
Impacto de pequenas

centrais hidrelétricas em sub-bacias do rio Branco em Rondônia, Amazônia Ocidental, Brasil

Impact of small hydroelectric plants in the Branco River
subwatershed in Rondônia, Western Amazon, Brazil

Caio Henrique Patrício Paganí¹

Adriano Reis Prazeres Mascarenhas²

¹ Universidade Federal de Rondônia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA), Porto Velho (RO), Brasil.

² Universidade Federal de Rondônia, Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Rolim de Moura, (RO), Brasil.

caiopagani@gmail.com

adriano.mascarenhas@unir.br

Resumo

Objetivou-se caracterizar a modificação espaço temporal do uso e ocupação do solo, sob a influência de pequenas centrais hidrelétricas na bacia do rio Branco em Rondônia (RO), Brasil, pela técnica de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Utilizou-se imagens dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* e imagens SRTM. Para tanto, empregou-se o software *ArcGIS* na delimitação das sub-bacias, na obtenção dos NDVI e na vetorização dos canais de transposição de água. Ao final, obteve-se a delimitação de 76 sub-bacias hidrográficas, o teste de *t* pareado ($p < 0,01$) indicou decréscimo de cobertura vegetal entre 1996 e 2006 (3,49 % ano⁻¹), e entre 2006 e 2016 a taxa média de supressão vegetal foi de 1,30 % ano⁻¹. As instalações das PCHs aumentaram a lâmina de água devido à construção de canais de transposição e por meio dos NDVI foi possível verificar as dinâmicas de uso e ocupação do solo.

Palavras chave: NDVI; bacia hidrográfica; geoprocessamento; água; socio-ambiental.

Abstract

*The objective of this study was to characterize the spatial-temporal variation of use and occupation of the soil, under the influence of small hydroelectric plants (PCHs) in the Branco River watershed Rondônia, Brazil, by using the normalized difference vegetation index technique (NDVI). Images from the Landsat 5 and Landsat 8 satellites and SRTM images were used. Thus, the ArcGIS software was used in the definition of subwatersheds, in getting the NDVI and vectorization of the water transposition channels. At the end, 76 subwatersheds were delimited; the paired *t*-test ($p < 0.01$) indicated a decrease in plant cover between 1996 and 2006 (3.49 % year⁻¹), and between 2006 and 2016 the average plant suppression rate was 1.30 % per year⁻¹. The installations of the PCHs increased the water depth due to the construction of transposition channels; by means of the NDVI it was possible to verify the dynamics of use and occupation of the soil.*

Key words: NDVI; watershed; geoprocessing; water; socioenvironmental.

1. Introdução

Nas décadas de 70 e 80 muitos países sofreram com a crise do petróleo. Nessa época, iniciou-se as correntes ambientais que conduziram ao planejamento do setor energético mundial para uma estratégia de procura sistemática de fontes alternativas de energia (Santana, 2006). No entanto, o Brasil iniciou a industrialização muito tarde, e embasado em planos de crescimento econômico fundamentado na implantação de obras de grande porte, que desencadearam inúmeros impactos ambientais, prejudicando a localidade onde a infraestrutura foi instalada, principalmente as usinas hidrelétricas (UHES), (Goldemberg e Moreira, 2005).

Em complemento a isso, Bermann (2007) comenta que no Brasil a viabilização da geração de energia elétrica por meio de UHES ocorreu devido à grande fonte de recursos hidráulicos que irrigam o país, visto que o aproveitamento do potencial hidrelétrico na geração de energia elétrica pode apresentar vantagens em comparação às outras fontes geradoras de energia elétrica. Porém, Moretto *et al.* (2012) afirmam que, atualmente, a matriz energética nacional é prejudicada pela falta de recursos do governo para realização de investimentos em empreendimentos e projetos que tenham baixo impacto ambiental.

Nesse contexto, com o aumento da demanda brasileira no consumo elétrico, ocorreu de maneira favorável para as atividades ecologicamente sustentáveis e com baixo impacto, que culminaram no desenvolvimento dos projetos de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), principalmente, em rios de pequeno e médio porte, em resposta aos movimentos ambientais (Perius e Carregaro, 2012).

Deste modo, as quedas de água de pequeno e médio porte representam uma opção

interessante para geração de energia elétrica. Sendo assim, as PCHs foram vistas como fonte de geração com custo acessível, ao menor prazo, além de disponibilizarem o acesso às suas linhas de transmissão à longa distância (Arias-Gaviria *et al.*, 2017). Por conta desses aspectos, conforme Dursun e Gokcol (2011), as PCHs podem ter vantagens intrínsecas na atenuação de eventuais efeitos negativos sócio-ambientais, como, por exemplo, a não interferência no regime hidrológico do curso de água.

Em contrapartida, para alcançar tais resultados é fundamental que ocorra o planejamento adequado para a construção de PCHs, bem como o monitoramento de sua operação. Então, diante desse cenário, as geotecnologias podem ser ferramentas úteis para compreender os processos ecológicos e antrópicos que agem nos sistemas terrestres, pois facilitam a identificação de elementos da superfície, tais como: floresta, cursos de água, formações rochosas, relevo e topografia, tornando possível a avaliação dos impactos que podem ser gerados pela construção de grandes empreendimentos (Santos *et al.*, 2016).

Sendo assim, pode-se destacar como exemplo de geotecnologias: sistemas de informações geográficas (SIG), geoprocessamento, sensoriamento remoto, topografia e o sistema de posicionamento global (GPS) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), (Ibrahin, 2014). Portanto, essas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem a dinâmica de uso e ocupação do solo e as alterações do regime hídrico de bacias hidrográficas (Coelho e Ferreira, 2011).

Nesse sentido, Cazula e Mirandola (2010) definem bacia hidrográfica como área de captação natural para a recarga de aquíferos

livres e confinados, na qual o escoamento de água possui um único ponto de saída com perímetro e delimitado pelos divisores topográficos. Além disso, ela é o principal elemento para unidade de planejamento territorial e são altamente sensíveis às modificações dos corpos hídricos que a compõe, bem como de suas adjacências.

Tendo em vista os aspectos apresentados, objetivou-se, com o presente trabalho, realizar uma análise da modificação espaço temporal do uso e ocupação do solo, anteriormente e posteriormente a instalação de sete PCHs, localizadas à montante da bacia do rio Branco no município de Alta Floresta do Oeste, Rondônia, por meio da aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

2. Material e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

Para desenvolvimento desse trabalho, fez-se necessário, primeiramente, realizar a delimitação de duas sub-bacias hidrográficas (11° 57' 15"S, 62° 06' 16"O) pertencentes à bacia do rio Branco, nas quais estão instaladas sete pequenas centrais hidrelétricas. A região em estudo faz parte do município de Alta Floresta do Oeste, Rondônia, cuja área territorial é de 7.067,025 km², com uma população aproximada de 25.578 habitantes. Além disso, o município em questão está na porção leste do estado de Rondônia e compõe um dos municípios da micro-região geográfica do município de Cacoal.

A classificação do clima da região, conforme a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Am (tropical úmido ou sub-úmido) com temperatura média anual de 26°C e pluviosidade média anual de 1.900 mm (Alvares *et al.*,

2013). O período mais chuvoso no estado ocorre entre os meses de novembro e março e o mais seco entre os meses de maio e setembro.

As localizações das PCHs foram obtidas a partir da consulta da base de dados fornecida pela ANEEL (2016), e estão indicadas na **Figura 1**.

2.2 Procedimentos metodológicos

O estudo proposto foi realizado em quatro etapas, sendo elas: **1)** pesquisa na literatura referente à caracterização da área de estudo e sobre metodologias e técnicas utilizadas para efetuar o estudo; **2)** pesquisa de fontes de informações e base de dados espacial; **3)** ajuste e correções na base de dados; **4)** confecção e elaboração dos mapas temáticos.

As bases de dados utilizadas para atender os procedimentos deste estudo consistem em: base de dados geológicos do estado de Rondônia na escala de 1:1.000.000 contendo os limites das bacias e sub-bacias hidrográficas, hidrografia (CPRM, 2017); base cartográfica do estado de Rondônia na escala de 1:1.000.000 contendo os limites estaduais, limites municipais e as rodovias (IBGE, 2017); base de dados de localização das PCHs na escala de 1:1.000.000 (ANEEL, 2016); imagens do sensor da série *Landsat*, conforme indicado na **Tabela 1** (INPE, 1996; 2006; 2011; 2016).

Além disso, foram utilizadas imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), as quais correspondem às folhas: 11S63 ZN, 11S615 ZN, 12S63 ZN, 12S615 ZN e 12S645 ZN, com resolução espacial de 90 metros e resolução radiométrica de 16 bits (INPE, 2011).

Os procedimentos de tratamento de informações e elaboração dos mapas foram realizados no *software* SIG *ArcGIS Desktop* versão 10.5 do ano de 2017, com licença estudantil sobre o número de registro EVA346750770 (ESRI, 2017).

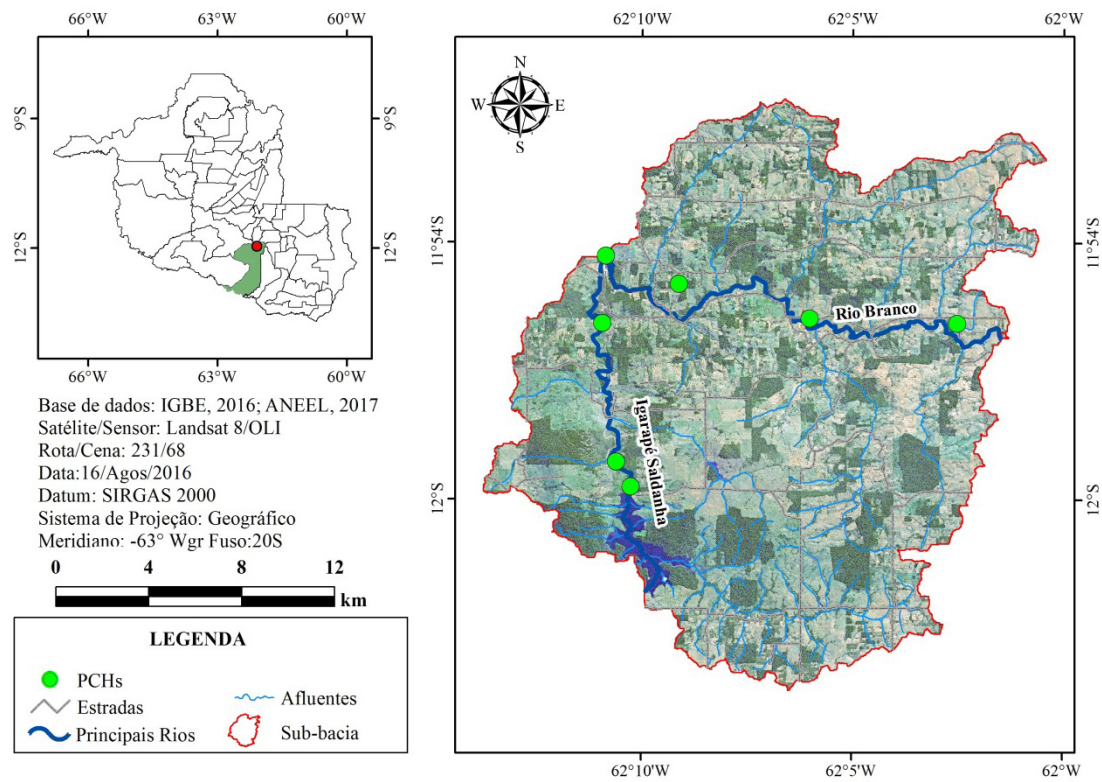


Figura 1 Localização da área em estudo e das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) na bacia do rio Branco, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

Tabela 1 Características das imagens da série Landsat na bacia do rio Branco, Alta Floresta do Oeste, Rondônia

Satélite e sensor	Resolução espacial	Resolução radiométrica	Bandas utilizadas	Órbita e ponto	Data do imageamento
Landsat 5/TM	30 m	8 bits	5R 4G 3B	231/68	20/07/1996
Landsat 5/TM	30 m	8 bits	5R 4G 3B	231/68	16/07/2006
Landsat 8/OLI	30 m	8 bits	4R 3G 2B	231/68	16/08/2016

A delimitação sub-bacias do rio Branco foi realizada a partir da metodologia preconizada no trabalho de Sobrinho *et al.* (2010), no qual realizou-se o processamento dos dados SRTM em quatro etapas, sendo elas: preenchimento de falhas do SRTM; direção de fluxo, fluxo acumulado e delimitação de bacias. Este procedimento foi realizado no *ArcMap*, por meio da seleção das ferramentas disponíveis no

ArcToolbox - Hydrology, conforme a Figura 2. Após esse procedimento foram gerados os vetores das sub-bacias da bacia do rio Branco, onde esses vetores na feição de polígonos foram cruzados com os vetores de pontos de localização das PCHs do rio Branco, sendo selecionadas somente as sub-bacias número 7 e 9, pois são as que contêm as PCHs instaladas, conforme indicado na Figura 3.

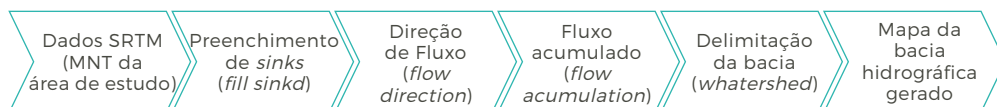


Figura 2 Etapas do processamento dos dados SRTM no software ArcGIS. *Fonte:* Sobrinho et al. (2010)

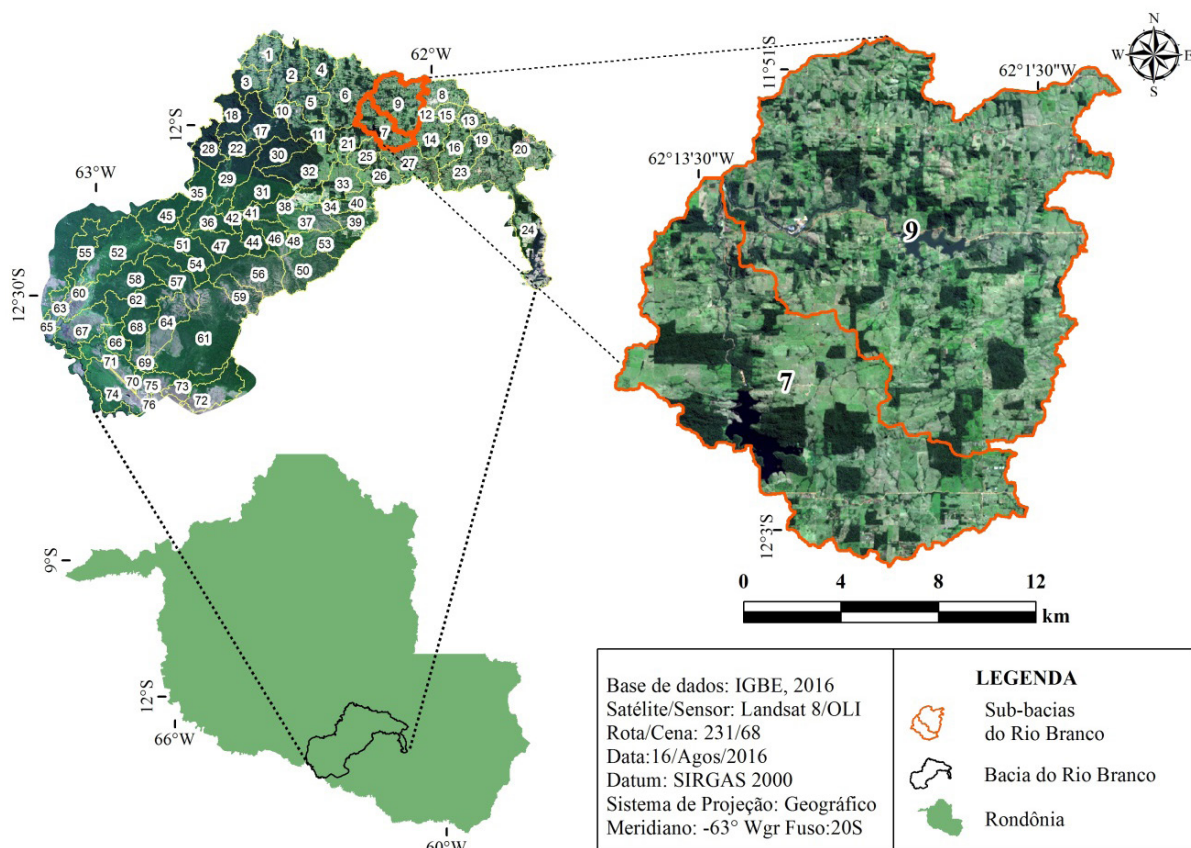


Figura 3 Localização das sub-bacias que compõem a bacia do rio Branco, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

Em seguida foi realizada a composição colorida da imagem *Landsat 5 TM* na conformação RGB (5-4-3) e *Landsat 8 OLI* na conformação RGB (4-3-2), representando de forma clara os limites entre solo, vegetação e água nas cores magenta, esverdeado e azulado. Esta etapa foi realizada empregando-se a rotina *ArcToolbox - Data Management Tools - Raster - Raster Processing - Composite Bands* dispo-

nível no *ArcGIS*. Na sequência, recortou-se a região da imagem correspondente a área de estudo a partir dos vetores selecionados por intermédio da rotina *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Extraction - Extract by Mask*.

A próxima etapa realizada consistiu na obtenção do índice de cobertura natural, o qual foi mensurado pela técnica de Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI),

utilizada no trabalho de Santos e Aquino (2015). O NDVI é um modelo resultante da combinação dos níveis de reflectância nas imagens de satélites *Landsat*, por meio da diferença das bandas espectrais do vermelho e infravermelho.

Foram utilizadas as bandas 3 (visível) e 4 (infravermelho próximo) do satélite *Landsat 5 TM* e as bandas 4 (visível) e 5 (infravermelho próximo) do satélite *Landsat 8 OLI* dos anos de 1996, 2006 e 2016. Esta etapa foi realizada mediante a rotina *Image Analysis- NDVI* e rotina *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify* disponível no *ArcGIS*. Para este procedimento utilizou-se a equação 1.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada; NIR = refletância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (0,76 a 0,90 μm); R = refletância no comprimento de onda correspondente ao vermelho (0,63 a 0,69 μm).

Após a obtenção e interpretação dos índices de vegetação por diferença normalizada, foram caracterizados os intervalos, que em seguida foram reclassificados em números e agrupados em três categorias, que expressam as classes do uso e ocupação do solo.

A identificação das três classes de uso e ocupação foi baseada nos parâmetros técnicos indicados por IBGE (2013), tendo como dessa forma as características de cada classe foram: Área Antropizada (áreas de solo exposto e áreas com gramíneas plantadas ou nativas), Água (cursos hídricos) e Floresta (fragmentos florestais, matas ciliares e formação arbustiva). Em seguida, calculou-se o índice percentual de cada classe de uso do solo pela rotina *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Map Algebra - Raster Calculator*.

Além disso, sobre a imagem obtida pelo sensor OLI do *Landsat 8*, realizou-se o processo de vetorização sobre a mesma, com o propósito de se identificar e quantificar possíveis canais de transposição de água para os reservatórios localizados no leito do rio Branco, para tanto, criou-se um arquivo *shapefile* no *ArcCatalog*, do tipo linha, com sistema de projeção geográfica SIRGAS 2000. Posteriormente, o arquivo *shapefile* foi carregado no *ArcMap*, no qual por meio da rotina *Editor-Start Editing*, criou-se, sobre a imagem, os vetores correspondentes aos canais e, em seguida, acessando a tabela de atributos do arquivo, calculou-se a extensão linear dos canais em quilômetros, com a ferramenta *Calculate Geometry*.

Os valores obtidos, foram submetidos ao teste de *Shapiro-Wilk* ($p < 0,01$) e ao teste de t pareado ($p < 0,01$), a fim de se verificar as diferenças entre os períodos para as classes de uso do solo. Além disso, elaboraram-se os mapas temáticos de uso e ocupação do solo dos anos de 1996, 2006 e 2016.

3. Resultados

Foi possível delimitar um total de 76 sub-bacias hidrográficas, sendo que para o presente estudo foram selecionadas as sub-bacias de número 7 e 9, que correspondem a 380,21 km^2 (38.021,52 ha), cerca de 4,1% do perímetro total da bacia do rio Branco (**Figura 4**).

Os valores obtidos para os percentuais de uso e ocupação do solo da sub-bacia do rio Branco, calculados a partir dos NDVI, para os anos de 1996, 2006 e 2016 estão apresentados na **Tabela 2**.

Sendo assim, verificou-se que o teste de t pareado foi significativo ($p < 0,01$) para período de 1996 a 2006, indicando que nos primeiros

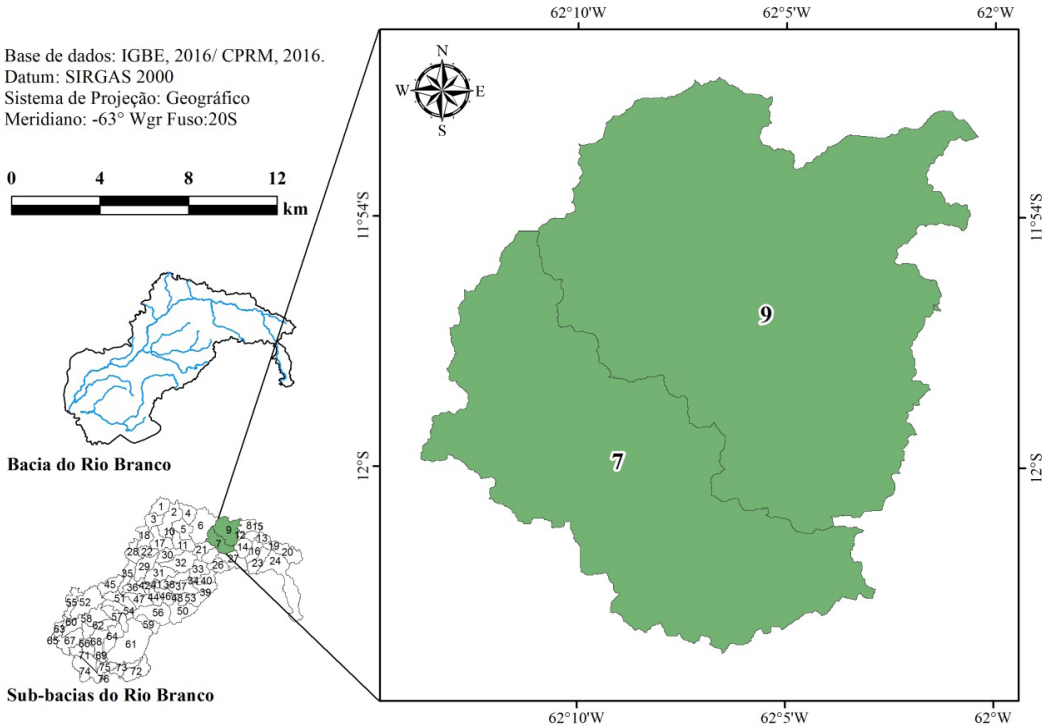


Figura 4 Identificação das sub-bacias do rio Branco, consideradas para o estudo, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

Tabela 2 Valores absolutos e relativos das áreas referentes às classes de uso e ocupação do solo, para um trecho da bacia do rio Branco sob a influência de PCHs, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

Anos	Floresta		Área Antropizada		Água	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1996	20326,30	53,46	17425,26	45,83	269,95	0,71
2006	13220,08	34,77	24128,46	63,46	672,98	1,76
2016	11505,31	30,26	25702,55	67,60	813,66	2,14

10 anos, houve decréscimo substancial na cobertura vegetal (34,96%), com uma taxa média de supressão vegetal de 3,49% ano⁻¹. Quando se tratando da segunda década (2006 a 2016), sob a influência da instalação das PCHs, o teste de t pareado não indicou diferenças, sendo que a taxa média de supressão vegetal foi mais baixa em relação ao período anterior (1,30% ano⁻¹).

Já na classe correspondente a ‘Área Antropizada’, nota-se que o aumento mais pronunciado ocorreu entre os anos de 1996 e 2006 (38,47%), como pode ser verificado nas Figuras 5 e 6, enquanto que para o interstício de 2006 a 2016, o aumento foi 76,93% menor, em relação à década anterior.

Na sequência, ao se verificar os valores para a classe ‘Água’ (Tabela 2), percebe-se que

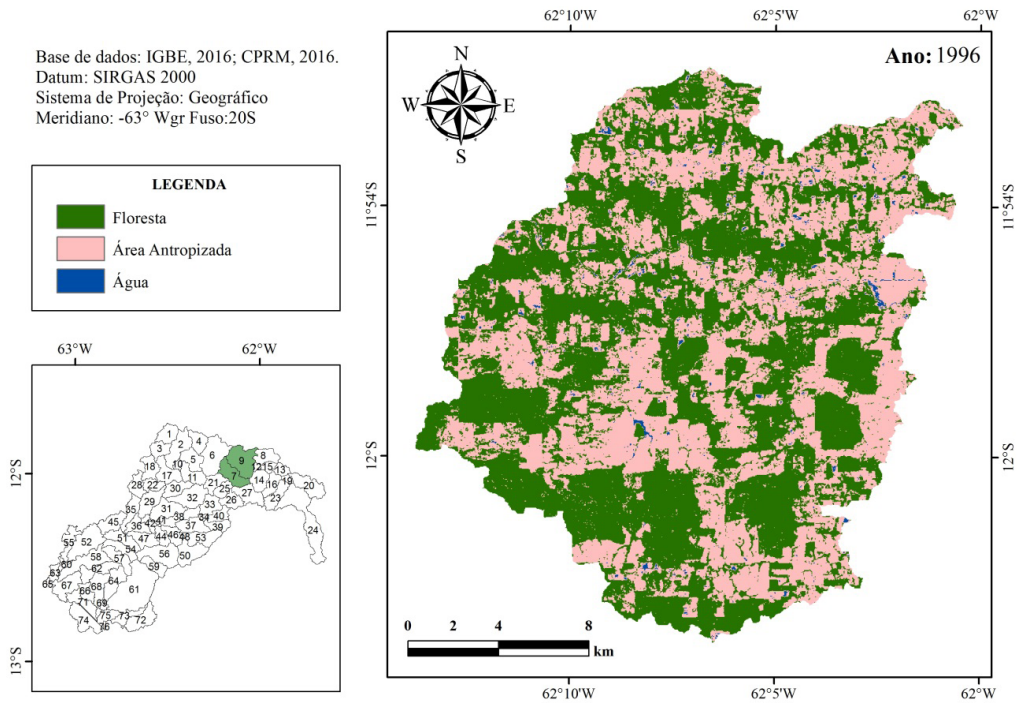


Figura 5 Uso e ocupação do solo do ano de 1996, para um trecho da bacia do rio Branco ocupado por PCHs, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

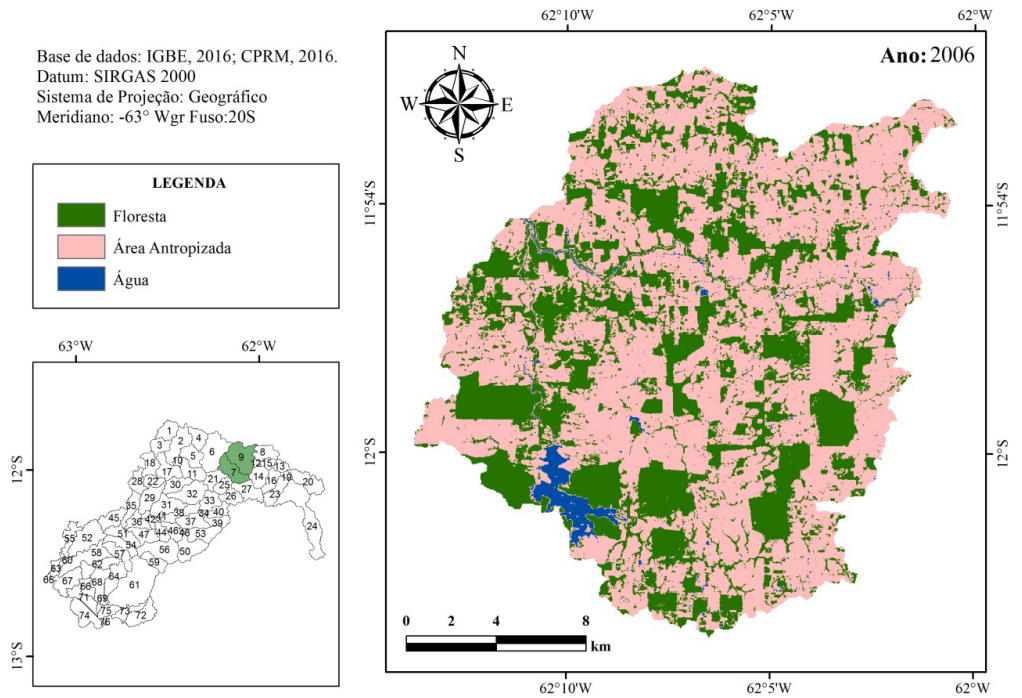


Figura 6 Uso e ocupação do solo do ano de 2006, para um trecho da bacia do rio Branco ocupado por PCHs, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

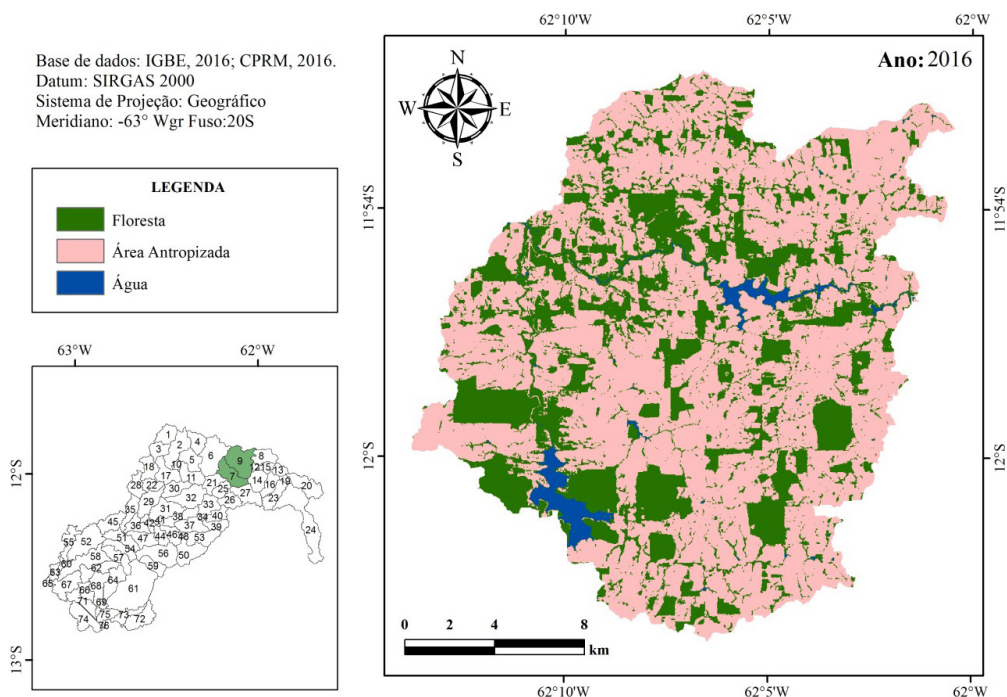


Figura 7 Uso e ocupação do solo do ano de 2016, para um trecho da bacia do rio Branco ocupado por PCHs, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

tanto para o período entre os anos de 1996 e 2006, quanto para o intervalo temporal dos anos de 2006 e 2016, o teste de t pareado, indicou diferenças entre os percentuais das classes de uso e ocupação do solo.

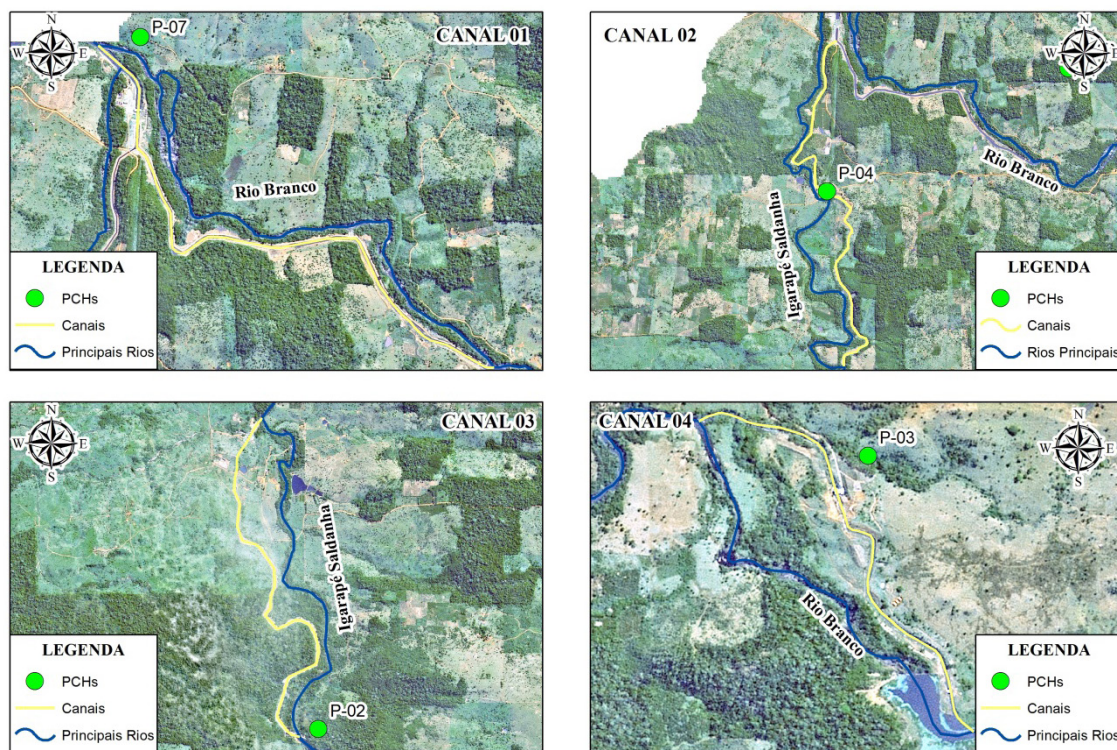
Dessa forma, estima-se que em 20 anos, a lâmina de água da bacia apresentou um aumento de, aproximadamente, 201,41%, com o crescimento mais pronunciado entre os anos de 1996 e 2006 e com uma taxa média na ordem de 14,93% ano⁻¹, aproximadamente. No segundo período, a taxa foi de 2,09% ano⁻¹, e os efeitos dessas transformações também podem ser observados na **Figura 7**.

Em complemento a isso, por meio da vetorização sobre a imagem do satélite *Landsat 8 OLI*, do ano de 2016, foi possível verificar a construção de quatro canais de transposição de água para os reservatórios das PCHs,

totalizando 16,46 km de extensão, os quais dois canais foram construídos a partir do leito do rio Branco e outros dois a partir do leito do igarapé Saldanha, conforme é verificado na **Figura 8**.

4. Discussão dos resultados

Em relação à alta média de supressão vegetal anual, verificada entre os anos de 1996 a 2006, sugere-se que a conversão do uso do solo para desenvolvimento da agropecuária (pastagens e plantios anuais) tenha contribuído, majoritariamente, para esse efeito, principalmente nas áreas de reserva legal. Seguindo esse raciocínio, Faria *et al.* (2015) e Assunção *et al.* (2016), comentam que a construção de reservatórios hidrelétricos tem o potencial de fomentar, indiretamente, o desmatamento, por conta da imigração e especulação fundiária.



Base de dados: IGBE, 2016/ CPRM, 2016. Datum: SIRGAS 2000. Sistema de Projeção: Geográfico. Meridiano: -63° Wgr Fuso: 20S

Figura 8 Localização dos canais criados ao longo do rio Branco e do igarapé Saldanha, em Alta Floresta do Oeste, Rondônia

Além disso, nas regiões adjacentes aos corpos hídricos da sub-bacia em análise, a supressão das matas ciliares pode ter sido fomentada, a priori, pelo aumento da lâmina de água, ocasionado pelas barragens dos reservatórios hidrelétricos (Chen *et al.*, 2015), como pode ser verificado nas **Figuras 5, 6 e 7**. Esse efeito também foi evidenciado por Prado (2013), ao analisar o contexto socioambiental da bacia do rio Branco.

Nesse contexto, as pesquisas de Reis e Pinheiro (2010) apontam características correlatas com as situações apresentadas neste trabalho, pois verificaram que em uma unidade de conservação na Amazônia Central as maiores taxas de desmatamento também ocorreram entre os anos de 1990 e 2008, com grande

contribuição das atividades agropecuárias. Ainda mais, corroborando com esses aspectos, os dados das taxas anuais de desmatamento apresentadas pelo INPE (2017) indicam que, para o estado de Rondônia, os maiores valores concentraram-se entre os anos de 1995 e 2004, com redução pronunciada a partir do ano de 2005, o que explica, também, a redução da supressão vegetal entre os anos de 2006 e 2016, verificadas neste trabalho. Em complemento, Cavalheiro *et al.* (2014), reforçam essa ideia ao verificarem grandes impactos aos recursos florestais na década de 90 no processo de colonização da Zona da Mata Rondoniense, local em que se insere a região de estudo.

A tendência de estabilização do incremento de lâmina de água, verificado a partir de

2006, pode ser atribuída à limitação de área dos reservatórios que devem ser iguais ou inferiores a 300 hectares, conforme inciso II da resolução nº 652 de 9 de dezembro de 2003 (ANEEL, 2003), ou seja, qualquer novo represamento implicaria em sanções judiciais aos detentores dos empreendimentos.

Entretanto, a modificação da cobertura vegetal e a construção de canais de transposição de passagem de água para acionamento das turbinas das PCHs instaladas nas sub-bacias do rio Branco (**Figura 8**), podem significar danos profundos ao ciclo hidrológico na sub-bacia, principalmente no que diz respeito à redução da vazão dos rios, nos períodos mais secos (Josimovic e Crncevic, 2012) e, conforme Andrade e Santos (2015), podem promover impactos irreversíveis ao ciclo de vida da ictiofauna, sem que exista um estudo planejado das ações mitigadoras. Ainda, têm o potencial de elevar as emissões de gases do efeito estufa à atmosfera, por conta do acúmulo de matéria orgânica (Faria *et al.*, 2015).

Em complemento, Prado (2013) relata em suas pesquisas que esses canais desviaram quase totalmente o leito original dos rios da região em estudo à jusante, causando um desequilíbrio na riqueza de peixes do rio.

No entanto, como foi exposto ao longo desse artigo, a construção de pequenas centrais hidrelétricas não será sempre a principal responsável pelo efeito deletério à cobertura vegetal e/ou ocorrência de problemas socioambientais, pois geram renda, emprego e possibilidade de desenvolvimento ao município (Assunção *et al.*, 2016). Entretanto, torna-se importante ressaltar que é notável a existência de impactos causados sobre a região estudada, a curto prazo.

5. Conclusões

Verificou-se variação das classes de uso e cobertura do solo entre os períodos avaliados, a instalação de PCHs causou impactos aos corpos hídricos da região em estudo, visto pela alteração dos níveis da lâmina de água e pela construção de canais de transposição.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada apresentou-se como boa ferramenta para estimativas das dinâmicas de uso e ocupação do solo. A instalação de empreendimentos hidrelétricos deve ser acompanhada de um planejamento minucioso, a fim de se tomar a melhor decisão na atenuação dos prováveis impactos socioambientais.

7. Referências citadas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2003. *Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo. Brasília, DF, 10 dez. 2003. Seção 1. p. 90.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2016. *Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL): Base de dados de localização das PCHs*. Disponível em: <<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>>. [Consulta: abril, 2017].
- ALVARES, C.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. & G. SPAROVEK. 2013. "Köppen's climate classification map for Brazil". *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.

- ASSUNÇÃO, J.; SZERMAN, D. e F. COSTA. 2016. *Efeitos locais de hidrelétricas no Brasil*. INPUT. Rio de Janeiro, Brasil.
- ANDRADE, A. L. & M. A. SANTOS. 2015. "Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52(1): 1.13-1.423.
- ARIAS-GAVIRIA, J.; ZWAAN, B. & T. KOBER. 2017. "The prospects for Small Hydropower in Colombia". *Renewable Energy*, 107(1): 204-214.
- BERMANN, C. 2007. "Impasses e controvérsias de hidroeletricidade". *Revista Estudos Avançados*, 59(21): 139-153.
- CAZULA, L. P. e P. H. MIRANDOLA. 2010. "Bacia Hidrográfica – conceitos e importância como unidade de planejamento: um exemplo aplicado na bacia hidrográfica de Ribeirão Lajeado/SP – Brasil". *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas-MS*, 12(7): 101-124.
- CHEN, G.; POWERS, R. P.; CARVALHO, L. & M. T. B. MORA. 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): 1-8.
- CAVALHEIRO, C. W. S.; VENDRUSCOLO, J.; HILGERT, S. L. M. e S. A. MOTA. 2014. "Impacto da colonização na Zona da Mata Rondoniense, Amazônia Ocidental-Brasil". *Revista Geográfica Venezolana*, 56(1): 41-57.
- COELHO, A. L. N. e G. A. C. FERREIRA. 2011. "Geotecnologias aplicadas em área inundável: O caso de Brejo Grande, Serra-ES". *Revista GeoTextos*, 7(1): 159-183.
- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM). 2017. *Base cartográfica do estado de Rondônia*. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. [Consulta: abril, 2017].
- DURSUN, B. & C. GOKCOL. 2011. "The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants for sustainable development in Turkey". *Renewable Energy*, 36(1): 1.227-1.235.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). 2017. *ArcGIS Desktop, version 10.5*. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/setup/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm>>. [Consulta: março, 2017].
- FARIA, F. A. M.; JARAMILLO, P.; SAWAKUCHI, H. O.; RICHEY, J. E. e N. BARROS. 2015. "Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs". *Environmental Research Letters*, 10(1): 1-13.
- GOLDEMBERG, J. e J. R. MOREIRA. 2005. "Política Energética no Brasil". *Revista Estudos Avançados*, 19(55): 215-228.
- IBRAHIM, F. I. D. 2014. *Introdução ao Geoprocessamento Ambiental*. Saraiva. São Paulo, Brasil.

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 1996. *Alta Floresta do Oeste, Rondônia. Imagem Satélite, color. Satélite LANSAT 5, instrumento TM. Data: 20 jul. 1996. Lat. -10.66060, Long. -63.12790*. São José dos Campos (SP), Brasil. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. [Consulta: janeiro, 2017].
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2006. *Alta Floresta do Oeste, Rondônia. Imagem Satélite, color. Satélite LANSAT 5, instrumento TM. Data: de 16 julho 2006. Lat. -10.66060, Long. -63.12790*. São José dos Campos (SP), Brasil. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. [Consulta: janeiro, 2017].
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2011 *Alta Floresta do Oeste, Rondônia. Imagem Radar. Satélite SRTM, folhas 11S63_ZN, 11S615_ZN, 12S63_ZN, 12S615_ZN, 12S645_ZN. Lat. -10.66060, Long. -63.12790*. São José dos Campos (SP), Brasil. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. [Consulta: janeiro, 2017].
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2016. *Alta Floresta do Oeste, Rondônia. Imagem Satélite, color. Satélite LANSAT 8, instrumento OLI/TIRS. Data: 12 agosto 2016. Lat. -10.66060, Long. -63.12790*. São José dos Campos (SP), Brasil. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. [Consulta: janeiro, 2017].
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2017. *Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2016*. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2016n.htm>. [Consulta: abril, 2017].
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2013. *Manual técnico do uso da terra*. IBGE. Rio de Janeiro, Brasil.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2017. *Banco de dados georreferenciado dos recursos naturais da Amazônia legal*. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. [Consulta: novembro, 2017].
- JOSIMOVIC, B. & T. CRNCEVIC. 2012. “The development of renewable energy capacities in Serbia: Case study of three small hydropower plants in the “Golija” biosphere reserve with special reference to the landscape heritage”. *Renewable Energy*, 48(1): 537-544.
- MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R. e C. O. JORDÃO. 2012. “Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica”. *Revista Ambiente & Sociedade*, 15(3): 141-164.
- PERIUS, R. e J. B. CARREGARO. 2012. “Pequenas centrais hidrelétricas como forma de redução de impactos ambientais e crises energéticas”. *Revista Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 16(2): 135-150.

- PRADO, R. J. 2013. “Breve reflexão socioambiental sobre PCHs na bacia do rio Branco em Alta Floresta do Oeste – RO”. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, 2(1): 12-21.
- REIS, J. R. L. e E. S. PINHEIRO. 2010. “Análise do desflorestamento em uma unidade de Conservação de uso sustentável na Amazônia Central”. *Geografia*, 35(3): 623-640.
- SANTANA, C. R. 2006. “O aprofundamento das relações do Brasil com os países do Oriente Médio durante os dois choques do petróleo da década de 1970: um exemplo de ação pragmática”. *Revista Brasileira de Política Internacional*, 49(2): 157-177.
- SANTOS, F. A. e C. M. S. AQUINO. 2015. “Análise da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), dos aspectos econômicos e suas relações com a desertificação/degradação ambiental em Castelo do Piauí, Piauí, Brasil”. *Revista Electrónica de Investigación e Desenvolvimento*, 1(4): 1-17.
- SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; OLIVEIRA, T. M.; BRANCO, E. R. F.; LORENZON, A. L.; DOMINGUES, G. F.; MARCATTI, G. E.; CASTRO, N. L. M.; TEIXEIRA, T. R.; SANTOS, G. M. A. D. A.; MOTA, P. H. S.; SILVA, S. F.; VARGAS, R.; CARVALHO, J. R.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S. & S. L. H. ALMEIDA. 2016. “Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting”. *Journal of Environmental Management*, 183(1): 1.050-1.063.
- SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. e F. M. AYRES. 2010. “Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM”. *Revista de Engenharia Agrícola*, 30(1): 46-57.