

Mudanças térmicas locais geradas pela implantação da Usina Hidrelétrica de Irapé

Iago Alberte Rodrigues Eleutério¹
André Medeiros Rocha²
Marcos Esdras Leite³

¹Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES
Caixa Postal 126-39401 – 089 – Montes Claros – MG, Brasil
iagoalberte@hotmail.com¹

²Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES
Caixa Postal 126-39401 – 089 – Montes Claros – MG, Brasil
andremedeiros197@hotmail.com

³Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES
Caixa Postal 126-39401 – 089 – Montes Claros – MG, Brasil
marcosesdras@ig.com.br

Abstract. Being a great water potential country, Brazil utilizes the hydroelectric power a lot to produce energy. They contribute with 75% of all the country's request, and it will probably remain as the main energy source for many years more. However, researches about climate changes from river disruption have showed that this energy production source brings not only benefits, but also brings problems such as the emissions of greenhouse gases due to chemical reactions present in the biotic environment of the dam's lake, and consequently contribute to the global warming. In order to study more deeply the climate changes in short term produced by hydro station, specifically about thermal changes, it was chosen as sample the Irapé station – located in the Jequitinhonha River – MG – and the local temperatures were calculated using the Landsat5 bands 3, 4 and 6 by the Remote Sensing and Geographic Information System – GIS – resources. Then, the temperatures before the implantation of the dam were compared to the temperatures after its implantation. The results have shown some variation in the temperature in the area that has been studied, which covers a 27 km ray of circumference with the center in the dam. It is possible to conclude that the hydroelectric power is not a clean energy source at all.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. Introdução

Por ser um país com um intenso potencial hídrico, o Brasil aproveita-se bastante dessa característica no tocante à produção de energia elétrica. Segundo dados provenientes do site do Instituto Socioambiental (ISA), 75% desta é produzida por meio de hidrelétricas, número muito superior ao comum em países desenvolvidos. Além disso, de acordo com a mesma fonte, o plano de governo brasileiro prevê que essa forma de produção de energia continuará a ser a base energética brasileira durante muito mais tempo.

O possível questionamento a ser feito sobre o assunto é a respeito da crença de que o barramento de rios para essa finalidade não gera significativos impactos ambientais, crença esta que se configura como uma razão para sustentar a continuidade da utilização dessa matriz energética em tão larga escala. Esse questionamento mostra-se plausível visto que já esteve presente em vários estudos envolvendo o tema que mostraram que a implantação de Usinas Hidrelétricas pode ser tão impactante quanto outras matrizes energéticas consideradas não sustentáveis.

Com o objetivo de executar uma avaliação mais minuciosa sobre as mudanças ambientais a curto prazo trazidas pelas hidrelétricas, o presente estudo buscou utilizar, como amostra, a Hidrelétrica Presidente Juscelino Kubitschek, mais conhecida como Usina Irapé, voltando-se mais para a abordagem da variação térmica local e procurando relacioná-la à concretização da

implantação da obra. A área estudada encontra-se no estado de Minas Gerais, no limite entre as mesorregiões Norte e Vale do Jequitinhonha, e compreende um raio de 27 km horizontais com centro na barragem estudada, edificada sobre o Rio Jequitinhonha.

Para alcançar o objetivo proposto, fez-se uso de recursos de Sensoriamento Remoto por meio de imagens de satélite e do Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGis9.3. O Sensoriamento Remoto, segundo Rosa (1990), é definido como a maneira de se coletar dados sobre um alvo qualquer sem que ocorra contato físico com o mesmo, isto é, à distância. Já os SIGs são ferramentas eficientes que permitem e facilitam a manipulação de bancos de dados georreferenciados e a confecção de mapas.

É importante destacar que a Usina Irapé foi escolhida por encontrar-se, ainda, em seus primeiros anos de funcionamento – já que foi implantada em 2006 –, condição que motiva o estudo dos impactos a curto prazo. Ademais, o clima da região, que costuma ser estável, possibilitará a determinação das possíveis razões que eventualmente foram responsáveis por sua alteração, pois será justificável se for dito que os impactos não estão associados a fatores naturais.

2. Materiais e Métodos

A fim de obter as temperaturas da área de interesse a serem comparadas, foram selecionadas imagens relativas aos anos de 2000, 2003, 2008 e 2009 da cena corresponde à órbita ponto 217-72, onde se localiza a barragem Irapé. Os dois primeiros referem-se ao período anterior à construção da Barragem de Irapé e os dois últimos referem-se ao período posterior à construção desta. A intenção era a de escolher duas amostras correspondentes a cada período, já que o estudo de apenas uma amostra teria maior probabilidade de trazer resultados não condizentes com a realidade. Além disso, os anos citados foram escolhidos porque neles, na cena estudada, havia a disponibilidade de imagens de satélites com poucas nuvens – que prejudicam a interpretação radiométrica – diferentemente do que ocorria nos demais anos verificados.

As imagens, provenientes do satélite Landsat5, sensor ThematicMapper (TM), foram obtidas gratuitamente no site do INPE (Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais), sendo todas datadas entre os meses de junho e agosto, época do ano em que se encontram boas condições climáticas no que concerne à captura de cenas por parte de satélites. Olhando de outra maneira, também é importante tomar cenas com dias julianos próximos – como foi feito – pois isso influencia no cálculo da temperatura pelo método aqui adotado.

Com as imagens em mãos e fazendo uso dos recursos do SIG ArcGis 9.3, foi feito o georreferenciamento de todas elas com base na cena do ano de 2000, já que estavam ligeiramente deslocadas umas em relação às outras. Em seguida, a área de estudo foi definida como sendo referente a todos os pontos localizados a um raio horizontal de até 27 km da Barragem em questão. Vale salientar que o raio de 27 km foi escolhido por abranger a área máxima das cenas em que se verificava boa possibilidade de interpretação das imagens, isto é, para raios superiores a esse, observava-se significativa presença de nuvens.

Os passos precedentes consistiram nas etapas necessárias, de acordo com Allen et al. (2002), para obtenção da temperatura de superfície através do sensor TM. Estes são os seguintes:

- Calibração Radiométrica;
- Cálculo da Reflectância;
- Cálculo do NDVI (NormalizedDifferenceVegetation Index);
- Cálculo do SAVI (SoilAdjustedVegetation Index);
- Cálculo do LAI (LeafArea Index);
- Cálculo da Emissividade;

- Cálculo da Temperatura;

A Calibração Radiométrica consiste na conversão dos valores dos níveis digitais fornecidos pelos pixels de cada banda da imagem em energia solar refletida “por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat (705 Km)”, segundo Silva (2011). A radiância (em $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) correspondente à banda i (com i variando entre 1 e 6) é dada pela seguinte equação (Markham e Baker, 1986):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{(b_i - a_i)ND}{255} \quad (1)$$

onde a_i e b_i são as radiâncias mínima e máxima, respectivamente, correspondentes à banda i e ND é o nível digital referente a cada pixel dessa banda.

A reflectância pode ser definida como a razão entre os fluxos de energia solar refletida e energia solar incidente para um mesmo ponto da superfície. A reflectância monocromática por banda é dada pela seguinte equação (Markham e Baker, 1986):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral relativa a banda i ; $K_{\lambda i}$ é a irradiância espectral no topo da atmosfera relativa à banda i , dada em $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$; Z é o ângulo zenital solar, fornecido pelo catálogo de imagens do INPE; d_r é o inverso do quadrado da distância relativa entre a Terra e o Sol em unidades astronômicas.

Segundo Allen et al. (2002), d_r pode ser dado pela seguinte expressão:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(DSA \cdot \frac{2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

onde DSA representa o dia sequencial do ano e o argumento da função cosseno está em radianos.

Já, os índices de vegetação (NDVI, SAVI E LAI), por sua vez, estão relacionados ao porte e ao tipo de cobertura vegetal do alvo. Eles são dados pelas seguintes equações:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (4)$$

onde ρ_4 é a reflectância monocromática relativa à banda 4 (Infravermelho próximo) e ρ_3 é a reflectância monocromática relativa à banda 3 (Vermelho).

$$SAVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)(1+L)}{(\rho_{iv} + \rho_v + L)} \quad (5)$$

Onde L é um fator que depende do tipo de solo. A equação (5) é dada por Huete (1988).

Neste trabalho, devido à característica da vegetação local, utilizou-se $L=0,25$, valor usado como intermediário entre os de vegetação de média e de alta densidade, segundo o mesmo autor.

Depois, de acordo com o previsto nas etapas já mencionadas, calculou-se o LAI, também chamado de IAF (Índice de Área Foliar). Ele mensura a área foliar da vegetação e é dado expressão (6), abaixo:

$$IAF = -\frac{Ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

O passo seguinte é o cálculo da Emissividade (ε), que pode ser entendida como a razão entre a radiação emitida por um corpo qualquer e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura. Ela é dada pelo seguinte conjunto de expressões, conforme Allen et al. (2002):

- Para corpos com $NDVI > 0$ e $IAF < 3$:

$$\varepsilon = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad (7)$$

- Para corpos com $NDVI > 0$ e $IAF \geq 3$:

$$\varepsilon = 0,98 \quad (8)$$

- Para corpos com $NDVI < 0$:

$$\varepsilon = 0,99 \quad (9)$$

Finalmente, A temperatura de superfície, em Graus Celsius, foi obtida pela seguinte expressão (Allen et al. (2002)):

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon \cdot K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (10)$$

Onde $K_1=607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2=1260,56 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ são constantes pertencentes ao Landsat5 e $L_{\lambda,6}$ é a radiância espectral correspondente à banda 6.

É importante dizer que para efeito de manipulação das imagens no ArcGis9.3 segundo as equações supracitadas foi utilizada a ferramenta Calculadora Raster, disponível nesse SIG.

A próxima etapa envolveu a classificação dos arquivos de temperatura gerados em subintervalos bem definidos, a criação de um gráfico de distribuição relativa das áreas representativas de cada subintervalo em cada um dos anos estudados e a sequente comparação entre as médias da época anterior e as da época posterior a 2006.

Por fim, com o objetivo de validar os resultados, buscou-se saber sobre a variação da temperatura com o passar do tempo para localidades próximas à área estudada, já que variações não significativas nessas temperaturas permitiriam atribuir as eventuais anormalidades térmicas da área de estudo à construção da Hidrelétrica de Irapé, e não a fatores climáticos atípicos. Para tanto, utilizaram-se os dados térmicos do INMET relativos aos municípios de Montes Claros, Araçuaí e Salinas, visto que estes eram os municípios mais próximos para os quais havia a disponibilidade dos dados requeridos. É importante evidenciar que as datas – apresentadas na Tabela 1 – foram escolhidas por serem as mais próximas àquelas relativas às capturas das imagens pelo Landsat5 para as quais havia dados do INMET disponíveis.

3. Resultados e Discussão

Antes de mencionar os resultados da pesquisa, é conveniente discutir um pouco sobre os processos gerados pelo meio biótico presente em um lago artificial, como o da Usina Irapé. Vários estudos anteriores voltados para a produção da energia hidrelétrica dão apontamentos de que a temperatura de um local destinado à implantação de uma barragem hidrelétrica deve subir, ao menos teoricamente, após a implantação desta, uma vez que há uma série de fatores

envolvidos nesse sistema que contribuem para a liberação em grande escala de gases intensificadores do efeito estufa, principalmente do metano, CH₄.

Inicialmente, como em qualquer lago profundo, ocorre nas águas da represa uma zona de estratificação por temperatura, chamada de zona de termoclina, onde as camadas superiores a ela – com temperatura mais elevada – não se misturam com as camadas inferiores – com baixa temperatura. Como consequência, o oxigênio da atmosfera que entra em contato com a superfície da água e se dissolve nela, não consegue atravessar a zona de termoclina, criando um ambiente anóxico no fundo. Além do mais, de acordo com Junk e Mello (1987), há intenso aumento da disposição de nutrientes orgânicos em virtude da lixiviação do solo inundado e da decomposição da vegetação terrestre afogada, processo conhecido como eutrofização.

O resultado da eutrofização e da anoxia é um recinto ideal para a proliferação em massa de organismos anaeróbicos, posto que utilizam-se da composição dos nutrientes, ricos em carbono, para a realização de seu metabolismo, chamado de metanogênese, o qual, como o próprio nome diz, tem como resultado final o gás metano, CH₄.

Entretanto, de acordo com Fearnside (2004), esse CH₄ produzido não é liberado logo em seguida para a atmosfera, pois fica impossibilitado de atravessar a termoclina. Assim, o fundo do lago, que é denominado zona de deplecionamento segundo o último autor, conserva-se com uma concentração significativa de CH₄ até que, finalmente, ocorre a liberação desse composto quando a água flui das turbinas e dos vertedouros. A chamada Lei de Henry, ainda de acordo com Fearnside (2004), é responsável por explicar o motivo de o gás metano se desprender da água nessa etapa. Conforme essa Lei, a solubilidade de um soluto varia proporcionalmente ao incremento da pressão nele. Assim, como a água que flui das turbinas e dos vertedouros atinge a superfície, sua pressão diminui devido à ausência da coluna de água represada anteriormente presente sobre ela e, pela redução de sua solubilidade, permite a emissão de boa parte do CH₄ que estava presente nela.

Agora, tendo discutido todo esse processo, é possível falar sobre os resultados dessa pesquisa. A figura 1, abaixo, mostra as temperaturas referentes aos quatro anos pesquisados e um gráfico de frequências relativas. Para organizar o raciocínio, é mais interessante começar com a análise das imagens de 2000 e de 2003, datadas do período anterior à construção da Usina Irapé. Como se pode perceber, a temperatura do ano de 2000 esteve, predominantemente, variando entre 15° C e 20° C (cerca de 50% da área estudada), mas o intervalo compreendido entre 20° C e 25° C também obteve boa representatividade (em torno de 42% da área estudada). Variação semelhante aconteceu no ano de 2003, em que predominaram temperaturas entre 15° C e 20° C (mais de 70% da área estudada), com a presença um pouco menos expressiva do intervalo entre 20° C e 25° C (25% da área estudada). Por fim, a temperatura média calculada estatisticamente em 2000 foi de 19,725° C, ao passo que a mesma em 2003 foi de 18,825° C. Para dar continuidade, é necessário fazer procedimento de análise semelhante com as imagens relativas a 2008 e 2009.

Novamente pela figura 1, infere-se que, no ano de 2008, a temperatura variou, predominantemente, entre 20° C e 25° C (67,5% da área estudada), mantendo, também, representatividade nos intervalos compreendidos entre 15° C e 20° C (18,5% da área estudada) e entre 25° C e 30° C (14 % da área estudada). Para o ano de 2009, os intervalos compreendidos entre 15° C e 20° C (4% da área estudada), 20° C e 25° C (59,5% da área estudada), 25° C a 30° C (31,5% da área estudada) e 30° C e 35° C (4,5% da área estudada) foram os mais representativos. Realizando os mesmos procedimentos de cálculo estatístico, obteve-se que as temperaturas médias relativas aos anos de 2008 e de 2009 foram de 22,275° C e de 24,25° C, respectivamente.

Para efeito de comparação entre o período posterior e o anterior à construção da hidrelétrica discutida, nota-se que houve uma variação média máxima de 5,425° C, dada pela

diferença entre as temperaturas médias de 2009 e 2003, e houve uma variação média mínima de 2,55° C, dada pela diferença entre as temperaturas médias de 2008 e 2000 na área de estudo. Além do mais, a temperatura média dos anos anteriores a 2006 foi de 19,275° C, enquanto que a dos anos posteriores à 2006 foi de 23,2625° C, obtendo-se uma diferença de 3,9875° C entre elas. Portanto, pode-se dizer que houve um aumento da temperatura na localidade com o advento da barragem Irapé, mas ainda não é possível associá-lo totalmente à construção desta.

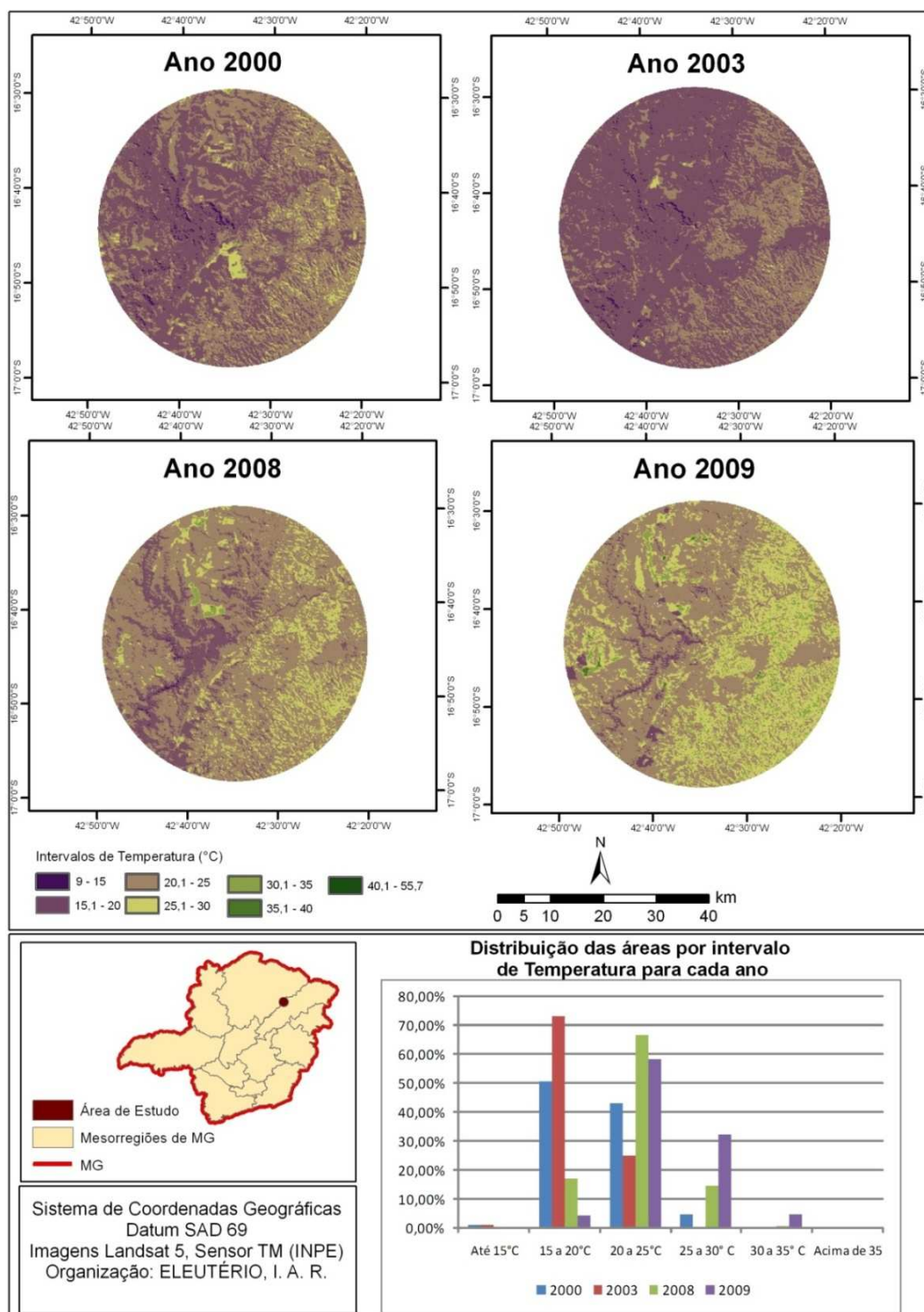


Figura 1: Variação da temperatura local devido à implantação da Usina de Irapé.

Com o propósito de tentar associar a variação térmica local à implantação da barragem, propôs-se verificar se a temperatura aos arredores da área estudada manteve-se ou não constante em datas próximas às das capturas das imagens de satélite utilizadas. A Tabela 1, abaixo, comprova essa constância. Como se pode ler, os desvios-padrão das temperaturas nas datas pesquisadas para os três municípios são muito baixos, indicando uma variação ínfima na temperatura. Isso é um forte indício de que fatores climatológicos atípicos não estiveram presentes nas datas próximas às utilizadas para a pesquisa no local estudado. Portanto, é razoável dizer, por fim, que a construção da hidrelétrica de Irapé contribuiu para um aumento da temperatura média da área de estudo, situada a um raio de 0 a 27 km da Usina.

Tabela 1: Variação da temperatura nas redondezas da área estudada.

Datas	Temperaturas (° C)		
	Araçuaí	Montes Claros	Salinas
30/6/2000	29,836667	28,34	28,16
30/6/2003	31	29	30,116667
31/7/2008	29	28	28
31/7/2009	31	30	29
Média	30,12467725	28,70115575	28,8828765
Desvio-Padrão	0,770729433	0,907527332	1,088615311

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Organização: ELEUTÉRIO, I. A. R.

4. Considerações finais

A energia hidrelétrica, mesmo sendo a matriz energética base para o Brasil, deve ser repensada no que diz respeito à questão da gestão ambiental, posto que vários estudos já demonstraram a contribuição que as hidrelétricas dão para o aquecimento global devido ao lançamento de gases estufa na atmosfera. Ademais, há também impactos sociais na vida de comunidades anteriormente localizadas na área alagada pela represa, que afeta a cultura e as relações sociais dos seus membros. No que tange à Hidrelétrica Juscelino Kubitschek, a situação não é diferente, conforme o presente estudo. À vista disso, conclui-se que a possibilidade de procurar por outras matrizes energéticas sustentáveis para o Brasil deve ser colocada em pauta e discutida.

5. Referências Bibliográficas

Vale, Raul Silva Telles do. **Hidrelétricas**. Disponível em:

<<http://uc.socioambiental.org/press%C3%B5es/hidrel%C3%A9tricas>>. Acesso em: 25/10/14.

Rosa, R. **Introdução ao Sensoriamento**. Uberlândia: EDUFU, 1990.

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R. **Surface Energy Balance Algorithms for Land**. NASA, 2002.

Markham, B. L.; Barker, J. L. **Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures**. NASA/ Goddard Space Flight Center Greenbelt, MD 20771, 1987.

Huete, A. R. **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**. Department of Soil and Water Science, University of Arizona, Tucson, 1988.

Junk, W. J.; Mello, J. A. S. **Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira.** Transcrito da obra Homem e natureza na Amazônia, Simpósio internacional e interdisciplinar (Blaubeuren, 1986), editada por Gerd Kohlhepp e Achim Schrader. Associação Alemã de Pesquisas sobre a América Latina em colaboração com Max-Planck Institut für Limnologie (Plön) e Forschungsschwerpunkt Lateinamerika, Geographisches Institut, Universität Tübingen, 1987.

Fearnside, P. M. **Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source.** Climatic Change 66(2-1): 1-8. Doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23, 2004.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 04/11/2014.