uma expansão de 1,9 vezes, e as áreas antropizadas de 1,5 vezes, em relação ao ano de 1999. Desta forma, a classe área urbana passou de 2.824 hectares (ha) (0,07%) para 5.266 ha (0,13%), e a classe antropizada passou de 1.493.687 ha (37,48%) para 2.251.999 ha (56,50%), produzindo a redução da cobertura florestal e o predomínio das áreas antropizadas em toda a região (Tabela 3.1). No ano de 1999, aproximadamente a metade da região era coberta por floresta (2.211.279 ha), enquanto que, no ano de 2010 essa cobertura diminuiu para 36,42% de toda a paisagem (1.451.470 ha). Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará e Breu Branco foram os municípios com as maiores perdas florestais.

Tabela 3.1- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para toda a região e o município de Novo Repartimento

CLASSES	GLOBAL				NOVO REPARTIMENTO			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área alagada	264.227	262.637	6,63	6,59	110.578	109.874	7,20	7,15
Área não alagada	6.537	6.641	0,16	0,17	-	-	-	-
Água	6.740	7.718	0,17	0,19	1.533	1.656	0,10	0,11
Floresta	2.211.279	1.451.470	55,48	36,42	1.067.255	679.458	69,45	44,21
Área antropizada	1.493.687	2.251.999	37,48	56,50	356.789	744.924	23,22	48,47
Área urbana	2.824	5.266	0,07	0,13	211	890	0,01	0,06
Nuvem	436	-	0,01	-	436	-	-	-

O município de Novo Repartimento experimentou a maior extensão de áreas desmatadas entre 1999 e 2010, as áreas desmatadas passaram de 357.000 ha (23,23%) em 1999 para 745.814 ha (48,53%) em 2010. Para o ano de 2010, as manchas urbanas se expandiram 4,2 vezes, e suas áreas antropizadas foram duplicadas em relação ao ano de 1999; passando de 211 ha (0,01%) para 890 ha (0,06%) em áreas urbanas, e de 356,789 ha (23,22%) para 744,924 ha (48,47%) em áreas antropizadas (Tabela 3.1). Segundo o mapeamento do ano 2010, esse município concentra a maior parte do reservatório de Tucuruí, correspondendo a 42,10% do lago (7,15% do município). Na parte sul do município de Novo Repartimento se encontra uma região de mínima interferência florestal, que corresponde a parte da reserva indígena Parakanãs (Figuras 3.2a e 3.2b). Ao passo que, toda a região localizada no lado oeste e sudoeste do município apresentou alta perda de cobertura florestal.

No município de Itupiranga, houve a segunda maior disseminação de áreas desmatadas nos onze anos de análise, as áreas desmatadas aumentaram de 315.914 ha (40,18%) em 1999 para 478.975 ha (60,91%) em 2010. Com relação às áreas urbanas e antropizadas, estas cresceram 1,91 e 1,52 vezes, respectivamente; passando de 339 ha (0,04%) para 647 ha (0,08%) em áreas urbanas e de 315.574 ha (40,13%) para 478.328 ha (60,83%) em áreas antropizadas (Tabela 3.2). De acordo com o mapeamento do ano de 2010, este município abriga 4,12% do lago de Tucuruí (1,37% do município), correspondendo à segunda menor área alagada pelo reservatório. Na parte noroeste do município há uma região praticamente não afetada, que corresponde a parte da reserva indígena dos Parakanãs (Figuras 3.2a e 3.2b).

Tabela 3.2- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para os municípios de Itupiranga e Goianésia do Pará

CLASSES	ITUPIRANGA				GOIANÉSIA DO PARÁ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área alagada	10.568	10.740	1,34	1,37	45.618	45.219	6,51	6,45
Área não alagada	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	1.000	1.054	0,13	0,13	1.867	2.084	0,27	0,30
Floresta	458.847	295.561	58,35	37,59	352.962	273.299	50,35	38,99
Área antropizada	315.574	478.328	40,13	60,83	300.264	379.844	42,83	54,19
Área urbana	339	647	0,04	0,08	267	532	0,04	0,08
Nuvem	-	-	-	-	-	-	-	-

Os municípios de Novo Repartimento e Itupiranga, localizados na margem esquerda do lago Tucuruí (Figura 3.1), revelaram abranger as maiores expansões de áreas antropizadas. Em 1999, as áreas antropizadas seguem um padrão disperso em torno da BR-230 (Transamazônica), BR-422 e caminhos vicinais que ligam aos pequenos povoados à Transamazônica. Essa expansão demarcou as fronteiras noroeste, norte, leste e sul da reserva

indígena dos Parakanãs (Figura 3.2a). Nos municípios de Itupiranga e Novo Repartimento, foram identificadas oito e seis manchas urbanas, respectivamente, ligadas por vias às áreas urbanas próximas à BR-230, onde as sedes de Itupiranga (200 ha) e Novo Repartimento (141 ha) correspondem as manchas urbanas de maior tamanho.

Para o ano de 2010, as áreas antropizadas se encontram expandidas em toda a extensão e largura dos dois municípios, fenômeno que demarcou perfeitamente todas as fronteiras da reserva indígena dos Parakanãs (Figura 3.2b). O município de Novo Repartimento apresentou cinco novas manchas urbanas, onde a cidade de Novo Repartimento continua sendo a maior área urbana (525 ha). Em Itupiranga, surgiram três novas manchas urbanas, onde sua sede principal continua sendo a de maior tamanho (310 ha).

O município de Goianésia do Pará revelou ter experimentado a terceira maior propagação de áreas desmatadas, passando de 300.531 ha (42,9%) em 1999 para 380.376 ha (54,3%) em 2010. Segundo o mapeamento de 2010, no município concentra-se a segunda maior parte do lago Tucuruí, correspondendo a 17,33% do reservatório (6,45% do município) (Tabela 3.2). Este município apresenta uma região com reduzida interferência florestal durante os 11 anos de análise, localizada ao leste do município (Figuras 3.2a e 3.2b). Em relação ao município de Breu Branco, suas áreas desmatadas aumentaram de 217.344 ha (55,29%) para 288.677 ha (73,43%) e contêm 8,12% da barragem de Tucuruí (5,39% do município) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para os municípios de Breu Branco e Tucuruí

CLASSES	BREU BRANCO				TUCURUÍ			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área alagada	21.311	21.196	5,42	5,39	43.305	43.189	20,85	20,79
Área não alagada	2.917	2.974	0,74	0,76	3.415	3.454	1,64	1,66
Água	1.478	1.632	0,38	0,42	141	219	0,07	0,11
Floresta	150.070	78.639	38,17	20,00	94.608	75.335	45,54	36,26
Área antropizada	216.976	288.041	55,19	73,27	65.195	83.927	31,38	40,40
Área urbana	368	637	0,09	0,16	1.079	1.618	0,52	0,78
Nuvem	-	-	-	-	-	-	-	-

Os municípios de Goianésia do Pará e Breu Branco, localizados nas margens direita e superior do reservatório de Tucuruí (Figura 3.1), mostraram ser o segundo grupo de municípios com as maiores expansões de áreas antropizadas. Para o ano de 1999, as áreas antropizadas estão espalhadas ao entorno do reservatório, ao redor das rodovias PA-263, PA-151, PA-150, PA-475 e caminhos vicinais da região (Figura 3.2a). Nos municípios de Goianésia do Pará e Breu Branco foram detectadas dois e cinco manchas urbanas

respectivamente, sendo quatro dessas áreas interligadas pelas rodovias PA-263, PA-475 e PA-150. A sede de Goianésia do Pará (236 ha) e a cidade de Breu Branco (284 ha) correspondem às áreas urbanas de maior tamanho.

No ano de 2010, as áreas antropizadas predominam em toda a região localizada entre o Lago Tucuruí e as rodovias PA-475 e PA-150, e da mesma forma nas proximidades dessas rodovias em um raio de 12 km. No município de Goianésia do Pará, foram detectadas duas novas manchas urbanas, onde a sede de Goianésia do Pará é a maior área urbana (525 ha). No município de Breu Branco, quatro novas manchas urbanas foram identificadas, e sua principal cidade continua sendo a de maior tamanho (460 ha).

Os municípios de Tucuruí, Jacundá e Nova Ipixuna apresentaram os menores acréscimos de áreas desmatadas nos onze anos de análise, passando de 66.274 ha (31,9%) para 85.545 (41,2%) em Tucuruí, de 129.863 ha (64, 9%) para 149.613 ha (74,7%) em Jacundá e de 107.642 ha (69,1%) para 126.210 ha (81,0%) em Nova Ipixuna (Tabelas 3.3 e 3.4). De acordo com o mapeamento de 2010, o município de Tucuruí abriga a terceira maior parte do lago, correspondendo a 16,55% (20,79% do município). Por sua vez, 8,57% do reservatório (11,17% do município) é alojado pelo município de Jacundá, e 3,21% do lago (5,38% do município) é albergado pelo município de Nova Ipixuna. De todos os municípios estudados, Tucuruí foi o que apresentou as maiores manchas urbanas, passando de 1.079 ha (0,52%) em 1999 para 1.618 ha (0,78%) em 2010.

Tabela 3.4- Áreas (em hectares) e participação relativa das classes de cobertura da terra, para os municípios de Jacundá e Nova Ipixuna

CLASSES	JACUNDÁ				NOVA IPIXUNA			
	Área [ha]		Part. Relt. [%]		Área [ha]		Part. Relt. [%]	
	1999	2010	1999	2010	1999	2010	1999	2010
Área alagada	23.022	22.371	11,50	11,17	8.165	8.373	5,24	5,38
Área não alagada	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	64	83	0,03	0,04	655	990	0,42	0,64
Floresta	47.243	28.125	23,60	14,05	39.287	20.176	25,22	12,95
Área antropizada	129.415	148.874	64,65	74,37	107.532	126.006	69,04	80,90
Área urbana	449	739	0,22	0,37	110	204	0,07	0,13
Nuvem	-	-	-	-	-	-	-	-

Nos municípios de Jacundá e Nova Ipixuna, localizados ao sudeste do lago Tucuruí, no ano de 1999 as áreas antropizadas já estavam espalhadas por todo o território. As únicas manchas urbanas detectadas correspondem a suas sedes principais, que através da rodovia PA-150, que atravessa os municípios de norte a sul, interliga a sede de Nova Ipixuna (110 ha) com a cidade de Jacundá (449 ha). Em Tucuruí, localizada ao noroeste do reservatório, possui extensas áreas antropizadas, altamente concentradas em torno da usina hidrelétrica, bem como

nas regiões nordeste, leste e sudeste do município (Figura 3.2a). Foram detectadas quatro manchas urbanas, onde duas dessas áreas estão interligadas pela rodovia BR-422, correspondendo à cidade de Tucuruí (789 ha) e o bairro Vila Permanente (236 ha), espaço construído pela Eletronorte para acomodar as pessoas que trabalhavam na construção, trabalhadores administrativos e chefias (Caramelo & Cidade, 2004; Rocha, 2008). As outras duas manchas urbanas correspondem ao aeroporto e parte da usina hidrelétrica de Tucuruí.

Para o ano de 2010, continuou a extensão das áreas antropizadas em todo o território dos municípios de Jacundá e Nova Ipixuna, bem como nas regiões central, noroeste, nordeste, leste e sudeste do município de Tucuruí (Figura 3.2b). Em nenhum dos três municípios o número de áreas urbanas se multiplicou, mas quatro dessas áreas cresceram consideravelmente, sendo estas as cidades de Tucuruí (1.249 ha), Jacundá (739 ha), a sede de Nova Ipixuna (204 ha) e o bairro de Vila Permanente (296 ha). Ao mesmo tempo, as cidades de Tucuruí e Jacundá representam as maiores áreas urbanas em toda a região de estudo ao longo dos onze anos de análise.

Segundo o IBGE (2000), no ano 2000 os municípios de Nova Ipixuna, Itupiranga, Jacundá, Goianésia do Pará, Novo Repartimento, Breu Branco e Tucuruí tinham uma população de 11.866, 49.655, 40.546, 22.685, 41.817, 32.446 e 73.798 habitantes, respectivamente, e para o ano de 2010, a população aumentou para 14.645, 51.220, 51.360, 30.436, 62.050, 52.493 e 97.128 habitantes (IBGE, 2010). Durante os onze anos de análise, se fortaleceu a expansão das áreas antropizadas em toda a região de estudo, relacionada à consolidação do assentamento como um manifesto do avanço econômico e tecnológico da agroindústria na região, desta forma, o solo não é mais ocupado como reserva de valor, senão como uso produtivo do mesmo (Becker, 2005).

No nível regional, no ano de 1999, o 36,03% da paisagem era coberta por quatro grandes fragmentos florestais (> 50.000 ha), e para o ano de 2010 os mesmos fragmentos florestais foram identificados, no entanto, eles cobrem apenas 17,01% da paisagem (Tabela 3.5 e Figura 3.4). Esse resultado confirma a redução de florestas em toda a região de estudo, produzindo a fragmentação de grandes áreas de floresta, aumentando o número de fragmentos, mas de menor tamanho, ou seja, mais fragmentos em poucas áreas florestais.

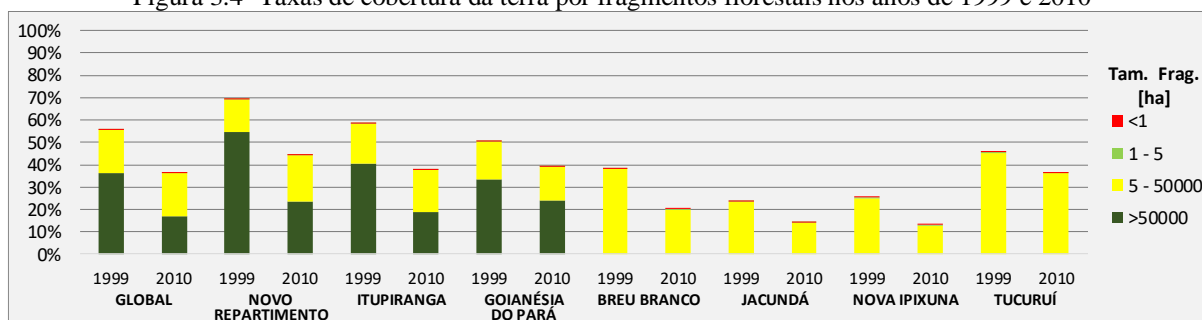
No ano de 1999, os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga e Goianésia do Pará são os únicos com grandes fragmentos florestais (> 50.000 ha), e englobam respectivamente 54,69%, 40,59% e 33,39% da paisagem dos municípios (Figura 3.4). Ao considerar todos os fragmentos florestais, a soma de todas essas áreas foi maior ao 50% da paisagem de cada um dos três municípios. Para o ano de 2010, esses municípios manifestaram uma cobertura

florestal inferior a 25% da paisagem dos municípios, mediante seus segmentos florestais superiores a 50.000 ha. Os municípios de Novo Repartimento e Goianésia do Pará apresentaram áreas florestais adicionais superiores a 50.000 ha. No entanto, eles comprometeram a cobertura da paisagem municipal.

Tabela 3.5- Número de fragmentos florestais nos anos de 1999 e 2010

MUNICÍPIOS	1999				2010			
	<1 ha	1-5 ha	5-50.000 ha	>50.000 ha	<1 ha	1-5 ha	5-50.000 ha	>50.000 ha
Global	205	1.287	3.656	4	709	1.772	5.519	4
Novo Repartimento	58	362	941	1	155	684	1.973	3
Itupiranga	31	248	717	1	103	314	1.208	1
Goianésia do Pará	78	210	587	2	442	309	760	1
Breu Branco	34	155	511	0	35	225	672	0
Nova Ipixuna	18	156	357	0	12	103	356	0
Tucuruí	17	82	254	0	12	80	321	0
Jacundá	21	95	363	0	12	87	307	0

Figura 3.4- Taxas de cobertura da terra por fragmentos florestais nos anos de 1999 e 2010



Para o ano de 1999, a soma de todos os fragmentos florestais dos municípios de Breu Branco, Tucuruí, Nova Ipixuna e Jacundá, cobriram respectivamente o 38,17%, 45,54%, 25,22% e 23,60% da paisagem municipal (Figura 3.4). Em relação ao ano de 2010, a soma de todos os fragmentos florestais desses municípios, cobriram respectivamente o 20,00%, 36,26%, 12,95% e 14,05% da paisagem dos municípios. Isso confirma o marcado desmatamento causado nesses quatro municípios, especialmente nos municípios de Jacundá e Nova Ipixuna, que até 2010 suas áreas florestais já eram inferiores ao 15% da paisagem. Este efeito pode estar associado à proximidade e conectividade com a dinâmica cidade de Marabá, pela rodovia PA-150 (Rocha, 2008).

De toda a região de estudo em 1999, Novo Repartimento foi o município que mais agrupou fragmentos florestais, seguido pelos municípios de Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco, Nova Ipixuna, Jacundá e Tucuruí (Tabela 3.6). No entanto, cinco municípios apresentam fragmentos florestais adicionais para o ano de 2010, como Novo Repartimento, Itupiranga, Goianésia do Pará, Breu Branco e Tucuruí (Tabela 3.6). Este fenômeno corrobora

a fragmentação florestal na região, convertendo grandes áreas de floresta em vários segmentos florestais de tamanho menor.

Tabela 3.6- Número (NP), densidade (PD) e tamanho médio (MPS) dos fragmentos florestais nos anos de 1999 e 2010

MUNICÍPIOS	1999			2010		
	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]	NP [unid.]	PD [frag./100ha]	MPS [ha]
Global	5.152	0,13	429,21	8.004	0,20	181,34
Nova Ipixuna	531	0,34	73,99	471	0,30	42,84
Jacundá	479	0,24	98,63	406	0,20	69,27
Breu Branco	700	0,18	214,39	932	0,24	84,38
Tucuruí	353	0,17	268,01	413	0,20	182,41
Goianésia do Pará	877	0,13	402,47	1.512	0,22	180,75
Itupiranga	997	0,13	460,23	1.626	0,21	181,77
Novo Repartimento	1.362	0,09	783,59	2.815	0,18	241,37

Os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga e Goianésia do Pará experimentaram a maior proliferação de pequenos fragmentos florestais durante os onze anos de estudo. A fragmentação florestal pode até mesmo extinguir os segmentos florestais, como ocorreu em Nova Ipixuna e Jacundá, que até o ano de 2010 reduziram o número de fragmentos florestais nesses municípios (Tabela 3.6).

Para McGarigal & Marks (1995), as paisagens com maior fragmentação são as de menor tamanho médio de fragmento florestal, uma vez que relaciona o número de fragmentos e a área ocupada de toda a floresta, considerado como um bom indicador do nível de fragmentação. Segundo Valente (2001), é possível entender melhor os diferentes aspectos da paisagem, se o tamanho médio do fragmento é analisado em conjunto com a densidade dos fragmentos. Os resultados da tabela 3.6 revelam a fragmentação em toda a região do estudo, evidenciada pelo aumento da densidade (PD = 0,34 frag./100ha em 1999 e 0,30 frag./100ha em 2010), e diminuição dos tamanhos médios (MPS = 73,99 ha em 1999 e 42,84 ha em 2010) dos fragmentos florestais.

No nível dos municípios, é possível representar o grau de fragmentação florestal por meio das informações da tabela 3.6. Os municípios com menor tamanho médio de fragmentos são aqueles que apresentam maior densidade de fragmentos florestais, portanto, mais fragmentados. Desta forma, é possível organizar os municípios pelo seu nível de fragmentação. Para o ano de 1999, da maior para a menor fragmentação, temos os municípios: Nova Ipixuna, Jacundá, Breu Branco, Tucuruí, Goianésia do Pará, Itupiranga e Novo Repartimento. Quanto ao ano de 2010, da maior para a menor fragmentação, temos os municípios: Nova Ipixuna, Jacundá, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Tucuruí e

Novo Repartimento. O município de Goianésia do Pará, em 2010, entrou no grupo de municípios de maior fragmentação florestal, superando inclusive a Tucuruí.

Sabe-se que uma floresta dividida em pequenos fragmentos provoca diferentes efeitos, altera o tamanho e dinâmica das populações, as interações tróficas e os processos ecossistêmicos, à medida que fragmentos isolados se degradam (Laurance *et al.*, 2002; Laurance & Vasconcelos, 2009). Nos onze anos de análise, a região de estudo experimentou uma alta fragmentação de suas florestas, produziu uma grande quantidade de pequenos fragmentos, incentivando a redução da população de espécies alojadas dentro de cada fragmento florestal, visto que os efeitos da perda de habitat e tamanho de fragmento atuam em conjunto.

3.4 Conclusão

O mapeamento da cobertura da terra revelou alterações no padrão espacial de cobertura florestal em torno do lago Tucuruí, entre o período inicial da segunda fase de construção e conclusão final do megaprojeto Tucuruí. A taxa de desmatamento na região foi de 69.074 ha/ano, porém as taxas de desmatamento para cada município foram de 35.347 ha/ano em Novo Repartimento, 14.824 ha/ano em Itupiranga, 7.259 ha/ano em Goianésia do Pará, 6.485 ha/ano em Breu Branco, 1.752 ha/ano em Tucuruí, 1.795 ha/ano em Jacundá e 1.688 ha/ano em Nova Ipixuna. Note-se que o desmatamento nos municípios não foi proporcional ao percentual ocupado pelo lago de Tucuruí em cada um deles, com exceção de Novo Repartimento, que é o município que abriga a maior parte do lago de Tucuruí, a maior expansão de áreas desmatadas e a segunda maior taxa de crescimento populacional; fatos possivelmente ligados as atividades relacionadas ao uso da água, como extensão de áreas irrigáveis para atividades agroindustriais, pesca, entre outros.

A análise dos níveis de fragmentação florestal da paisagem colocou a Nova Ipixuna, Jacundá e Breu Branco, como os municípios com maior grau de fragmentação durante todo o período do estudo. Para o ano de 1999, esses três municípios já tinham entre 55% e 69% de suas áreas desmatadas e, para o ano de 2010, suas áreas desmatadas passaram a ocupar entre 74% a 81% de seus territórios. Todos esses municípios altamente fragmentados coincidem em estarem localizados na margem direita do reservatório de Tucuruí, região atravessada pelas rodovias PA-150 e PA-263, rotas pelas quais se interligam as cidades de Tucuruí e Marabá, os maiores centros urbanos do Sudeste Paraense. Nesse sentido, o alto grau de fragmentação está associado às rodovias e caminhos vicinais criadas na região, o que permite a conectividade

entre as manchas urbanas presentes nos municípios. Isso facilita o acesso a novas áreas e a conversão de florestas em extensas áreas para agricultura e pecuária, atividades de agronegócio, promovidas em torno dessas rotas de acesso.

3.5 Referências

- ANA – Agência Nacional de Águas. 2009. *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: Relatório síntese*. Brasília, ANA/SPR, 256p.
- Becker, B.K. 2005. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(53): 71-86.
- Blanco, C.J.C.; Secretan, Y. & Mesquita A.L.A. 2008. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. *Energy for Sustainable Development*, 12(3): 25-33.
- Câmara, G.; Valeriano, D. & Vianeí, J. 2013. *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal – Projeto PRODES*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 37p.
- Caramelo, S.U.J. & Cidade, L.C.F. 2004. Gestão do território e conflitos ambientais na represa de Tucuruí na Amazônia brasileira. *POLÍGONOS. Revista de Geografia*, 14: 53-77.
- Chen, G.; Powers, R.P.; Carvalho, L.M.T. & Mora, B. 2015. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. *Applied Geography*, 63: 1-8.
- Coelho, M.C.N; Miranda, E.; Wanderley L.J. & Garcia, T.C. 2010. Questão energética na Amazônia: disputa em torno de um novo padrão de desenvolvimento econômico e social. *Novos Cadernos NAEA*, 13(2): 83-102.

- Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil. 2010. *Eclusas de Tucuruí*. Obtenido de: <http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/tucurui/eclusas/relatfotos.html>. Acceso: 22 nov. 2017.
- Fearnside, P.M. 1999. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management*, 24(4): 483-495.
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. *Environmental Management*, 27(3): 377-396.
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and The Energy Policy Implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P.M. 2014. *Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica*. Lima, DAR/CLAES, 55p.
- Fearnside, P.M. 2016. Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. *World Development*, 77: 48-65.
- Ferraz, S.F.B. & Vettorazzi, C.A. 2003. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. *Revista Árvore*, 27(4): 575-583.
- Ferreira, L.V.; Cunha, D.A.; Chaves, P.P.; Matos, D.C.L. & Parolin, P. 2013. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(3): 1013-1023.
- Finer, M. & Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon Connectivity. *PLoS ONE*, 7(4): e35126.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. *Censo demográfico: 2000*. Obtenido de: <https://www.ibge.gov.br>. Acceso: 15 nov. 2017.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. *Censo demográfico: 2010*.
Obtido de: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso: 15 nov. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Malhas digitais: 2015*. Obtido de: <https://mapas.ibge.gov.br>. Acesso: 30 mar. 2016.
- Junk, W.J. & Mello J.A.S.N. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados*, 4(8): 126-143.
- La Rovere, E.L. & Mendes, F.E. 2000. *Tucuruí Hydropower Complex, Brazil*. Cape Town, World Commission on Dams, 195p.
- Laurance, W.F.; Lovejoy, T.E.; Vasconcelos, H.L.; Bruna, E.M.; Didham, R.K.; Stouffer, P.C.; Gascon, C.; Bierregaard, R.O.; Laurance, S.G. & Sampaio, E. 2002. Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation. *Conservation Biology*, 16(3): 605-618.
- Laurance, W.F. & Vasconcelos, H.L. 2009. Conseqüências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3): 434-451.
- Manyari, W.V. & Carvalho Jr, O.A. 2007. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. *Energy Policy*, 35(12): 6526-6534.
- McGarigal, K. & Marks, B.J. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Portland, Department of Agriculture/Forest Service/Pacific Northwest Research Station, 122p.
- McGarigal, K.; Cushman, S.A. & Ene, E. 2012. *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Amherst, University of Massachusetts. Obtido de:
<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

- MPDG – Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. 2012. *11º Balanço Completo do PAC - 4 anos (2007 a 2010)*. Brasília, MPDG, 236p.
- PostgreSQL. 2012. *PostgreSQL version 9.4 for Windows*. Open Source Object-Relational Database System. Obtenido de: <https://www.postgresql.org>.
- Pottmaier, D.; Melo, C.R.; Sartor, M.N.; Kuester, S.; Amadio, T.M.; Fernandes, C.A.H.; Marinha, D. & Alarcon, O.E. 2013. The Brazilian energy matrix: From a materials science and engineering perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19: 678-691.
- Rocha, G.M. 2008. *Todos convergem para o lago!: Hidrelétrica Tucuruí, municípios e territórios na Amazônia*. Belém, Universidade Federal do Pará, 238p.
- Shimabukuro, Y.E.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C. & Duarte, V. 1997. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*. São Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 16p.
- Silva, J.B. 2001. A indústria do alumínio e a crise de energia. *Rem: Revista Escola de Minas*, 54(2): 95-96.
- Souza, A.C.C. 2008. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7): 1843-1863.
- Sperling, E.V. 2012. Hydropower in Brazil: Overview of Positive and Negative Environmental Aspects. *Energy Procedia*, 18: 110-118.
- TerraAmazon. 2016. *TerraAmazon version 4.6.2 for Windows*. São Jose dos Campos, INPE/FUNCATE. Obtenido de: <http://terraamazon.org/index.php>.
- USGS – United States Geological Survey. 1999a. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5. Path/Row 223/62 de 05 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999b. Imagen Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 223/63 de 13 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999c. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 223/64 de 21 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999d. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 224/62 de 28 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999e. Imagen Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 224/63 de 05 de agosto de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999f. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 224/64 de 28 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999g. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 225/63 de 04 de agosto de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999h. Imagen Landsat 7 ETM+ bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 223/63 de 29 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 1999i. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 224/63 de 12 de julio de 1999.

USGS – United States Geological Survey. 2009a. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 223/62 de 17 de agosto de 2009.

USGS – United States Geological Survey. 2009b. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 223/64 de 01 de agosto de 2009.

USGS – United States Geological Survey. 2009c. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 224/63 de 21 de junio de 2009.

USGS – United States Geological Survey. 2009d. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.

Path/Row 224/64 de 08 de agosto de 2009.

- USGS – United States Geological Survey. 2010a. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 223/62 de 03 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010b. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 223/63 de 05 de septiembre de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010c. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 223/64 de 03 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010d. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 224/62 de 26 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010e. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 224/63 de 26 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010f. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 224/64 de 26 de julio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010g. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 225/63 de 15 de junio de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2010h. Imagen Landsat 5 TM bandas 3, 4 e 5.
Path/Row 223/63 de 16 de mayo de 2010.
- USGS – United States Geological Survey. 2017a. *Landsat processing details*. Obtenido de:
<https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>. Acceso: 25 ago. 2017.
- USGS – United States Geological Survey. 2017b. *Landsat missions timeline*. Obtenido de:
<https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>. Acceso: 25 ago. 2017.
- Valente, R.O.A. 2001. *Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP*.
Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo,
Dissertação de Mestrado, 144p.
- Vasconcelos, C.H. & Novo, E.M.L.M. 2004. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir
da segmentação e classificação de imagens - fração solo, sombra e vegetação

derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. *Acta Amazônica*, 34(3): 487-493.

Vidolin, G.P.; Biondi, D. & Wandembruck, A. 2011. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. *Revista Árvore*, 35(3): 515-525.

CAPÍTULO 4 – RELAÇÃO DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E O DESMATAMENTO: PÓS INAUGURAÇÃO DA FASE I, INÍCIO DA FASE II E FINALIZAÇÃO COMPLETA DA UHE TUCURUÍ

ANÁLISE MULTIVARIADA DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS NOS MUNICÍPIOS NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ-PA⁵

Resumo

O principal objeto deste artigo foi apresentar uma análise dos indicadores socioeconômicos dos municípios afetados pelo reservatório de Tucuruí. Estudou-se as possíveis melhoras e semelhanças entre tais municípios, nos períodos de pós-inauguração da fase I, início da ampliação (fase II), e conclusão da construção da usina hidrelétrica de Tucuruí. Este estudo aplicou duas análises multivariadas, a primeira correspondente a análise de componentes principais, destinada a formar combinações lineares das variáveis para cada município. Deste modo, se detectaram dois grupos de variáveis de respostas distintas no indicador do padrão de vida, seguido de outra análise de componentes principais, na qual se utilizaram as variáveis relativas a um bom padrão de vida municipal. A segunda, foi a análise de agrupamento, na procura de formar grupos de municípios com padrões de vida próximos entre si. Os resultados permitiram classificar quatro categorias de municípios com padrões de vida diferentes para os três cenários estudados. Os municípios de Jacundá e Nova Ipixuna foram os únicos que apresentaram melhoras consideráveis em seus indicadores de padrão de vida, porém sem conseguir entrar no grupo de municípios de melhores padrões. Tucuruí foi o único município categorizado nos três cenários, com o melhor índice de padrão de vida de toda a região, ilustrando a acentuada desigualdade nos índices da área de estudo. Fator este que deve ser considerado na hora do desenvolvimento de políticas públicas, em benefício equitativo de toda a região impactada.

Palavras-chaves: Análise de agrupamentos; Indicadores socioeconômicos; Usinas hidrelétricas; Barragens.

Abstract

The main objective of this article was to present an analysis of the socioeconomic indicators of the municipalities affected by the Tucuruí reservoir. The possible improvements and

⁵ Submetido na Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Qualis B1, em Ciências Ambientais.

similarities between these municipalities were studied, in the periods of post-inauguration of phase I, beginning of the expansion (phase II), and conclusion of the construction of the hydroelectric power plant of Tucuruí. This study applied two multivariate analysis. The first one corresponds to the analysis of main components, and it was intended to form linear combinations of the variables for each municipality. In this way, two groups of variables of different responses were detected in the indicator of living standard. This was followed by another analysis of main components, where the variables related to a good living standard were used. The second one corresponds to the analysis of clusters, in the search to form groups of municipalities with living standards which were similar among themselves. The results allowed to classify four categories of municipalities with different living standards for the three scenarios studied. The municipalities of Jacundá and Nova Ipixuna were the only ones that showed considerable improvement in their living standard indicators, but without entering the group of municipalities with the best standards. Tucuruí was the only municipality categorized in the three scenarios, with the best living standard index of the entire region, illustrating the marked inequality in the indexes of the study area. This factor should be considered when developing public policies, to the equal benefit of the entire region affected.

Keywords: Analysis of clusters; Socioeconomic indicators; Hydroelectric power plants; Dams.

4.1 Introdução

A escolha do tipo de energia utilizada em determinado país ou região, é decorrente da necessidade de atender às demandas locais e do aumento do nível de inserção do país, no mercado econômico internacional (IPEA, 2010). O crescimento econômico brasileiro está diretamente ligado à necessidade de melhorias na infraestrutura nacional, entre elas a de energia elétrica, para atender o aumento do consumo elétrico, associado ao incremento e ampliação das áreas urbanas, como também, a expansão das atividades industriais e de serviços (FAPESPA, 2015). Assim, o modelo energético brasileiro tem sido exemplo mundial no uso de energias renováveis, ao manter sua matriz energética em grande parte originada de fontes renováveis, desde a década de 70 (IPEA, 2010). A hidroeletricidade é sua principal procedência, com menor custo operacional, o que permite a expansão da matriz energética e atendimento da futura demanda (MME, 2007; SOUZA, 2008).

A energia hidrelétrica é renovável, “limpa”, eficiente e permite o uso múltiplo da água (BLANCO; SECRETAN; MESQUITA, 2008; STERNBERG, 2008; POTTMAIER et al., 2013). No entanto, sabe-se que a instalação desse tipo de empreendimento na Amazônia, carrega mudanças na cobertura da terra, relacionadas às alterações da dinâmica populacional e infraestruturas complementares, afetando o modo de vida das populações locais. Tais alterações, causadas por migrações e inchaço das cidades, modificam substancialmente a estrutura regional e causam impactos econômicos, sociais e culturais locais, enquanto que, os benefícios energéticos ocorrem em outras regiões (FEARNSIDE, 1999, 2001; NUTI, 2007; STERNBERG, 2008; RODRIGUES; NOGUEIRA; CARVALHO, 2009, VON SPERLING, 2012). Por isso, a importância de avaliar se os municípios atingidos pelos reservatórios das usinas hidrelétricas têm se beneficiado, de alguma forma, pela construção destes megaprojetos, com vistas a promover equitativamente o desenvolvimento social, econômico e ambiental da região afetada.

A construção de um modelo de desenvolvimento, sob novas bases econômicas e em harmonia com a capacidade de suporte dos sistemas naturais, faz com que os agentes responsáveis por sua concepção necessitem de um amplo levantamento de dados e informações representativas das diversas dimensões envolvidas na questão. Neste contexto, tem sido proposta a utilização do método de análise multivariada, que permite explorar melhor os dados socioeconômicos, onde os municípios são caracterizados por um conjunto de variáveis, sendo interpretadas como indicador do padrão de vida municipal (CURI, 1993; CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2007).

No presente artigo foram estudados os sete municípios afetados pelo reservatório de Tucuruí, utilizando-se dados socioeconômicos disponíveis para os anos de 1991, 2000 e 2010, que possibilitassem uma visão ampla do padrão de vida nos mesmos. Teve-se como objetivo, a análise das relações do desmatamento com os indicadores socioeconômicos em cada um dos municípios estudados, como forma de investigar as possíveis melhoras equitativas do padrão de vida regional. Este estudo é complementar ao mapeamento e análise temporal da paisagem no entorno do reservatório de Tucuruí, nos períodos de finalização da primeira fase, início da segunda fase e conclusão da construção da UHE Tucuruí.

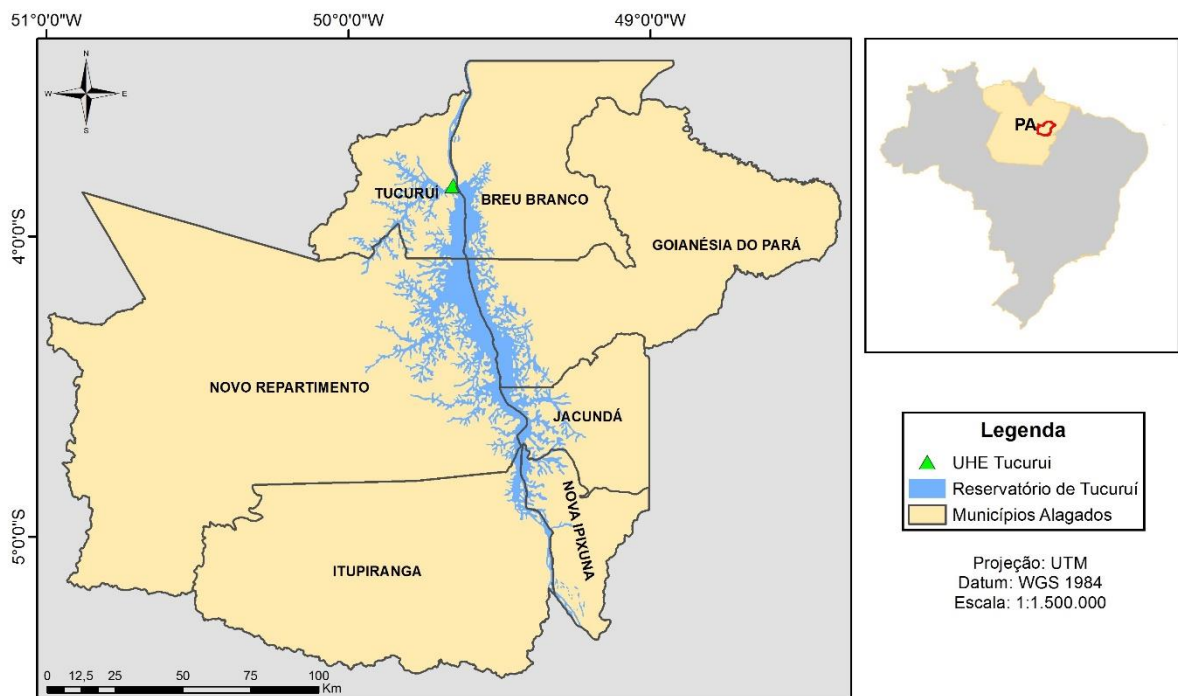
4.2 Material e método

A área de estudo é delimitada entre as latitudes 03° 24' e 05° 28' S e 48° 22' e 50° 59' W e corresponde a todos os municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí, sendo eles:

Tucuruí, Novo Repartimento, Itupiranga, Breu Branco, Goianésia do Pará, Jacundá e Nova Ipixuna (Figura 4.1).

A UHE Tucuruí, que obstruiu o Rio Tocantins no estado do Pará, inundou uma área de 2.430 km² (FEARNSIDE, 1999, 2002; LA ROVERE; MENDES, 2000), entrando em operação comercial no dia 10 de novembro de 1984, com 4.490 MW (*Megawatts*) de capacidade instalada na fase I de construção (FEARNSIDE, 1999, 2002; LA ROVERE; MENDES, 2000). Sua implantação foi um marco importante na dinâmica sócio-econômica regional, pela grande envergadura do empreendimento. O programa de reassentamento para residentes da área de inundação gerou grandes problemas sociais na região (FEARNSIDE, 1999).

Figura 4.1- O lago de Tucuruí e os sete municípios atingidos pelo reservatório



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nas malhas cartográficas do IBGE

No ano 1998, iniciou-se a fase II de construção, que correspondia a ampliação da usina hidrelétrica, alcançando para o ano 2007 uma capacidade instalada de 8.370 MW de energia elétrica (FEARNSIDE, 2002). Em 2010, foram inauguradas as eclusas de Tucuruí, o que permitiu retomar a navegabilidade pelo Rio Tocantins, desta maneira, se encerraram as obras do megaprojeto hidroelétrico de Tucuruí (MPDG, 2012).

Consideram-se parte das variáveis utilizadas por Sousa (2016), na relação entre dados socioeconômicos e áreas desmatadas. Todas as variáveis coletadas pertencem aos censos desenvolvidos pelo IBGE, correspondentes aos anos de 1991, 2000 e 2010. Dentre das inúmeras variáveis que poderiam ser utilizadas, as escolhidas cumpriram alguns critérios de

seleção, tais como, importância à priori como indicadora do “padrão de vida” e boa relação fatorial entre elas.

As siglas de identificação e a definição das variáveis utilizadas são apresentados a seguir: POP - População total; TFEC - Taxa de fecundidade total; EVN - Esperança de vida ao nascer; IDHE - Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) Educação; IDHL - IDHM Longevidade; IDHR - IDHM Renda; RPER - Renda per capita; FCMI - Ensino fundamental completo e médio incompleto; MCSI - Médio completo e superior incompleto; MOIN - Mortalidade infantil e; MO5 - Mortalidade até 5 anos de idade.

Também foram consideradas as variáveis relacionadas ao mapeamento e análise temporal da paisagem no entorno do reservatório de Tucuruí, correspondente aos períodos de pós-inauguração da fase I (1988), início da fase II de construção (1999) e conclusão das obras (2010) da UHE Tucuruí. Essas variáveis correspondem às áreas antropizadas (AAN), áreas urbanas (AUR) e percentagem de áreas alagadas (PAL), conforme mapeamento de Autor (2018a, no prelo; 2018b, no prelo).

Como as variáveis não apresentam as mesmas escalas (ou unidades), foram normalizadas (0-1) pelo total da variável, de modo a torna-las adimensionais. Para a análise estatística, foram empregados dois métodos multivariados, empregados e explicados por Curi (1993), Corrar, Paulo e Dias Filho (2007) e Leite, Brigatte e Aguilar (2009), utilizando-se o software SPSS Statistics (SPSS STATISTICS, 2014). A análise de componentes principais (ACP), foi utilizada para reduzir as variáveis originais correlacionadas a um par de variáveis não correlacionadas, designadas componentes principais. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, permitindo obter o grau de relação entre variáveis e; a análise por agrupamento para reunir os municípios similares para certo conjunto de variáveis originais.

4.3 Resultados e discussão

Os resultados da análise de componentes principais dos cenários pós-inauguração da fase I, início da fase II de construção e finalização das obras da UHE Tucuruí, são mostrados na Tabela 4.1, onde se apresentam os coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais (C₁, C₂, C₃, C₄, C₅ e C₆). As variáveis mais discriminatórias para o cenário 1991 foram: IDHE, FCMI, MCSI, AUR, EVN, IDHL, MO5, MOIN e PAL, enquanto que as menores foram: POP e AAN. Para o cenário 2000, as variáveis mais discriminatórias foram: IDHE, FCMI, EVN, IDHL, MOIN, MO5, PAL, MCSI e TFEC, enquanto a menor foi:

AUR. O cenário 2010, por sua vez, as variáveis mais discriminatórias foram: MCSI, RPER, PAL, IDHE, FCMI e IDHR, enquanto que as menores foram: AUR, AAN, POP e TFEC.

Segundo as componentes principais da Tabela 4.1, as variáveis podem ser agrupadas em duas categorias: a classe 1 de altos valores positivos de C_1 , C_3 e C_5 , podendo-se indicar como melhor padrão de vida (AUR, EVN, FCMI, IDHE, IDHL, IDHR, MCSI, PAL, POP e RPER) e as restantes, como classe 2, de elevados valores negativos de C_1 , C_3 e C_5 , podendo-se indicar como padrão de vida inferior. Sendo assim, quanto melhores sejam os indicadores do município, maior será sua respectiva C_1 , C_3 e C_5 . Em vista disso, as primeiras componentes principais, que extraíram 78% (para o ano 1991), 81% (do ano 2000) e 71% (do ano 2010) da informação contida do conjunto de variáveis originais, podem considerar-se como um “índice de padrão de vida” do município.

Tabela 4.1- Coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais dos cenários de 1991, 2000 e 2010

Variáveis	1991		2000		2010	
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
AAN	-0,50	0,72	-0,85	0,34	-0,71	0,32
AUR	0,95	0,26	0,84	0,52	0,76	0,37
EVN	0,93	-0,19	0,97	-0,15	0,84	-0,52
FCMI	0,95	0,18	0,97	0,12	0,91	0,03
IDHE	0,99	0,12	0,99	0,06	0,94	0,11
IDHL	0,93	-0,20	0,96	-0,15	0,85	-0,51
IDHR	0,85	-0,38	0,87	-0,38	0,91	0,25
MCSI	0,95	0,20	0,91	0,35	0,94	0,21
MO5	-0,92	0,21	-0,96	0,19	-0,84	0,51
MOIN	-0,92	0,21	-0,96	0,19	-0,84	0,52
PAL	0,91	0,13	0,93	0,25	0,94	0,27
POP	0,71	0,68	0,50	0,85	0,68	0,32
RPER	0,88	-0,33	0,90	-0,30	0,94	0,24
TFEC	-0,84	-0,48	-0,90	0,05	-0,61	-0,70
% Variância	78	13	81	12	71	15
% Variân. Acum.	78	91	81	93	71	86

POP - População total; TFEC - Taxa de fecundidade total; EVN - Esperança de vida ao nascer; IDHE - Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) Educação; IDHL - IDHM Longevidade; IDHR - IDHM Renda; RPER - Renda per capita; FCMI - Ensino fundamental completo e médio incompleto; MCSI - Médio completo e superior incompleto; MOIN - Mortalidade infantil e; MO5 - Mortalidade até 5 anos de idade.

A segunda componente principal (C_2 ou C_4) apresentou maior correlação positiva com AAN, POP e AUR, e negativa com TFEC, IDHR e RPER no cenário 1991, e maior correlação positiva com POP, AUR, MCSI e AAN, e negativa com RPER e IDHR para o cenário 2000, onde, os municípios com C_2 ou C_4 grande, apresentaram ou baixo IDHM educativo ou maiores manchas urbanas e extensas áreas antropizadas. Enquanto que para o

cenário 2010, a segunda componente principal (C_6) apresentou maior correlação positiva com MOIN, MO5, AUR e AAN, e negativa com TFEC, EVN e IDHL, onde, os municípios com C_6 grande apresentaram ou baixo IDH educativo ou elevada taxa de mortalidade de crianças e extensas áreas antropizadas e urbanas. Contudo, como C_2 , C_4 e C_6 respectivamente extraíram o 13%, 12% e 15% da informação contida do conjunto de variáveis originais, sua importância prática mereceu pouca relevância.

No cenário 1991, os menores valores de C_2 apareceram em Novo Repartimento, Itupiranga, Breu Branco e Goianésia do Pará, municípios com as maiores áreas antropizadas e elevadas taxas de mortalidade de crianças. Para o ano 2000, os menores valores de C_4 ocorreram em Nova Ipixuna, Goianésia do Pará e Breu Branco, municípios com baixa taxa de população. No cenário 2010, por sua vez, os menores valores de C_6 apareceram em Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Itupiranga, municípios com elevada taxa de mortalidade de crianças e extensas áreas antropizadas.

O gráfico dos pares ordenados dos fatores de cada município, obtidos do ACP entre o grupo de variáveis originais relativas à classe 1 e os municípios, com seu respectivo dendrograma da análise por agrupamento, permitiram inferir quatro categorias com a formação de dois agrupamentos de municípios, para cada um dos cenários em estudo (Figura 4.2). Nos anos de 1991, 2000 e 2010, se destaca isoladamente o município de Tucuruí com o melhor índice de padrão de vida (G1), apresentando uma leve redução no índice para os anos 2000 e 2010. Esta categoria coincide com o resultado obtido na ordenação pelo primeiro componente principal (Tabela 4.2).

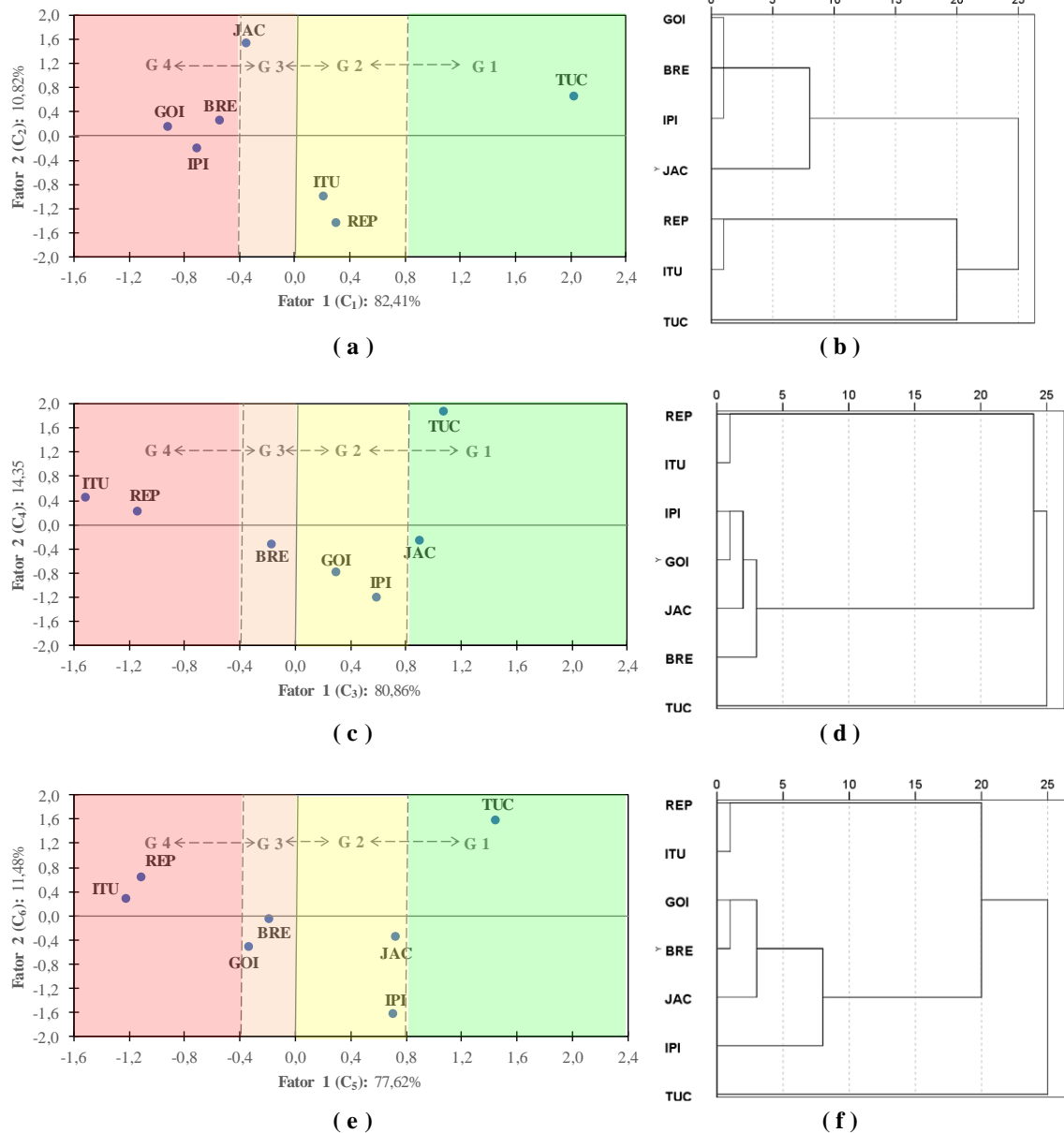
Tabela 4.2- Componentes principais dos municípios e ordem de “padrão de vida” indicado pelo fator 1 (C_1 , C_3 ou C_5), nos cenários 1991, 2000 e 2010

Municípios	1991			2000			2010		
	C_1	C_2	Ordem	C_3	C_4	Ordem	C_5	C_6	Ordem
Breu Branco	-0,55	0,26	5	-0,18	-0,32	5	-0,19	-0,05	7
Goianésia do Pará	-0,92	0,16	6	0,29	-0,79	4	-0,34	-0,50	4
Itupiranga	0,21	-0,99	3	-1,52	0,45	7	-1,23	0,29	5
Jacundá	-0,35	1,54	4	0,89	-0,25	2	0,72	-0,35	2
Nova Ipixuna	-0,71	-0,20	7	0,58	-1,19	3	0,70	-1,62	6
Novo Repartimento	0,30	-1,44	2	-1,14	0,21	6	-1,11	0,65	3
Tucuruí	2,02	0,66	1	1,07	1,88	1	1,45	1,58	1

A categoria intermediária alta (G2), formada pelo agrupamento dos municípios Novo Repartimento e Itupiranga (Figura 4.2a), foi o conjunto homogêneo em relação aos valores do fator 1, com valor médio de C_1 igual a 0,256 com desvio padrão de 0,064 no ano de 1991. No entanto, para os anos 2000 e 2010, estes municípios caíram na categoria de pior índice de

padrão de vida (G4) (Figuras 4.2c e 4.2e), com valor médio de C_3 igual a -1,329 com desvio padrão de 0,267 no ano 2000, e valor médio de C_5 igual a -1,171 com desvio padrão de 0,082 no ano 2010. Estes dados coadunam com a ordenação dos municípios segundo o padrão de vida da Tabela 4.2, a exceção do ano de 2010, que os municípios de Novo Repartimento e Itupiranga se localizam na terceira e quinta posição, respectivamente.

Figura 4.2- Gráficos de ordenação dos municípios utilizando os dois fatores resultantes da análise de componentes principais entre o grupo de variáveis da classe 1, e indicação das quatro categorias formadas para os anos (a) 1991, (c) 2000 e (e) 2010. Dendrograma resultante da análise de agrupamento dos municípios, utilizando a Distância Euclidiana Quadrática e método de agrupamento de Ward para os anos (b) 1991, (d) 2000 e (f) 2010



BRE - Breu Branco, GOI - Goianésia do Pará, IPI - Nova Ipixuna, ITU - Itupiranga, JAC - Jacundá, REP - Novo Repartimento e TUC – Tucuruí.

Na categoria intermediária baixa (G3) para o ano de 1991, sobressai isoladamente o município de Jacundá (Figura 4.2a). Nos anos 2000 e 2010, este município apresentou

relevante melhora em seu índice de padrão de vida (Figuras 4.2c e 4.2e), situando-se nas categorias G1 e G2, nos anos de 2000 e 2010, respectivamente. Estas categorias concordam com a ordenação dos municípios segundo o padrão de vida da Tabela 4.2, onde, o município de Jacundá se consolida como o município com o segundo melhor índice de padrão de vida da região nos anos 2000 e 2010.

A última categoria (G4) formada pelo agrupamento dos municípios Breu Branco, Nova Ipixuna e Goianésia do Pará, conformam a categoria heterogenia e com os piores indicadores de “padrão de vida” em relação aos valores de fator 1 (Figuras 4.2a), com valor médio de C_1 igual a -0,728 com desvio padrão de 0,189 no ano de 1991. No entanto, nos anos 2000 e 2010, estes municípios melhoraram em proporções diferentes seus índices de padrão de vida (Figuras 4.2c e 4.2e). Em vista disso, o município de Breu Branco passou para a categoria G3, e os municípios de Goianésia do Pará e Nova Ipixuna se situaram na categoria G2 no ano 2000, com valor médio de C_3 igual a 0,437 e desvio padrão de 0,205. Para o ano de 2010, os municípios de Breu Branco e Nova Ipixuna se mantiveram nas mesmas categorias do ano 2000, enquanto que, o Município de Goianésia do Pará desceu para a categoria G3, com valor médio de C_5 igual a -0,264 e desvio padrão de 0,104. O arranjo coincide com a hierarquia dos municípios segundo o padrão de vida da Tabela 2, a exceção do ano de 2010, onde os municípios de Goianésia do Pará, Nova Ipixuna e Breu Branco se encontram localizados na quarta, sexta e sétima posição, respectivamente.

Para o ano de 1991, os municípios de Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Itupiranga foram os que apresentaram as maiores áreas antropizadas (AUTOR, 2018a, no prelo). No entanto, destes três municípios, Novo Repartimento e Itupiranga exibem melhores índices de padrão de vida (categorizados em G2), enquanto que, Goianésia do Pará mostra o pior índice de padrão de vida de toda a região (categorizado em G4) (Figura 4.2a). Nos anos de 2000 e 2010, os municípios de Novo Repartimento, Itupiranga e Goianésia do Pará continuam sendo os que apresentam as maiores áreas antropizadas (AUTOR, 2018b, no prelo). Itupiranga e Novo Repartimento continuam na categoria G4, mas sem melhoria alguma em seus indicadores, enquanto que, Goianésia do Pará apresenta melhora no índice de padrão de vida (Figuras 4.2c e 4.2e), categorizado em G2 no ano 2000, e em G3 no ano 2010. Pode-se inferir que as áreas antropizadas não guardam relação direta com as melhoras nos padrões de vida municipais.

O Município de Tucuruí foi o único que apresentou os maiores valores em todas as variáveis originais pertencentes à classe 1 (indicadoras de melhor padrão de vida), e ao mesmo tempo, os menores valores em todas suas variáveis originais, pertencentes a classe 2

(indicadoras de menor padrão de vida). Este quadro produziu um comportamento diferenciado (Figuras 4.2) em relação aos outros municípios também afetados pela UHE de Tucuruí, constatando uma desigualdade nos índices socioeconômicos da região afetada por todo o megaprojeto. Tal fato é importante, a ser considerado no planejamento de futuros empreendimentos de dimensões similares, no momento de desenvolver políticas públicas para o grupo de comunidades e/ou municípios afetados, permitindo assim, a aplicação efetiva dos recursos das compensações financeiras, recebidas pelos municípios atingidos, na promulgação do desenvolvimento socioeconômico da região.

A Lei nº 7.990/1989 define a compensação financeira a ser paga pelos concessionários de serviço de energia elétrica aos Estados e Municípios, em cujos territórios se localizarem instalações destinadas à produção de energia elétrica, ou que tenham áreas invadidas por águas dos respectivos reservatórios, na proporção das áreas inundadas (ANEEL, 2005). Conforme o relatório do Comase (1992), os recursos resultantes da compensação financeira deveriam ser aplicados segundo os interesses e as necessidades locais. Espera-se, portanto, que os recursos distribuídos aos municípios sejam gastos de forma a minimizar os impactos negativos, ajustando a estrutura social e econômica local às novas condições impostas pela construção da usina hidrelétrica e fomentando, dessa forma, o desenvolvimento socioeconômico da região.

Segundo Rocha (2005), foi com base em modelos exógenos de desenvolvimento que o empreendimento de Tucuruí se concretizou como um enclave na região, fato que transformou a estrutura e dinâmica do sistema sub-regional, modificando o espaço do ponto de vista econômico e cultural, reorganizando o território local. Assim, a criação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí teve custos não apenas financeiros, senão, também impactos econômicos, sociais e ambientais locais, enquanto que, os benefícios energéticos ocorrem em outras regiões.

Toda a conjuntura citada anteriormente é relevante e deve ser considerada nos estudos de avaliação da evolução dos indicadores socioeconômicos, em regiões atingidas por este tipo de megaprojetos. É necessário a inclusão de todos os municípios afetados pelo reservatório das usinas, e não só o principal município ou de maior importância, mas que não corresponde à realidade a nível regional. Observa-se no estudo da Fapespa (2015), que só os principais municípios relacionados aos projetos hidrelétricos no Estado do Pará são utilizados para análise. Mediante o barômetro da sustentabilidade, se avaliou o nível de sustentabilidade de dez municípios produtores de energia, dos quais o Município de Tucuruí foi o que apresentou o melhor nível de sustentabilidade, entre os dez municípios (sustentabilidade intermedia). Desse modo, pode-se interpretar que a UHE de Tucuruí ajudou atingir esse nível de

sustentabilidade. No entanto, este resultado não é o reflexo real do desenvolvimento de toda a região afetada. Faz-se necessário a inclusão de todos os municípios afetados por cada projeto, para que se consiga demonstrar, de fato, a realidade do “desenvolvimento” produzido pelas usinas hidrelétricas em toda a região afetada.

4.4 Conclusão

Os resultados permitiram classificar quatro categorias de municípios, com padrões de vida diferentes para os três cenários estudados, englobando na categoria de municípios com os piores indicadores de “padrão de vida” a Goianésia do Pará, Nova Ipixuna e Breu Branco no primeiro cenário, e Itupiranga e Novo Repartimento no segundo e terceiro cenário. Os municípios de Jacundá, Itupiranga e Novo Repartimento, compreendidos nas categorias com regular indicador de “padrão de vida” no primeiro cenário, e Breu Branco, Goianésia do Pará e Nova Ipixuna para o segundo cenário, incluindo-se nesta categoria o Município de Jacundá no terceiro cenário. Por conseguinte, os municípios de Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Itupiranga possuem as maiores áreas antropizadas na região, sem apresentar melhoras consideráveis em seus indicadores de padrão de vida, entre os anos 1991, 2000 e 2010. O Município de Tucuruí sempre se destacou isoladamente, categorizando-se com o melhor índice de padrão de vida.

Portanto, a constituição dos grupos na presente análise leva a concluir que existem diferenças relevantes entre os municípios da região afetada pelo reservatório de Tucuruí. Fica claro que a existência de tais diferenças, exige a consideração conjunta de todos os municípios afetados pelos megaprojetos, na hora de se desenvolver políticas públicas em benefício equitativo para toda a região impactada, de igual modo, para futuros estudos de avaliação dos impactos produzidos por este tipo de megaprojetos.

4.5 Referências

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL: Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos para Geração de Energia Elétrica**. Abr. 2005. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/caderno2capa.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2018.

AUTOR. 2018a, no prelo.

AUTOR. 2018b, no prelo.

BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y.; MESQUITA, A. L. A. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. **Energy for Sustainable Development**, v. 12, n. 3, set. 2008, p. 25-33.

- COMASE. Comitê coordenador das atividades de Meio Ambiente do Setor Elétrico. **Compensação financeira e royalties pela exploração de recursos hídricos**. Jan. 1993. Disponível em: <https://documentacao.socioambiental.org/documentos/Q4D00010.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2018.
- CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson; DIAS FILHO, José María. **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2007.
- CURI, P. R. Agrupamento de países segundo indicadores de padrão de vida. **Revista de Saúde Pública**, v. 27, n. 2, 1993, p. 127-134.
- SOUZA, A. C. C. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 7, 2008, p. 1843-1863.
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Barômetro da Sustentabilidade dos Municípios Produtores de Energia e com Potencial Hidrelétrico do Estado do Pará**, 2015. Belém: FAPESPA, 2015. Disponível em: http://www.fapespa.pa.gov.br/sites/default/files/Barometro_Sustentabilidade_Energia.pdf. Acesso em: 15 nov. 2017.
- FEARNSIDE, P. M. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. **Environmental Management**, v. 24, n. 4, 1999, p. 483-495.
- FEARNSIDE, P. M. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. **Environmental Management**, v. 27, n. 3, 2001, p. 377-396.
- FEARNSIDE, P. M. Greenhouse Gas Emissions from a Hydroelectric Reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and The Energy Policy Implications. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 133, n. 1-4, 2002, p. 69-96.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília: IPEA, 2010.
- LA ROVERE, Emilio Lèbre; MENDES, Francisco Eduardo. **Tucuruí Hydropower Complex, Brazil**. Cape Town: A WCD case study prepared as an input to the World Commission on Dams, nov. 2000.
- LEITE, G. B.; BRIGATTE, H.; AGUILAR, E. B. Análise multivariada de indicadores socioeconômicos dos países do G-20. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 7, n. 1, 2009, p. 125-147.
- MME. Ministério de Minas e Energia; EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2007.
- MPDG. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **11º Balanço Completo do PAC - 4 anos (2007 a 2010)**. Brasília, MPDG, 2012.
- NUTI, Mírian Regini. Análise das estimativas de população atingida por projetos hidrelétricos. In: VERDUM, Ricardo (Org.) **Integração, usinas hidrelétricas e impactos socioambientais**. Brasília: Instituto de Estudos Socioeconômicos, p. 57-87, 2007.
- POTTMAIER, D.; MELO, C. R.; SARTOR, M. N.; KUESTER, S.; AMADIO, T. M.; FERNANDES, C. A. H. et al. The Brazilian energy matrix: From a materials science and engineering perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, 2013, p. 678-691.

ROCHA, Gilberto de Miranda. Reordenamento Territorial e Político - Institucional e Desenvolvimento Local na Amazônia: O Caso de Tucuruí (PA). In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 10, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005, p. 12575-12596.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J. M.; CARVALHO, E. Mensuração dos Impactos Ambientais de Empreendimentos Hidroelétricos: O uso do Método de Valoração Contingente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, abr./jun., 2009, p. 39-45.

SOUSA, Larissa Melo. **Estoques de carbono resultantes de mudanças de uso e cobertura do solo e sua relação com os indicadores socioeconômicos nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, Pará**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SPSS STATISTICS. **SPSS Statistics version 23 for Windows**. 2014. Disponível em: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_23.0.0/spss/product_landing.htm. Acesso: 5 nov. 2017.

STERNBERG, R. Hydropower: Dimensions of social and environmental coexistence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 6, 2008, p. 1588-1621.

VON SPERLING, E. Hydropower in Brazil: Overview of Positive and Negative Environmental Aspects. **Energy Procedia**, v. 18, 2012, p. 110-118.

CAPÍTULO 5 – DINÂMICA DE TRANSIÇÃO DE COBERTURA DA TERRA: 33 ANOS DE OPERAÇÃO CONTÍNUA DA UHE TUCURUÍ

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO DESMATAMENTO, EM RESPOSTA À CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE TUCURUÍ⁶

Resumo

A expansão de usinas hidrelétricas planejadas e em construção na bacia Amazônica é uma proposta para gerar energia "limpa", que tem como finalidade atender a demanda regional e a inserção do Brasil no mercado econômico internacional. No entanto, este tipo de megaprojeto pode alterar a dinâmica dos ecossistemas naturais. O presente artigo analisa os padrões espaço-temporais do desmatamento e sua influência segundo a distância do reservatório, nas imediações do lago de Tucuruí até um raio de 30 km do mesmo. Para o mapeamento das classes de cobertura da terra nas vizinhanças do lago artificial de Tucuruí e avaliação da influência da distância do reservatório sobre a expansão das atividades antrópicas, empregou-se, o modelo linear de mistura em imagens Landsat-TM, ETM+ e OLI segmentadas e a análise de proximidade. Esta metodologia foi utilizada para os cenários de pré-inauguração, finalização da fase I, início da fase II de construção, finalização completa do empreendimento hidrelétrico de Tucuruí, e cenário atual da região. Os resultados apontaram que a maior taxa de desmatamento aconteceu no primeiro período da análise, em decorrência das áreas submersas pelo reservatório e perturbações antrópicas, como extração de madeira, estradas e conversão de florestas em grandes áreas de agronegócio.

Palavras-chaves: Desmatamento; Cobertura da terra; Padrão espaço-temporal; Bacia Amazônica; Usinas hidrelétricas; Barragens.

Abstract

The expansion of hydroelectric power plants planned and under construction in the Amazon basin is a proposal to generate "clean" energy, whose purpose is to meet the regional demand and the insertion of Brazil in the international economic market. However, this type of megaproject can alter the dynamics of natural ecosystems. This article analyzes the spatiotemporal time patterns of deforestation and its influence, in terms of the distance from the reservoir, on the vicinity of the lake of Tucuruí up to a radius of 30 km from it. For the mapping of the land cover classes in the vicinity of the artificial lake of Tucuruí, it was used a

⁶ Ainda por submeter

linear model of mixing in segmented Landsat-TM, ETM+ and OLI images and for the evaluation of the influence of the distance from the reservoir on the expansion of the anthropic activities, it was used a proximity analysis. This methodology was used for the next scenarios: pre-inauguration, completion of phase I, start of construction phase II, complete finalization of the Tucuruí hydroelectric project, and current scenario of the region. The results showed that the highest rate of deforestation occurred in the first period of the analysis because of the reservoir submerged areas and the anthropic disturbances, such as the extraction of wood, roads and conversion of forests into large areas of agribusiness.

Keywords: Deforestation; Land cover; Spatiotemporal patterns; Amazon Basin; Hydroelectric power plants; Dams.

5.1 Introdução

A Amazônia brasileira atrai cada vez mais interesse para explorar suas fontes de energia. Essa situação se deve a necessidade do aumento do nível de inserção do Brasil no mercado econômico internacional, com a exportação de produtos primários, como *commodities* agrícolas e minerais (MORETTO et al., 2012). Por isso, no território brasileiro as usinas hidrelétricas são propostas sob o estigma da “segurança energética”, com o maior potencial hidrelétrico da América do Sul, esperado para fornecer energia e atender à crescente demanda regional (BERMANN, 2012; MME; EPE, 2007; TUNDISI et al., 2014).

Nos últimos anos, a acelerada expansão de usinas hidrelétricas planejadas e em construção na Amazônia brasileira causa inquietação pelos impactos provocados na bacia Amazônica. Por um lado, a energia hidrelétrica é “limpa”, eficiente, renovável e permite o uso múltiplo da água (BLANCO et al., 2008; POTTMAIER et al., 2013). Por outro, argumenta-se que as barragens podem motivar alterações hidrológicas, climáticas; atingir a fauna e a flora, pelas inundações de florestas, campos e áreas agricultáveis; modificar o uso do solo e; provocar a necessidade do remanejamento da população, ocasionando a fragmentação e perda de florestas (FEARNSIDE, 2002; FERREIRA et al., 2013; FINER; JENKINS, 2012; MANYARI; CARVALHO JUNIOR, 2007; SANCHES; FISCH, 2005; SIEBEN; CLEPS JUNIOR, 2012; STERNBERG, 2006).

As conjunturas da crise do petróleo da década de 70 e o estímulo do governo japonês encaminharam à construção da UHE Tucuruí, com o objetivo de desenvolver na Amazônia brasileira a indústria eletro-intensiva do alumínio (COELHO et al., 2010; FEARNSIDE, 2016; SILVA, 2001). A construção da UHE Tucuruí foi um marco na dinâmica sócio-

econômica da região, pela envergadura do empreendimento hidrelétrico. Esse evento ocasionou a mobilidade do trabalho, para atender à estratégia de formação do mercado de trabalho em áreas de fronteira de recursos (BECKER, 1990) e o reassentamento de residentes da área de inundação, provocando grandes problemas sociais na região. A construção da hidrelétrica de Tucuruí, foi o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na região amazônica (SOUZA, 2008) e por seus 33 anos de operação, é um caso ideal para compreender os impactos a longo prazo das megabarragens, sobre a perda e degradação de florestas tropicais.

Desta forma, destaca-se a importância do mapeamento da cobertura da terra, como mecanismo de identificação e espacialização da influência do reservatório sobre as mudanças na cobertura florestal. Neste estudo de caso, propõe-se a combinação de sensoriamento remoto e uso de geotecnologias, para determinar e avaliar os padrões de desmatamento ao redor do reservatório formado pela UHE Tucuruí, no decorrer de 33 anos de operação e expansão da usina hidrelétrica de Tucuruí, de 1984 a 2017.

5.2 Materiais e método

5.2.1 Área de estudo

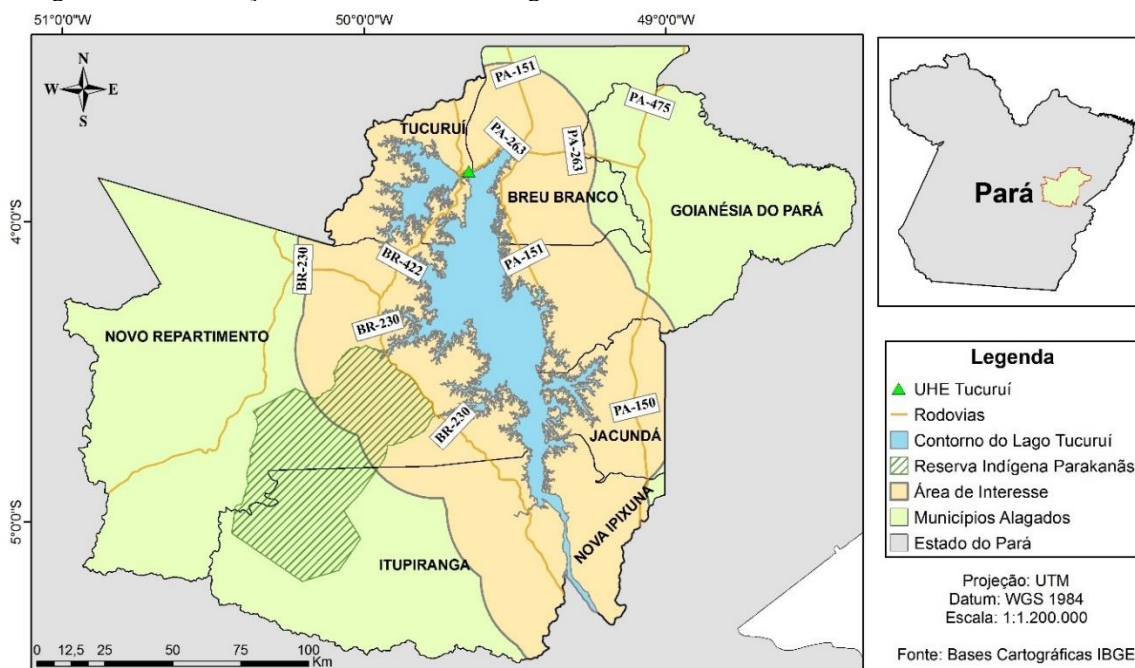
A área de estudo está centrada no lago de Tucuruí (03° 28' e 05° 27' S, 50° 13' e 48° 57' W), em um raio de 30 km ao redor do reservatório⁷, englobando parte dos sete municípios diretamente afetados pela construção da UHE Tucuruí, todos no Estado do Pará (Figura 5.1): Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Tucuruí.

A UHE Tucuruí, no Baixo Tocantins, obstruiu o rio Tocantins e inundou a área de 2.430 km² (LA ROVERE; MENDES, 2000) e foi o primeiro projeto hidrelétrico em grande escala na região amazônica (FEARNSIDE, 2014; MANYARI; CARVALHO JUNIOR, 2007). A construção da fase I da UHE Tucuruí, para gerar 4.000 MW (megawatts) de energia elétrica, finalizou em 1984 (FEARNSIDE, 1999; LA ROVERE; MENDES, 2000). A fase II da construção teve início em 1998, etapa de ampliação da usina hidrelétrica, alcançando uma capacidade instalada de 8.370 MW de energia elétrica no ano 2007 (FEARNSIDE, 2002). Finalmente, no ano 2010 se encerraram as obras do megaprojeto hidroelétrico, com a

⁷ O raio de 30 km foi delimitado tendo como objetivo que o alcance do sexto anel de *buffer* contemplasse, pelo menos, parte de todos os municípios em cada um dos cenários analisados.

inauguração das asclusas de Tucuruí, o que permitiu retomar a navegabilidade pelo Rio Tocantins (ELETROBRAS, 2010; MPDG, 2012).

Figura 5.1- Localização da área de estudo: o lago de Tucuruí e o raio de 30 km ao redor do reservatório



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nas malhas cartográficas do IBGE

5.2.2 Aquisição de dados de sensores remotos

No estudo foram utilizadas imagens obtidas pelos satélites Landsat 5, 7 e 8, adquiridas do acervo de imagens do Serviço Geológico Americano, com nível de correção L1T (*Level 1 Terrain*), ortorretificadas com projeção em UTM, datum/esferoide WGS1984 e exatidão superior a 0,8 pixel (GUTMAN et al., 2013). As imagens correspondem aos meses de maio a outubro dos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, compondo uma série de 33 anos. Em particular, os dados dos anos 1984, 1988 e 2010 foram adquiridos pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) - Landsat 5. Os dados de 1999 foram coletados pelos sensores TM-Landsat 5 e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) - Landsat 7. Para os dados de 2017 foram utilizadas imagens do sensor OLI (*Operational Land Imager*) - Landsat 8. Embora múltiplos sensores tenham sido utilizados na coleta dos dados, a qualidade das imagens, a resolução espacial, a geometria e a extensão dos mesmos permaneceram consistentes, graças à coerência do programa Landsat (GUTMAN et al., 2013).

Com a intenção de abarcar toda a área de estudo, foram adquiridas para cada ano, cinco cenas de imagens adjacentes, sendo as órbitas/pontos: 223/63 datada em 27/07/84, 22/07/88, 13/07/99, 05/09/10 e 06/07/17, 223/64 datada em 11/07/84, 22/07/88, 21/07/99, 03/07/10 e 06/07/17, 224/62 datada em 22/10/84, 14/08/88, 28/07/99, 26/07/10 e 13/07/17,

224/63 datada em 31/05/84, 14/08/88, 05/08/99, 26/07/10 e 13/07/17, e 224/64 datada em 31/05/84, 29/07/88, 28/07/99, 26/07/10 e 13/07/17. Devido à alta porcentagem de cobertura de nuvem na região, precisou-se do uso complementar de uma segunda imagem de diferentes datas para três cenas do ano 2010, sendo as órbitas/pontos: 223/64 datada em 01/08/09, 224/63 datada em 21/06/09 e 224/64 datada em 08/08/09.

5.2.3 Processamento dos dados

Para a realização do tratamento dos dados, utilizou-se os softwares TerraAmazon (2016) e PostgreSQL (2012), para o processamento das imagens de satélite e armazenamento das informações processadas. Primeiro, definiu-se a projeção geográfica e o sistema de referência que seria utilizado, importando os limites dos municípios alagados pelo reservatório de Tucuruí, no formato vetorial e escala 1:250.000, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015).

Para auxiliar a identificação das feições no processo de classificação, preparou-se as composições coloridas RGB, utilizando as bandas do infravermelho próximo (IVP), infravermelho médio (IVM) e vermelho (V) respectivamente, seguido do realce linear de contraste das imagens, para melhorar a distinção entre as classes. A seguir, foram gerados os modelos lineares de mistura espectral para cada composição colorida RGB, utilizando as bandas IVP, IVM e V das imagens satélite. Dessa forma, obteve-se como resultado as frações sombra, solo e vegetação. O modelo linear de mistura utilizado para cada imagem, foi obtido mediante a seleção de áreas testes, representativas aos componentes sombra, solo e vegetação da imagem. A partir dos resultados desses experimentos o modelo foi aplicado para a cena inteira (SHIMABUKURO et al., 1997).

Para melhorar a discriminação das classes contidas nas imagens, foi aplicado o algoritmo de segmentação de imagens por crescimento de regiões, para agrupar os pixels adjacentes e semelhantes, gerando regiões homogêneas (SHIMABUKURO et al., 1997). Para o algoritmo se empregou limiares de similaridade de 16, e de área de 8. Estes valores já foram empregados em parte da área de estudo, fornecendo bons resultados (VASCONCELOS; NOVO, 2004; VELÁSTEGUI et al., 2018, no prelo), na qual, o limiar de similaridade indica a distância em que um pixel pode pertencer ao agrupamento, enquanto que, o limiar de área define a área mínima de cada grupo de pixels (SHIMABUKURO et al., 1997).

Para o processo de classificação, foram utilizadas as imagens-fração (sombra e solo) segmentadas, para sua classificação polígono a polígono. A chave de identificação das classes

foi baseada no PRODES Digital (CÂMARA et al., 2013) e no comportamento espectral dos alvos, principalmente em relação à resposta de sombra e solo do modelo linear de mistura. Consideram-se as classes utilizadas por Velástegui et al. (2018, no prelo), sendo estas: 1) floresta, formações florestais sem interferência antrópica; 2) área antropizada, compreendendo as interferências nas formações florestais, relacionadas diretamente as atividades humanas (áreas desmatadas, mosaicos de ocupação, agronegócio) e a solos expostos relacionados a ilhas de areia e a planícies de inundação; 3) área alagada, engloba toda a água do rio Tocantins a montante da barragem; 4) hidrografia, compreende a área a jusante da usina ocupada pelo rio Tocantins e outros corpos de água (rios e lagos); 5) área urbana, envolve as manchas urbanas, e grandes empreendimentos de engenharia como aeroportos e a barragem de Tucuruí e; 6) nuvem: abarca as áreas cobertas por nuvem e sombra de nuvem, sem informação espectral dos alvos encobertos.

Com base em Velástegui et al. (2018, no prelo), realizou-se a classificação polígono a polígono dos segmentos das imagens-fração sombra e solo, segundo as respostas espectrais dos alvos na composição colorida RGB das bandas IVP, IVM e V das imagens satélite, a escala 1:30.000. Em seguida, realizou-se a edição matricial das áreas mal classificadas da área de interesse, por meio de classificação visual em escala 1:30.000.

5.2.4 Análise dos padrões de desmatamento

Após a obtenção dos mapas de cobertura da terra, com base em Chen et al. (2015), realizou-se a análise de proximidade SIG (Sistema de Informação Geográfica). Para avaliar a influência segundo a distância do reservatório sobre o crescimento das áreas antropizadas, empregando-se para isso, o software ArcGIS (ESRI, 2014). Especificamente, utilizaram-se seis anéis de *buffers*, a partir de 5 km até 30 km em torno do Lago de Tucuruí de cada cenário mapeado, em intervalos de 5 km por anel. Assim, foi possível determinar o percentual de cobertura da terra das áreas antropizadas nos seis anéis de *buffers* ao redor do reservatório de Tucuruí, nos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, bem como, elaborar-se as matrizes de transição de cobertura da terra no raio de 30 km ao lago, durante os períodos de 1984 – 1988, 1988 – 1999, 1999 – 2010 e 2010 – 2017.

5.3 Resultados e discussão

Após a etapa de processamento de imagens, obtiveram-se os mapas classificados da cobertura da terra em um raio de 30 km do Lago de Tucuruí, para os anos de 1984, 1988,

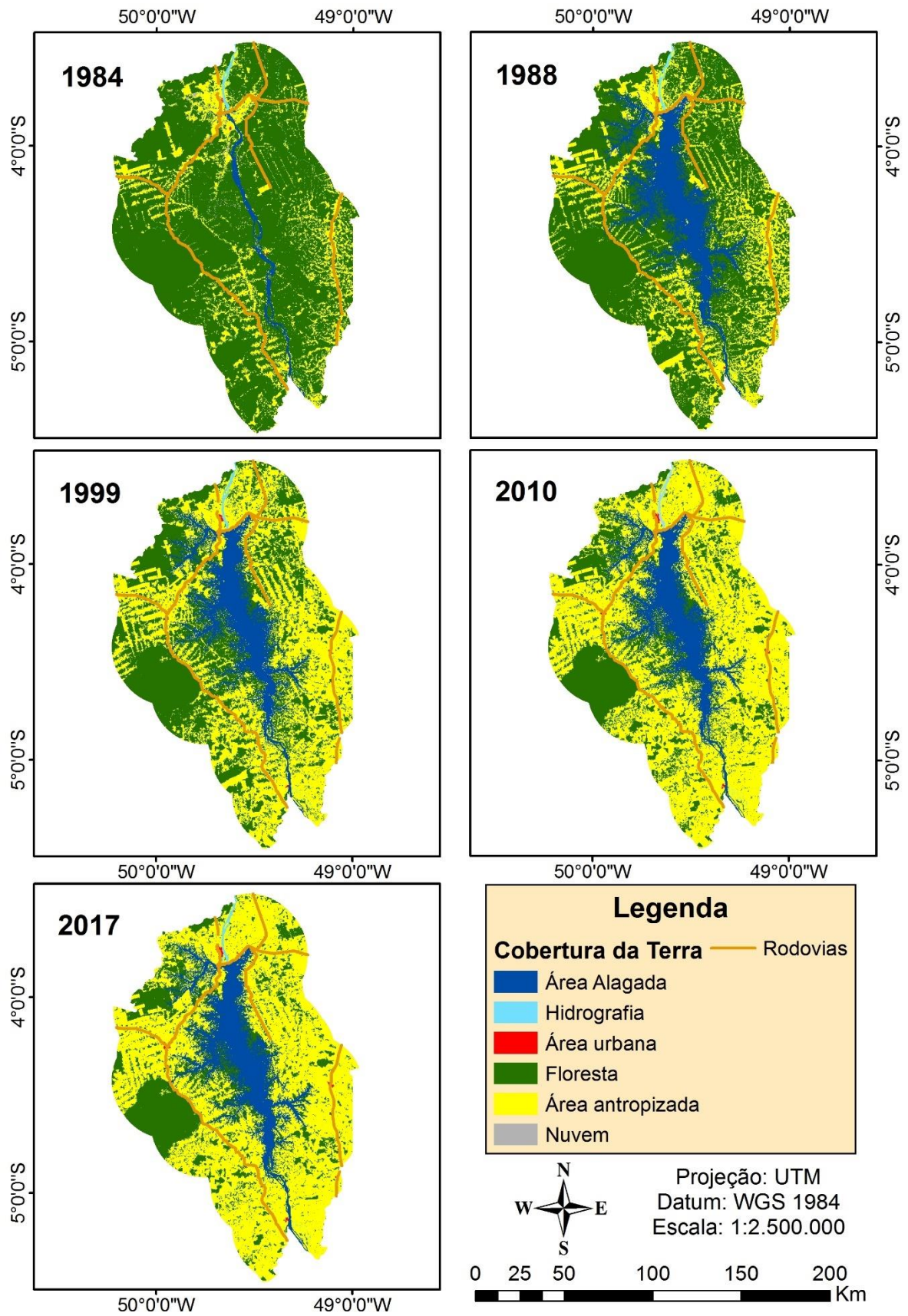
1999, 2010 e 2017 (Figura 5.2). A partir desses mapas podem-se gerar as matrizes de transição de cobertura da terra, no raio de 30 km do reservatório de Tucuruí, entre os cinco cenários (Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4). Igualmente, foi possível gerar informações sobre a dinâmica, no tempo e no espaço, da propagação das áreas antropizadas nos seis anéis de *buffers* circundantes a área alagada, dentro dos municípios diretamente afetados pela construção da UHE Tucuruí, para os cinco cenários analisados (Figura 5.3).

Segundo os mapas temáticos de cobertura da terra da Figura 5.2, pode-se observar que o mapa do ano 1984 possui a menor área alagada, por representar o período de enchimento do reservatório, ou seja, o cenário de pré-inauguração da usina hidrelétrica de Tucuruí. Nesta etapa, a área do Rio Tocantins, classificada como área alagada, tinha uma extensão de 37.728 ha. Em relação aos mapas dos outros anos, a extensão do lago de Tucuruí foi de 276.114 ha, 264.264 ha, 262.688 ha e 290.992 ha para os cenários de 1988, 1999, 2010 e 2017, respectivamente.

No ano 1984, as áreas antropizadas encontram-se concentradas nos anéis B₀₋₅ e B₅₋₁₀ dos municípios de Tucuruí e Itupiranga (Figura 5.3). Nestas áreas se localizam as manchas urbanas, a antiga Estrada de Ferro Tocantins e as rodovias Transamazônica (BR-230) e BR-422, implementadas na primeira metade da década de 70, pelo programa viário e pelas políticas de colonização do Programa de Integração Nacional (ROCHA, 2008). No município de Breu Branco, no anel B₀₋₅ encontrou-se aglomeração de áreas antropizadas (Figura 5.3), zona influenciada pelos centros urbanos (Breu Velho e Breu Branco) e pelas rodovias PA-263 e PA-151. O anel B₂₅₋₃₀ dos municípios Jacundá e Nova Ipixuna (Figura 5.3), apresentou alto percentagem de áreas antropizadas, alusivas aos assentamentos dos redores da rodovia PA-150.

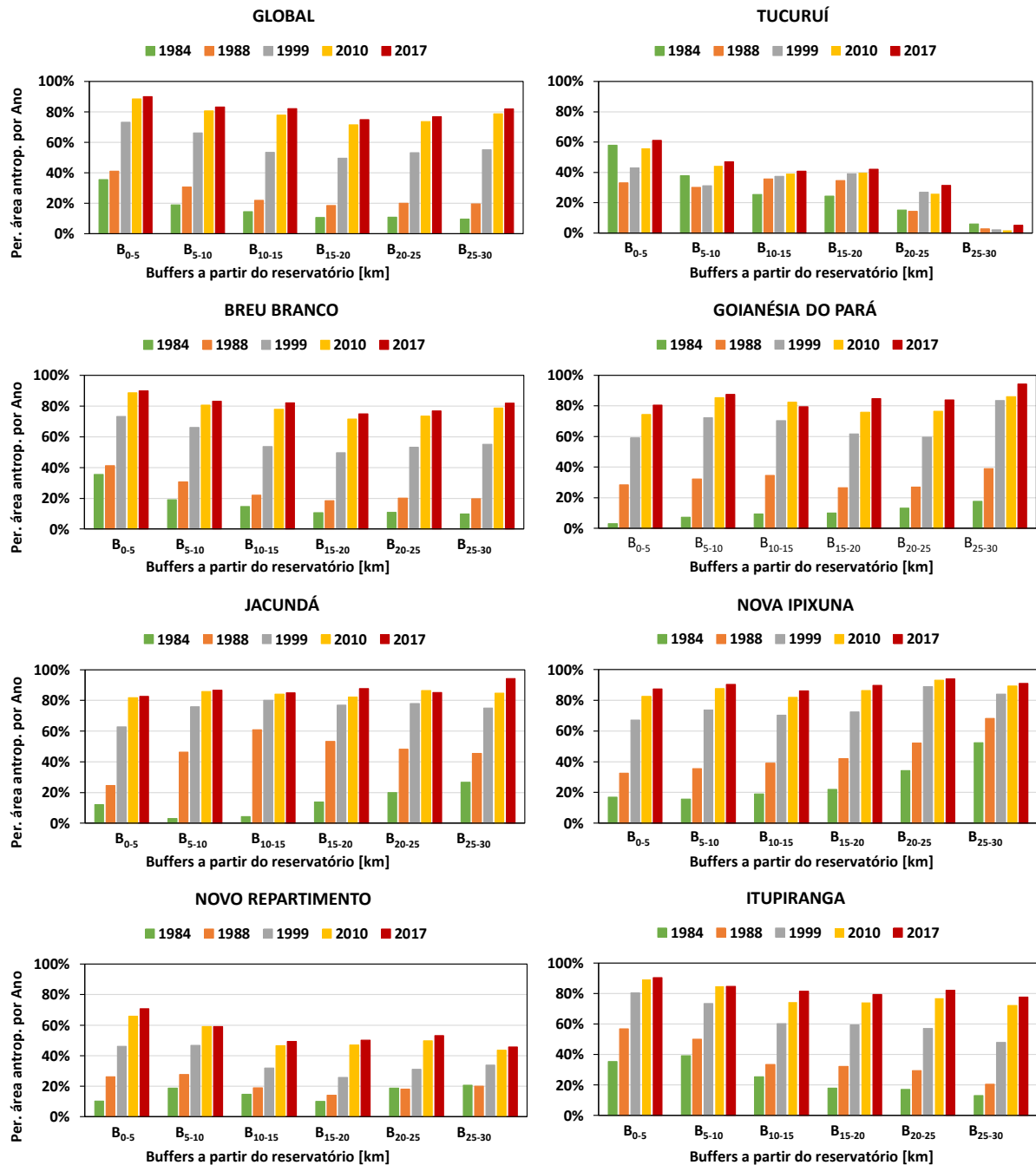
Para o ano 1988, o maior percentual das áreas antropizadas foram localizadas nas regiões distantes ao reservatório, nos anéis B₁₀₋₁₅, B₁₅₋₂₀, B₂₀₋₂₅ e B₂₅₋₃₀ do município de Nova Ipixuna, e nos anéis B₅₋₁₀, B₁₀₋₁₅, B₁₅₋₂₀, B₂₀₋₂₅ e B₂₅₋₃₀ do município de Jacundá (Figura 5.3), localidades afetadas pelos assentamentos urbanos e fazendas nos redores da rodovia PA-150, via de interligação com a dinâmica cidade de Marabá (LA ROVERE; MENDES, 2000). Nos anéis próximos ao lago, dentro dos municípios de Itupiranga (B₀₋₅, B₅₋₁₀) e Breu Branco (B₀₋₅) localizam-se também altos percentuais de áreas antropizadas (Figura 5.3), territórios atravessados pelas rodovias BR-230, PA-263 e PA-151.

Figura 5.2- Mapas temáticos de cobertura da terra no raio de 30 km do Lago de Tucuruí nos cinco cenários de 1984 a 2017



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 5.3- Taxas de cobertura da terra das áreas antropizadas nos seis anéis de buffers circundantes a área alagada. Os dados pertencem aos cenários de 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, para toda a área de estudo e parte dos municípios de Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Itupiranga



B₀₋₅ - Buffer de 0 km a 5 km; B₅₋₁₀ - Buffer de 5 km a 10 km; B₁₀₋₁₅ - Buffer de 10 km a 15 km; B₁₅₋₂₀ - Buffer de 15 km a 20 km; B₂₀₋₂₅ - Buffer de 20 km a 25 km e; B₂₅₋₃₀ - Buffer de 25 km a 30 km.

A transição de cobertura da terra ocorridos entre 1984 e 1988 são apresentados na Tabela 5.1. Essas transições indicam que o 19,7% do território do ano 1984, classificado como floresta sofreu modificações, na qual, 185.386 ha das florestas (9,7% do território) foram alagadas pelo reservatório de Tucuruí e 189.085 ha das florestas (9,9% do território) mudaram a áreas antropizadas, impactando em parte, à reserva indígena dos Parakanãs. Vale

ressaltar, que o lago de Tucuruí, além de alagar áreas de floresta, também inundou 46.541 ha de áreas antropizadas (2,4% do território), atingindo parte da Estrada de Ferro Tocantins e as rodovias BR-230 e BR-422 (ROCHA, 2008).

Tabela 5.1- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 1984 – 1988, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha)

Cobertura 1988	Cobertura 1984						Total Geral
	Hidrografia	Área alagada	Área urbana	Floresta	Área Antropizada	Nuvem	
Hidrografia	7.131	55	0	368	569	13	8.136
Área alagada	577	37.279	320	185.386	46.541	6.012	276.115
Área urbana	35	6	780	19	523	15	1.379
Floresta	275	35	0	1.124.967	567	2	1.125.846
Área Antropizada	898	353	13	189.085	293.061	5.856	489.266
Nuvem	0	0	0	746	141	35	922
Total Geral	8.916	37.728	1.113	1.500.572	341.402	11.933	1.901.664

Nos três últimos cenários a porcentagem de áreas antropizadas em todos os anéis aumentou drasticamente para todos os municípios (Figura 5.3). A nível global, no cenário do ano 1999, entre o 52 e 60% das áreas nos anéis já estavam cobertas por áreas antropizadas. Para o ano 2010, entre o 67 e 73%; e no cenário 2017, entre o 71 e 76% destas áreas foram cobertas por áreas antropizadas. Estes resultados corroboram com as transições de cobertura da terra ocorridos entre 1988 – 1999, 1999 – 2010 e 2010 – 2017, apresentadas nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4.

Entre os anos de 1988 e 1999 (Tabela 5.2), o 37,3% (710.221 ha) do território se manteve como floresta, mas sofreu a maior substituição de florestas por áreas antropizadas, com a alteração do 21,6% (411.021 ha) do território. Entre os anos de 1999 e 2010 (Tabela 5.3), o 24,4% (464.599 ha) do território continuou como floresta, e o 13,9% (264.084 ha) do território foi substituído por áreas antropizadas. Finalmente, entre os anos de 2010 e 2017 (Tabela 5.4), 21,4% (406.593 ha) do território se conservou como floresta, contudo experimentou a menor alteração de florestas por áreas antropizadas, com uma mudança de 3,8% (72.262 ha) do território.

Assim, pôde-se ter uma representação da variação dos padrões de desmatamento nos arredores do lago de Tucuruí, entre os cinco cenários de 1984 e 2017. Especificamente, a maior taxa de perda de floresta foi no primeiro período (1984 – 1988), com perda de 374.726 ha de florestas (93.681 ha/ano), causada em grande parte pelo enchimento do lago artificial de Tucuruí. Além disso, eram necessárias terras para o reassentamento dos moradores, que antes viviam nas áreas alagadas pelo reservatório (MANYARI; CARVALHO JUNIOR, 2007). Segundo Rocha (2008) o Sindicato da Indústria Madeireira de Tucuruí e Região, no período

entre 1983 e 1990, apontou que a região havia-se transformado no maior “polo” de extração e transformação madeireira do Estado do Pará.

Tabela 5.2- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 1988 – 1999, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha)

Cobertura 1999	Cobertura 1988						
	Hidrografia	Área alagada	Área urbana	Floresta	Área Antropizada	Nuvem	Total Geral
Hidrografia	7.483	35	5	426	855	0	8.805
Área alagada	1	258.703	0	4.103	1.450	7	264.264
Área urbana	5	6	1.357	76	1.005	0	2.449
Floresta	205	5.281	0	710.221	15.733	298	731.738
Área Antropizada	443	12.090	17	411.021	470.222	616	894.409
Nuvem	0	0	0	0	0	0	0
Total Geral	8.136	276.114	1.379	1.125.846	489.266	922	1.901.664

Tabela 5.3- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 1999 – 2010, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha)

Cobertura 2010	Cobertura 1999						
	Hidrografia	Área alagada	Área urbana	Floresta	Área Antropizada	Nuvem	Total Geral
Hidrografia	7.803	4	13	269	1.335	0	9.425
Área alagada	9	253.899	5	2.785	5.990	0	262.688
Área urbana	8	11	2.317	1	1.834	0	4.172
Floresta	145	1.518	0	464.599	17.045	0	483.307
Área Antropizada	839	8.832	114	264.084	868.204	0	1.142.072
Nuvem	0	0	0	0	0	0	0
Total Geral	8.805	264.264	2.449	731.738	894.409	0	1.901.664

Tabela 5.4- Matriz de transição de cobertura da terra entre os anos de 2010 – 2017, no raio de 30 km do Lago de Tucuruí, com áreas em hectares (ha)

Cobertura 2017	Cobertura 2010						
	Hidrografia	Área alagada	Área urbana	Floresta	Área Antropizada	Nuvem	Total Geral
Hidrografia	7.761	1	33	348	1.793	0	9.935
Área alagada	64	260.249	38	4.103	26.538	0	290.992
Área urbana	6	2	4.099	1	1.012	0	5.120
Floresta	109	1.158	0	406.593	10.281	0	418.141
Área Antropizada	1.485	1.277	2	72.262	1.102.450	0	1.177.476
Nuvem	0	0	0	0	0	0	0
Total Geral	9.425	262.688	4.172	483.307	1.142.073	0	1.901.664

Em relação aos outros períodos, o desmatamento levou à perda de 394.108 ha, 248.431 ha e 65.167 ha de florestas, isto é, as taxas de desmatamento de 35.828 ha/ano, 22.585 ha/ano e 9.310 ha/ano nos períodos de 1988 a 1999, de 1999 a 2010 e de 2010 a 2017, respectivamente. Embora a taxa de desmatamento tenha diminuído com o tempo, o percentual total do predomínio florestal foi gravemente afetado. Duas razões principais podem ter contribuído para o declínio das taxas de desmatamento. Em primeiro lugar, desde o cenário 1999, aproximadamente 50% da área de estudo já se encontrava desmatada (Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4). Em segundo, no ano 1998 foi promulgada a Lei da Vida: Lei dos Crimes Ambientais

(Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998), com o objetivo de proteger a flora e fauna do país, entre eles, frear a degradação e desmatamento da floresta (IBAMA, 2014).

Para fins de reflexão, vale a pena lembrar que no ano 2002 mediante a Lei nº 6.451, o Governo do Estado do Pará criou a Área de Proteção Ambiental (APA) do Lago de Tucuruí, de 568.667 ha em extensão (PARÁ, 2002). Conforme os objetivos propostos, a criação das unidades de conservação do tipo APA deve ter a função de proteger e restaurar a diversidade biológica, recuperar as áreas alteradas, proteger os recursos naturais necessários para à subsistência da população local, entre outros. Porém, constata-se que o atendimento dos mesmos não aconteceu, haja vista que o predomínio de áreas antropizadas no anel B₀₋₅ a nível global indica a contínua expansão deste. Assim, as áreas alteradas passaram a cobrir 55%, 71% e 76% das áreas do primeiro anel de *buffer*, nos cenários de 1999, 2010 e 2017, respectivamente.

5.4 Conclusão

Os resultados obtidos permitiram avaliar as alterações na cobertura florestal relacionadas à implementação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí e suas obras complementarias, ao longo do tempo. Fornece informações vitais a ser consideradas na avaliação de futuros empreendimentos na Amazônia. Constatou-se que a maior taxa de desmatamento aconteceu no primeiro período (1984 - 1988), com perda de 93.681 ha por ano. Na qual, 185.386 ha foram alagadas pelo reservatório de Tucuruí e outras 189.085 ha atingidas por áreas antropizadas, associadas à extração de madeira e expansão de áreas agrocoltiváveis e estradas. Estas atividades, concentram-se nos territórios distantes das margens do reservatório (a mais de 5 km do reservatório, em áreas não margeadas por rodovias ao lago), e próximas das principais rodovias da região (BR-230, PA-263, PA-150 e PA-151).

Nos últimos três períodos as taxas de desmatamentos foram menores, com perdas de 35.828 ha por ano, 22.585 ha por ano e 9.310 ha por ano, para os períodos de 1988 a 1999, de 1999 a 2010 e de 2010 a 2017, respectivamente. Porém, tal efeito pode estar associado ao alto porcentagem de áreas já desmatadas (aproximadamente 50% da área de estudo) desde o cenário de 1999, em conjunto a isso, à promulgação da Lei da Vida: Lei dos Crimes Ambientais, com a finalidade de frear o desmatamento florestal.

Sem dúvida, a implementação do lago artificial da hidrelétrica modificou o ecossistema da região, tema amplamente abordados em outros estudos. No entanto, é

importante notar que as rodovias e estradas roteiam a devastação, podendo acelerar o desmatamento florestal, caso se encontrem localizadas nas circunvizinhanças do reservatório (nos primeiros 5 km do lago).

5.5 Referências

BECKER B. K. Amazônia. In: VIEIRA, I. C. G. (Org.). **As amazônias de Bertha K. Becker: ensaios sobre geografia e sociedade na região amazônica: vol. 2.** Rio de Janeiro,RJ: Garamond, 2015. p. 7-94.

BERMANN, C. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, v. 15, n. 1, p. 5-23, 2012.

BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y.; MESQUITA, A. L. A. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. **Energy for Sustainable Development**, v. 12, n. 3, p. 25-33, 2008.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.; VIANEI, J. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal – Projeto PRODES.** São Jose dos Campos,SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. 37p.

CHEN, G.; POWERS, R. P.; CARVALHO, L. M. T.; MORA, B. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. **Applied Geography**, v. 63, p. 1-8, 2015.

COELHO, M. C.; MIRANDA, E.; WANDERLEY, L. J.; GARCIA, T. C. Questão energética na Amazônia: disputa em torno de um novo padrão de desenvolvimento econômico e social. **Novos Cadernos NAEA**, v. 13, n. 2, p. 83-102, 2010.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A. **Eclusas de Tucuruí têm as primeiras transposições.** 2010. Disponível em: <http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/modulos/noticia/noticia_0514.html>. Acesso em: março/2018.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS desktop 10.2.2 software.** 2014. CD-ROM.

FEARNSIDE, P. M. Social impacts of Brazil's Tucuruí dam. **Environmental Management**, v. 24, n. 4, p. 483-495, 1999.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí dam) and the energy policy implications. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 133, n. 1-4, p. 69-96, 2002.

FEARNSIDE, P. M. **Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica**. Lima: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR) & Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES), Panel Internacional de Ambiente y Energía en la Amazonía, 2014. 55p.

FEARNSIDE, P. M. Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: implications for the aluminum industry. **World Development**, v. 77, p. 48-65, 2016.

FERREIRA, L. V.; CUNHA, D. A.; CHAVES, P. P.; MATOS, D. C. L.; PAROLIN, P. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 1013-1023, 2013.

FINER, M.; JENKINS, C. N. Proliferation of Hydroelectric Dams in the Andean Amazon and Implications for Andes-Amazon connectivity. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. e35126, 2012.

GUTMAN, G.; HUANG, C.; CHANDER, G.; NOOJIPADY, P.; MASEK, J. G. Assessment of the NASA-USGS global land survey (GLS) datasets. **Remote sensing of environment**, v. 134, p. 249-265, 2013.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Lei da vida: Lei dos crimes ambientais**: Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Brasília,DF: IBAMA, 2014. 64p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas digitais**: 2015. 2015. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br>>. Acesso em: março/2016.

LA ROVERE, E. L.; MENDES, F. E. **Tucuruí hydropower complex, Brazil**. Cape Town: A WCD case study prepared as an input to the World Commission on Dams, 2000. 196p.

MANYARI, W. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: downstream effects of dams. **Energy Policy**, v. 35, n. 12, p. 6526-6534, 2007.

MME. Ministério de Minas e Energia; EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília,DF: MME/EPE, 2007. 210p.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 141-164, 2012.

MPDG. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **11º Balanço completo do PAC - 4 anos (2007 a 2010)**. Brasília,DF: MPDG, 2012. 236p.

PARÁ. **Lei nº 6.451**, de 8 de abril de 2002. Belém,PA: Assembléia Legislativa do Estado do Pará, 2002. 8p.

POSTGRESQL. **PostgreSQL version 9.4 for Windows**. 2012. Disponível em: <<https://www.postgresql.org>>. Acesso em: setembro/2016.

POTTMAIER, D.; MELO, C. R.; SARTOR, M. N.; KUESTER, S.; AMADIO, T. M.; FERNANDES, C. A. H.; MARINHA, D.; ALARCON, O. E. The brazilian energy matrix: from a materials science and engineering perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 678-691, 2013.

ROCHA, G. M. **Todos convergem para o lago!**: hidrelétrica Tucuruí, municípios e territórios na Amazônia. Belém,PA: NUMA/UFGPA, 2008. 238p.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí -PA. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 1, p. 41-50, 2005.

SIEBEN, A.; CLEPS JUNIOR, J. Política energética na Amazônia: a UHE Estreito e os camponeses tradicionais de Palmatuba/Babaçulândia (TO). **Sociedade e Natureza**, v. 24 n. 2, p. 183-196, 2012.

SHIMABUKURO, Y. E.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São Jose dos Campos,SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997. 24p.

SILVA, J. B. A indústria do alumínio e a crise de energia. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p. 95-96, 2001.

SOUZA, A. C. C. Assessment and statistics of brazilian hydroelectric power plants: dam areas versus installed and firm power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 7, p. 1843-1863, 2008.

STERNBERG, R. Damming the river: a changing perspective on altering nature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 3, p. 165-197, 2006.

TERRAAMAZON. **TerraAmazon version 4.6.2 for Windows**. São Jose dos Campos: INPE/FUNCATE, 2016. Disponível em: <<http://terraamazon.org/index.php>>. Acesso em: setembro/2016.

TUNDISI, J. G.; GOLDEMBERG, J.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SARAIVA, A. C. F. How many more dams in the Amazon? **Energy Policy**, v. 74, p. 703-708, 2014.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens - fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.

VELÁSTEGUI, A. D. M.; LIMA, A. M. M.; ADAMI, M. Mapeamento e análise temporal da paisagem no entorno do reservatório de Tucuruí-PA. **Anuário do Instituto de Geociências**, 2018. No prelo.

CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta tese discutiram-se as relações entre o desmatamento e os indicadores socioeconômicos dos municípios atingidos pelo reservatório de Tucuruí, como também sua influência, segundo a distância do reservatório nas imediações do lago artificial, nas diferentes etapas de construção da usina hidrelétrica, ao longo dos 33 anos de operação contínua.

Os dois primeiros artigos analisaram o padrão espacial das alterações na cobertura da terra nos municípios diretamente afetados pelo reservatório de Tucuruí, utilizando imagens de satélite Landsat, entre os períodos pós-inauguração da fase I, início da ampliação e conclusão da construção da usina hidrelétrica de Tucuruí. Para esta análise foram utilizados modelos lineares de mistura nas imagens de satélite Landsat segmentadas e métricas de paisagem, a fim de mapear e caracterizar quantitativamente as classes.

No terceiro artigo, estudou-se as melhoras e semelhanças entre os municípios afetados pelo reservatório de Tucuruí, nos períodos de pós-inauguração da fase I, início da ampliação, e conclusão da construção da usina hidrelétrica de Tucuruí. Na análise foram utilizados os resultados das métricas da paisagem obtidos nos capítulos II e III, em conjunto com variáveis socioeconômicas dos sete municípios estudados. Foram empregadas análise de componentes principais e análise de agrupamentos, destinadas a formar combinações lineares das variáveis para cada município e agrupar os municípios com padrões de vida semelhantes.

No último artigo apresentou-se o mapeamento das classes de cobertura da terra nas vizinhanças do lago artificial de Tucuruí e sua influência, segundo a distância do reservatório sobre a expansão das áreas antropizadas nas imediações do lago até um raio de 30 km do mesmo. Para isto, empregou-se o modelo linear de mistura em imagens de satélite Landsat segmentadas e a análise de proximidade, nas diferentes etapas de construção da usina hidrelétrica, ao longo dos 33 anos de operação.

O uso da segmentação nas imagens-fração sombra, solo e vegetação do modelo linear de mistura, mostrou-se satisfatório para o mapeamento multitemporal da evolução da cobertura da terra nos sete municípios diretamente afetados pelo reservatório de Tucuruí, entre os períodos de pré-inauguração, finalização da fase I, início da fase II de construção, finalização completa do megaprojeto hidrelétrico de Tucuruí e cenário atual da região, referente aos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, respectivamente.

Os resultados dos capítulos 2 e 3, revelaram os níveis de fragmentação florestal nos períodos de pós-inauguração da fase I, início da ampliação e conclusão da construção da usina

hidrelétrica de Tucuruí. Verificou-se que cada um dos municípios apresentou diferentes padrões espaciais de desmatamento, sem relação com a proporção do reservatório imerso nos municípios, a exceção do município de Novo Repartimento, que abrange a maior parte do reservatório de Tucuruí e contém a maior propagação de áreas desmatadas, nestes períodos.

Os municípios de Nova Ipixuna, Jacundá e Breu Branco apresentaram os maiores níveis de fragmentação florestal entre os anos de 1988 e 2010; estes estão localizados na margem direita do reservatório, região atravessada pelas rodovias PA-150 e PA-263, interconectando assim às principais cidades do Sudeste Paraense, Tucuruí e Marabá. Pode-se concluir que o alto nível de fragmentação está associado à conectividade das manchas urbanas da região, mediante rodovias nas circunvizinhanças do reservatório, o que facilitou o acesso às áreas de floresta e sua conversão em grandes áreas de pasto.

Os altos níveis de fragmentação florestal associados às diferentes atividades humanas, como a extração da madeira e extensão de grandes áreas voltadas ao agronegócio, podem ser considerados elementos associados as melhorias das condições de vida da população local. No entanto, é necessário avaliar tais relações. Os municípios de Jacundá e Nova Ipixuna (mais fragmentados) foram os únicos que apresentaram melhoras em seus indicadores de padrão de vida, porém, sem posicionar-se no grupo de municípios com os melhores padrões de vida. Em relação a Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Itupiranga (com as maiores áreas antropizadas), estes municípios não apresentaram melhoras consideráveis em seus indicadores de padrão de vida, para os cenários de finalização da fase I, início da fase de ampliação e finalização completa do megaprojeto hidrelétrico.

O município de Tucuruí foi o único que atingiu tal melhoras, destacando-se sempre isoladamente com o melhor índice de padrão de vida de toda a região. Tal desequilíbrio deve ser considerado no planejamento de futuros empreendimentos similares, para a utilização adequada das compensações financeiras recebidas pelos municípios alagados pelo reservatório artificial, e assim, aprimorar o desenvolvimento socioeconômico equitativo da região.

Finalmente, apresentou-se as alterações na cobertura florestal relacionadas à implementação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí e suas obras complementarias, nas imediações do reservatório até um raio de 30 km do mesmo. Nas etapas de pré-inauguração, finalização da fase I, início da fase II de construção, finalização completa do megaprojeto hidrelétrico de Tucuruí e cenário atual da região, referente aos anos 1984, 1988, 1999, 2010 e 2017, respectivamente.

Constatou-se que a maior taxa de desmatamento aconteceu entre as primeiras fases estudadas (1984 - 1988), associada especificamente às áreas alagadas pelo reservatório e atividades antrópicas decorrentes do fácil acesso a áreas de florestas, mediante as rodovias e estradas traçadas na região. Onde, as maiores concentrações de áreas desmatadas se encontram localizadas nas proximidades das principais rodovias da região (BR-230, PA-263, PA-150 e PA-151) e distantes a mais de 5 km das margens do lago (nas áreas do reservatório não margeadas pelas rodovias).

Nos outros períodos analisados (1988 - 1999, 1999 - 2010 e 2010 - 2017), as taxas de desmatamentos foram menores, devido a que desde o cenário de 1999, as áreas desmatadas superavam o 50% da área de estudo. No entanto, é importante reparar que as rodovias foram desde o início as principais roteadoras do desmatamento na região, onde, tal efeito pode ser multiplicado, caso se encontrem interconectadas entre elas ou nas circunvizinhanças de 5 km ao reservatório.

O fato das investigações se basearam no análise espaço-temporal do desmatamento, junto aos indicadores socioeconômicos para conhecer suas relações, implicações e efeitos, coloca questões metodológicas e análises que merecem reflexões, como: a) Será que poderemos dizer que os altos níveis de fragmentação florestal estão diretamente associados só ao megaprojeto hidrelétrico e seu reservatório?; b) As rodovias traçadas na região desde antes da construção da usina hidrelétrica, na verdade, foram as que estimularam a devastação das florestas tropicais da região?; c) As políticas públicas atuam adequadamente na utilização e investimento das compensações financeiras recebidas pelos municípios, pela exploração dos potenciais hidráulicos, como instrumento econômico da gestão ambiental e desenvolvimento socioeconômico equitativo da região?

Estas questões parecem dar sentido à ideia estabelecida nesta tese, de que a investigação dos impactos ambientais gerados por grandes projetos de engenharia, devem ser avaliados desde uma visão global e multitemporal das extensas áreas afetadas, incluindo-se os efeitos das obras complementares aos megaprojetos. O desenvolvimento metodológico utilizado permite olhar os impactos de uma forma mais holística, integrando e relacionando os diferentes fatos que acontecem ao longo do tempo. Parece ser um interessante desafio a enfrentar, pois pode contribuir para resolver alguns dos problemas que aqui se discutem.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**: relatório síntese. Brasília,DF: ANA; SPR, 2009. 256p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos para geração de energia elétrica**. Brasília,DF: ANEEL, 2005. 33p.
- BAINES, S. G. **É a FUNAI que sabe**: a frente de atração waimiri-atroari. Belém,PA: MPEG;CNPq, 1991. 363p.
- BERMANN, C. O projeto da usina hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, v. 15, n. 1, p. 5-23, 2012.
- BIELENKI JUNIOR, C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. São Carlos,SP: EdUFSCar, 2012. 257p.
- BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y.; MESQUITA, A. L. A. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. **Energy for Sustainable Development**, v. 12, n. 3, p. 25-33, 2008.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D.; VIANEI, J. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal – Projeto PRODES**. São José dos Campos,SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. 37p.
- CARAMELO, S. U. J.; CIDADE, L. C. F. Gestão do território e conflitos ambientais na represa de Tucuruí na Amazônia brasileira. **POLÍGONOS. Revista de Geografía**, v. 14, p. 53-77, 2004.
- CARNEIRO FILHO, A.; SOUZA, O. B. **Atlas de pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira**. São Paulo,SP: Instituto Socioambiental, 2009. 47p.
- CHEN, G.; POWERS, R. P.; CARVALHO, L. M. T.; MORA, B. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. **Applied Geography**, v. 63, p. 1-8, 2015.
- COELHO, M. C.; MIRANDA, E.; WANDERLEY, L. J.; GARCIA, T. C. Questão energética na Amazônia: disputa em torno de um novo padrão de desenvolvimento econômico e social. **Novos Cadernos NAEA**, v. 13, n. 2, p. 83-102, 2010.
- CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada**: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. São Paulo,SP: Atlas, 2007. 540p.
- COSTA, A. P. P.; ROCHA, G. M. A usina hidrelétrica de Tucuruí e a sua influência na reorganização do território local: uma reflexão. In: CANTO, O.; CONDURÚ, M. T.; VASCONCELLOS SOBRINHO, M. (Orgs.). **Gestão ambiental na Amazônia**: território, desenvolvimento e contradições. Belém,PA: NUMA/UFPA, 2017. p. 47-62.
- COUDREAU, H. A. **Voyage au Tocantins-Araguaya**: 31 decembre 1896 - 23 mai 1897. Paris: A. Lahure, 1897. 298p.

CURI, P. R. Agrupamento de países segundo indicadores de padrão de vida. **Revista de Saúde Pública**, v. 27, n. 2, p. 127-134, 1993.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS desktop 10.2.2 software**. 2014. CD-ROM.

FEARNSIDE, P. M. Social impacts of Brazil's Tucuruí dam. **Environmental Management**, v. 24, n. 4, p. 483-495, 1999.

FEARNSIDE, P. M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Management**, v. 27, n. 3, p. 377-396, 2001.

FEARNSIDE, P. M. **Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región Amazónica**. Lima: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR)/Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES); Panel Internacional de Ambiente y Energía, 2014a. 55p.

FEARNSIDE, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River dams: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science & Policy**, v. 38, p. 164-172, 2014b.

FEARNSIDE, P. M. Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: implications for the aluminum industry. **World Development**, v. 77, p. 48-65. 2016.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

FERREIRA, L. V.; CUNHA, D. A.; CHAVES, P. P.; MATOS, D. C. L.; PAROLIN, P. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern Brazilian Amazonian. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 1013-1023, 2013.

FINER, M.; JENKINS, C. N. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. e35126, 2012.

FLORENZANO, T. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011. 128p.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; REI, F. C. F. Brazilian energy matrix and sustainable development. **Energy for Sustainable Development**, v. 6, n. 4, p. 55-59, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**: 1991. 1991. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso: outubro/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**: 2000. 2000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso: novembro/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**: 2010. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso: novembro/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas digitais**: 2015. 2015. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br>. Acesso: março/2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Gráficos climatológicos. 2015. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso: maio/2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE); FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS (FUNCATE). **TerraAmazon administrator user's guide**. São José dos Campos,SP: INPE/FUNCATE, 2016. 187p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos,SP: Parêntese, 2009. 604p.

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

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo,SP: Oficina de Textos, 2009. 423p.

LA ROVERE, E. L.; MENDES, F. E. **Tucuruí hydropower complex, Brazil**. Cape Town: A WCD case study prepared as an input to the World Commission on Dams, 2000. 196p.

LEITE, G. B.; BRIGATTE, H.; AGUILAR, E. B. Análise multivariada de indicadores socioeconômicos dos países do G-20. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 7, n. 1, p. 125-147, 2009.

LIMA, N. T. Uma brasileira médica: o Brasil central na expedição científica de Arthur Neiva e Belisário Penna e na viagem ao Tocantins de Júlio Paternostro. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 16, n. 1, p. 229-248, 2009.

LÓPEZ-PUJOL, J. Impactos sobre la biodiversidad del embalse de las Tres Gargantas en China. **Asociación Española de Ecología Terrestre**, v. 17, n. 1, p. 134-145, 2008.

MANYARI, W. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: downstream effects of dams. **Energy Policy**, v. 35, n. 12, p. 6526-6534, 2007.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: Department of Agriculture/Forest Service/Pacific Northwest Research Station, 1995. 122p.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. **FRAGSTATS v4**: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Amherst: University of Massachusetts, 2012. Disponível em: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>. Acesso: março/2017.

MERRITT, D. M.; COOPER, D. J. Riparian vegetation and channel change in response to river regulation: a comparative study of regulated and unregulated streams in the Green River basin, USA. **Regulated Rivers Research & Management**, v. 16, n. 6, p. 543-564, 2000.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano nacional de energia 2030**. Brasília,DF: MME/EPE, 2007. 210p.

MORAIS, R. P.; AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M. Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 411-421, 2008.

MOYA, C. A. F.; FRANCO, H. C. B.; REZENDE, P. F. V. S. AHE Belo Monte - Evolução dos estudos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 17., 2007, Belém. **Anais...** Belém: Comitê Brasileiro de Barragens, 2007. p. 1-16.

NILSSON, C.; EKBLAD, A.; GARDFJELL, M.; CARLBERG, B. Long-Term effects of river regulation on river margin vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 28, n. 3, p. 963-987, 1991.

NILSSON, C.; LIERMANN, C. R.; DYNESIUS, M.; REVENGA, C. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. **Science**, v. 308, n. 5720, p. 405-408, 2005.

PHILIPPI JUNIOR, A. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. São Paulo,SP: Signus Editora, 2000. 318p.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Índice de desenvolvimento humano municipal brasileiro**. Brasília,DF: PNUD/IPEA/FJP, 2013. 96p.

POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **BioScience**, v. 47, n. 11, p. 769-784, 1997.

POSTGRESQL. **PostgreSQL version 9.4 for windows**. 2012. Disponível em: <<https://www.postgresql.org>>. Acesso: setembro/2016.

POTTMAIER, D.; MELO, C. R.; SARTOR, M. N.; KUESTER, S.; AMADIO, T. M.; FERNANDES, C. A. H.; MARINHA, D.; ALARCON, O. E. The brazilian energy matrix: from a materials science and engineering perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 678-691, 2013.

QUEIROZ, A. R. S.; MOTTA-VEIGA, M. Análise dos impactos sociais e à saúde de grandes empreendimentos hidrelétricos: lições para uma gestão energética sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1387-1398, 2012.

ROCHA, P. E. D. Trajetórias e perspectivas da interdisciplinaridade ambiental na pós-graduação brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 6, n. 2, p. 155-182, 2003.

ROCHA, G. M. **Todos convergem para o lago!:** hidrelétrica Tucuruí, municípios e territórios na Amazônia. Belém: NUMA/UFPA, 2008. 238p.

ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C.; ROSOLEM, R.; JUAREZ, R. I. N.; TANNUS, R. N.; LIGO, M. A.; CABRAL, O. M. R.; DIAS, M. A. F. S. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado *Sensu stricto*) in southeast Brasil. **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2002.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J. M.; CARVALHO, E. Mensuração dos impactos ambientais de empreendimentos hidroelétricos: o uso do método de valoração contingente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 39-45, 2009.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí -PA. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 1, p. 41-50, 2005.

SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO (SENPLADES). **Plan nacional para el buen vivir 2013-2017**. Quito: SENPLADES, 2013. 600p.

SHIMABUKURO, Y. E.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos,SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997. 24p.

SIEBEN, A.; CLEPS JUNIOR, J. Política energética na Amazônia: a UHE Estreito e os camponeses tradicionais de Palmatuba/Babaçulândia (TO). **Sociedade e Natureza**, v. 24 n. 2, p. 183-196, 2012.

SILVA, J. B. A indústria do alumínio e a crise de energia. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, p. 95-96, 2001.

SKIDMORE, T. **Brasil: de Castelo a Tancredo 1964-1985**. Rio de Janeiro,RJ: Paz e Terra, 2004. 608p.

SOITO, J. L. S.; FREITAS, M. A. V. Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 3165-3177, 2011.

SOUSA, L. M. **Estoques de carbono resultantes de mudanças de uso e cobertura do solo e sua relação com os indicadores socioeconômicos nos municípios de Paragominas e Ulianópolis, Pará**. 2016. 126f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

SOUZA, A. C. C. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: dam areas versus installed and firm power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 7, p. 1843-1863, 2008.

SPSS STATISTICS. **SPSS statistics version 23 for windows**. 2014. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSLVMB_23.0.0/spss/product_landing.htm>. Acesso: novembro/2017.

STERNBERG, R. Damming the river: a changing perspective on altering nature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 3, p. 165-197, 2006.

STERNBERG, R. Hydropower: dimensions of social and environmental coexistence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 6, p. 1588-1621, 2008.

TANCREDI, M.; ABBUD, O. A. **Por que o Brasil está trocando as hidrelétricas e seus reservatórios por energia mais cara e poluente?**. Brasília,DF: Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado, 2013. 42p.

TERRAAMAZON. **TerraAmazon version 4.6.2 for windows**. São Jose dos Campos: INPE/FUNCATE, 2016. Disponível em: <<http://terraamazon.org/index.php>>. Acesso: setembro/2016.

TUNDISI, J. G.; GOLDEMBERG, J.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SARAIVA, A.C.F. How many more dams in the Amazon?. **Energy Policy**, v. 74, p. 703-708, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Earth explorer**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso: outubro/2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat processing details**, 2017a. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>>. Acesso: março/2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat missions timeline**, 2017b. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>>. Acesso: março/2018.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2001. 144f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens - fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.

VERDUM, R. **Integração, usinas hidrelétricas e impactos socioambientais**. Brasília,DF: Instituto de Estudos Socioeconômicos, 2007. 200p.

VIDOLIN, G. P.; BIONDI, D.; WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 515-525, 2011.

VON SPERLING, E. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**, v. 18, p. 110-118, 2012.