

Análise de correlações entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e dados hidrometeorológicos do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí-PA utilizando imagens Landsat-5 TM

Gabriel Cury Martins de Oliveira ¹
Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas ²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Laboratório de Hidrologia – COPPE/UFRJ
gabrieloliveira@coc.ufrj.br

² Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais
COPPE/UFRJ
mfreitas@ppe.ufrj.br

Abstract. Different vegetation indices can be estimated from the remote sensing image data held in the red and near infrared bands, easily obtained from Landsat series imagery. In this paper the normalized difference vegetation index (NDVI) was used to evaluate the vegetation distribution on nine scenes obtained from the TM sensor on board of Landsat 5 satellite, that compose the mosaic of the Tucuruí Hydropower Plant surroundings, in Pará state. In order to compare the changes in the land use and land cover was assessed in three different periods, viz. 1986, 1997 and 2010. After the NDVI was calculated and classified, the total areas concerning each class (in terms of amount of pixels) were correlated with physical parameters measured in hydrometeorological stations. High correlation values were encountered, which indicates that the presence and distribution of the canopy influence the state of the parameters, such as temperature, nebulosity and precipitation, amongst others.

Palavras-chave: remote sensing, water quality, vegetation indexes, water resources management, sensoriamento remoto, qualidade de água, índices de vegetação, gestão de recursos hídricos.

1. Introdução

A UHE Tucuruí está localizada no município de Tucuruí, no sudeste do Pará. A usina entrou em operação na década de 1980, com uma potência instalada de 4000 MW segundo a Comissão Mundial de Barragens (2000), tendo sido posteriormente ampliada, em 2007, para 8000 MW. Possui um reservatório com área de 2.850 km², variando o nível d'água entre 58 e 72 m (Eletronorte, 2014).

A implantação de grandes empreendimentos geradores de energia, como é o caso da UHE Tucuruí, acaba por fomentar o desenvolvimento e a instalação de diversas atividades econômicas em torno dos mesmos, legais ou não. O reservatório é cercado pelas rodovias federais BR-230 (Transamazônica) e BR-422, e estaduais PA-150, PA-151 e PA-263, que servem como escoamento da produção de todo tipo de benfeitorias, principalmente madeireira.

Segundo o Projeto PRODES, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que monitora o desflorestamento na Amazônia utilizando processamento digital de imagens, de 1988 a 2013 o Pará foi o segundo colocado dentre os estados da Amazônia na lista das taxas anuais de desmatamento (km²/ano), sendo responsável por aproximadamente 33,8% do total acumulado neste período, atrás somente do estado do Mato Grosso, com percentual semelhante (34,1%, aproximadamente).

O uso de imagens de sensores remotos (tanto terrestres, quanto aéreos ou orbitais) começou a se intensificar ao longo das últimas décadas, devido a diversos fatores, viz. a evolução da capacidade de imageamento dos sensores dos satélites, e também do acesso à tecnologia computacional, antes restrito a centros de pesquisa e universidades, e agora prontamente disponível a usuários domésticos.

As imagens de sensores remotos, além do papel fundamental que possuem na visualização de grandes áreas e da facilidade que empregam à classificação de uso e cobertura do solo, possuem armazenados em seus *pixels* valores digitais dos quais se podem extrair diversos tipos de dados e análises, como por exemplo, os índices de vegetação.

Os índices de vegetação são ferramentas que permitem a avaliação de diferentes tipos de vegetação, a partir da identificação da presença de clorofila (Bastiaanssen, 1998), sendo intensivamente utilizados na engenharia agrícola para estimativa de parâmetros físicos que embasem a tomada de decisões, principalmente no que tange à irrigação e melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Desta forma, este trabalho visou a analisar a vegetação no entorno da usina utilizando mosaicos compostos por nove imagens de satélite, utilizando como indicador o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), para posterior relação dos valores encontrados com alguns parâmetros físicos da bacia monitorados por estações hidrometeorológicas.

2. Metodologia

2.1. Imagens de satélite

O satélite Landsat 5 é operado pela NASA e foi lançado no ano de 1984, disponibilizando imagens gratuitas divididas em sete bandas espectrais. O sensor responsável pelas imagens é o *Thematic Mapper*, que trabalha na faixa dos 0,45 a 2,35 μm de comprimento de onda. As imagens possuem resolução espectral de 30 x 30 m e abrangem uma área de 185 x 185 km, com exceção da banda termal, a banda 6, que trabalha na faixa dos 10,40 aos 12,50 μm , com resolução espectral de 120 x 120 m.

Os mosaicos foram montados utilizando-se nove imagens nas datas mais próximas que se pôde obter em três períodos, nas órbitas 223, 224 e 225, pontos 62, 63 e 64, conforme mostrado na Figura 1 e descrito na Tabela 1.

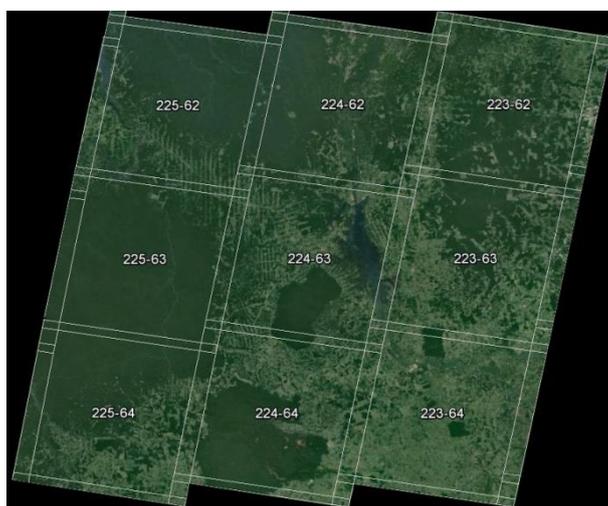


Figura 1. Mosaico das cenas Landsat-5 TM com o reservatório de Tucuruí ao centro.

As 27 imagens foram obtidas gratuitamente na Divisão de Geração de Imagens do INPE, em três intervalos de tempo diferentes: de 1985 a 1988 (período aqui referido como “1986”), de 1993 a 1998 (“1997”), e de 2009 a 2011 (“2010”).

As imagens passaram por correção atmosférica utilizando o método *Dark Subtract* no *software* ENVI, com posterior transformação do nível digital em radiância e reflectância utilizando a metodologia proposta pelo *United States Geological Survey*.

Tabela 1. Dados das imagens Landsat-5 TM.

Cena	Órbita	Ponto	Período 1986	Período 1997	Período 2010
a1	225	62	15/07/1986	26/07/1996	04/07/2011
a2	224	62	09/10/1985	24/05/1993	29/07/2011
a3	223	62	08/09/1988	08/06/1995	17/08/2009
b1	225	63	15/07/1986	26/07/1996	04/07/2011
b2	224	63	24/07/1986	01/07/1995	29/07/2011
b3	223	63	15/06/1986	28/05/1997	17/08/2009
c1	225	64	10/06/1985	30/06/1998	20/07/2011
c2	224	64	24/07/1986	25/07/1998	29/07/2011
c3	223	64	02/08/1986	02/07/1998	30/06/2009

2.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é calculado a partir das bandas 3 e 4 das cenas Landsat-5 TM, correspondentes ao vermelho (parte do espectro visível com comprimento de onda de 0,63 a 0,69 μm , onde a clorofila demonstra baixa reflectância) e ao infravermelho próximo (parte do espectro infravermelho com comprimento de onda de 0,76 a 0,90 μm , onde a clorofila demonstra alta reflectância), respectivamente, segundo a Equação 1:

$$\text{NDVI} = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \quad (1)$$

Onde B3 é a reflectância da banda do vermelho e B4 da banda do infravermelho próximo. Assim, o NDVI é indicativo da presença de cobertura vegetal no *pixel*, e seus valores variam de -1 a +1, sendo o valor máximo a resposta obtida em pixels com vegetação densa em estágio avançado de crescimento. Os valores encontrados do NDVI foram contabilizados e subdivididos em 4 classes, a saber:

- i) $\text{NDVI} \geq 0,5$, valores que podem ser associados à presença de vegetação densa;
- ii) $0,2 \leq \text{NDVI} < 0,5$, valores que podem ser associados à vegetação em crescimento;
- iii) $-0,2 \leq \text{NDVI} < 0,2$, valores que podem ser associados à presença de solo exposto, água, entre outros;
- iv) $\text{NDVI} < -0,2$.

Para o cálculo do NDVI foram recortadas amostras de 5500 x 5500 *pixels* (aproximadamente 30 milhões de *pixels*, equivalente a uma área de terreno de 165 x 165 km), para que se pudesse retirar o efeito das bordas das imagens, que continham o valor 0 (zero) armazenado, influenciando nas estatísticas geradas para as bandas. A quantidade de *pixels* pertencentes a cada classe foi computada, equivalente a estimar-se a área total da imagem que demonstrou tais valores.

Após a classificação, foram avaliadas as correlações entre as séries de dados encontrados com séries de parâmetros físicos, obtidas do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site do Instituto Nacional de Meteorologia. Foram selecionados três postos contidos na área do mosaico de imagens, cujos detalhes se encontram na Tabela 2.

Os dados analisados foram nebulosidade média, precipitação total, temperatura máxima média, temperatura compensada média, temperatura mínima média e umidade relativa média. As séries do NDVI correlacionadas com os dados físicos consistiram em: médias do NDVI nas três datas, desvio-padrão nas três datas e as classes de NDVI supracitadas; tanto para o mosaico das nove cenas quanto para cada cena separada.

Tabela 2. Descrição dos postos hidrometeorológicos do INMET.

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Localização
82263	Cameta/PA	- 2,25	- 49,5	23,9	Cena a2
82361	Tucuruí/PA	- 3,76	- 49,66	40,0	Cena b2
82562	Marabá/PA	- 5,36	- 49,13	95,0	Cena c3

3. Resultados e discussão

Embora as séries de dados sejam pequenas (3 ocorrências), os valores de correlação entre os parâmetros físicos medidos e os estimados pelas imagens de satélite retornaram valores satisfatórios de correlação.

Quanto à análise das imagens individuais, todas as correlações encontradas (total de 972) foram ordenadas em uma série somente e plotadas em uma curva de permanência, exibida na Figura 2.

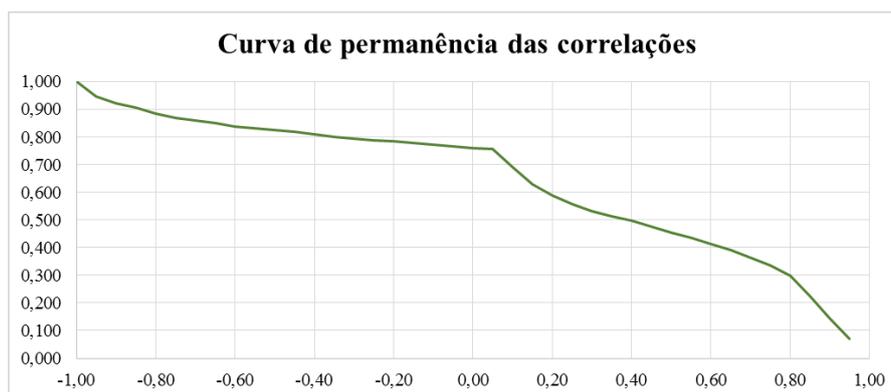


Figura 2. Gráfico com a curva de permanência das correlações entre os valores obtidos de NDVI e os parâmetros físicos medidos.

A permanência das correlações positivas maiores que 0,5 foi de aproximadamente 40%, e daquelas maiores que 0,8 foi aproximadamente 30%, de onde se observa uma relação proporcional entre os valores calculados do NDVI e os parâmetros físicos.

Entre as correlações negativas, os valores menores que -0,8, que representam uma forte relação inversamente proporcional, tiveram permanência de aproximadamente 90%, ou seja, respondem por 10% das ocorrências. As correlações menos significativas, entre -0,6 e 0,6 tiveram permanência de aproximadamente 40% no total de correlações calculadas.

A Figura 3 apresenta um histograma com todas as correlações encontradas, evidenciando que a ocorrência de valores maiores que 0,8 (que indicam uma forte correlação) foi significativa.

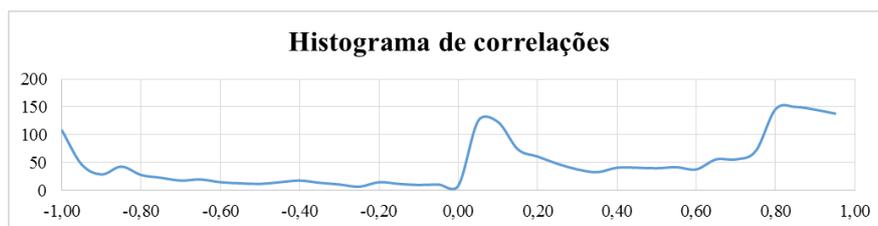


Figura 3. Histograma com as correlações.

Um resumo dos resultados de correlação obtidos para as cenas individuais é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Apresentação dos totais de correlações obtidas, em porcentagem, para cada cena isolada.

Correlações (C)	% do total
$C > 0,8$	27,9
$0,6 < C < 0,8$	8,2
$-0,6 < C < 0,6$	31,4
$-0,8 < C < -0,6$	9,2
$C < -0,8$	23,4

Já com relação aos parâmetros isoladamente, os que exibiram maiores correlações com as classes de NDVI para cada imagem separada foram: a temperatura compensada média, onde aproximadamente 57% dos valores ficaram acima de 0,8 ou abaixo de -0,8; e também a temperatura mínima média, com em torno de 57% dos valores incluídos nesta mesma faixa. Já o que apresentou os resultados menos significativos foi a nebulosidade média, onde aproximadamente 49% das correlações ficaram na faixa entre -0,6 e 0,6, valores pouco significativos. Um resumo dos resultados é exibido na Tabela 4.

Tabela 4. Apresentação dos totais de correlações obtidas, em porcentagem, para cada parâmetro com relação às cenas isoladas.

Correlações	% NM	% PT	% TMaxM	% TCM	% TMinM	% URM
$>0,8$	18,5	22,8	32,1	34,0	35,2	24,7
$>0,6 \text{ e } <0,8$	6,8	5,6	11,1	13,0	6,8	6,2
$>-0,6 \text{ e } <0,6$	48,8	33,3	26,5	22,8	30,9	25,9
$<-0,6 \text{ e } >-0,8$	9,9	11,7	7,4	6,8	5,6	13,6
$<-0,8$	16,0	26,5	22,8	23,5	21,6	29,6

Legenda: NM = Nebulosidade Média; PT = Precipitação Total; TMaxM = Temperatura Máxima Média; TCM = Temperatura Compensada Média; TMinM = Temperatura Mínima Média; e URM = Umidade Relativa Média.

4. Conclusão e recomendações

O uso das ferramentas conhecidas do sensoriamento remoto como auxílio à avaliação de parâmetros hidrometeorológicos é extenso. As imagens de sensoriamento remoto já se provaram de grande importância em diferentes tipos de estudos que concernem o ambiente natural, especialmente os recursos hídricos e vegetais.

Outros índices de vegetação podem ser mais representativos ou mais efetivos nesta análise, uma vez que podem indicar aspectos diferentes da vegetação do que somente a cobertura vegetal – como, por exemplo, o Índice de Área Foliar (IAF), nível de desenvolvimento da cultura, evolução temporal, entre outros, cuja estimativa permite a

avaliação de parâmetros de difícil detecção pelos sensores dos satélites, como umidade do solo, evapotranspiração, etc.

Neste trabalho, demonstrou-se que o NDVI pode ser um aliado na avaliação dos parâmetros físicos das bacias hidrográficas, a partir do momento em que a cobertura vegetal representa um componente importante da regulação do clima e dos parâmetros hidrológicos. Porém, devido à escassez de dados físicos de campo, a avaliação da variabilidade temporal destes foi prejudicada.

É condição *sine qua non* que haja dados físicos robustos medidos em campo – como precipitação, umidade do solo, evapotranspiração, temperatura, entre outros – para uma análise efetiva das relações entre os índices de vegetação e sua influência sobre os parâmetros físicos.

Além disso, atualmente já existem a bordo de novos satélites sensores com grande quantidade de bandas, chamados sensores hiperespectrais, que captam a resposta de inúmeros comprimentos de onda, bem como sensores com resoluções espaciais mais precisas, que ainda necessitam de maior estudo para que se explore o potencial destas imagens de gerar dados físicos relacionados ao meio ambiente.

As grandes hidrelétricas já construídas e em processo de construção na Amazônia trazem grandes impactos ambientais para seus entornos e para a bacia como um todo; impactos estes que não são analisados em uma escala espaço-temporal adequada. Sendo assim, o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta ainda mais importante, pois através das imagens de satélite, podem ser obtidos dados de épocas passadas para geração de séries sintéticas de diversos parâmetros físicos. Esta abordagem permitiria uma maior avaliação dos impactos já impostos sobre o bioma da Amazônia até o momento, e a partir disto, extrapolarem-se os resultados para a geração de cenários futuros para a região.

Agradecimentos

O autor agradece ao CNPq pelo apoio à pesquisa através da concessão de bolsa de mestrado ao Programa de Engenharia Civil da COPPE, UFRJ.

Referências

- Comissão Mundial de Barragens. **Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil) - Relatório Final**. Estudos de Caso da Comissão Mundial de Barragens. Cidade do Cabo, África do Sul. 2000.
- Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. Disponível em <<http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/tucurui>> Acesso em 07 de fevereiro de 2014.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação-Geral de Observação da Terra - OBT. Disponível em <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2013.htm> Acesso em 22 de janeiro de 2014.
- Bastiaanssen, W. G. M. **Remote sensing in water resources management: The state of the art**. International Water Management Institute. Sri Lanka. 1998.
- United States Geological Survey. Landsat Missions. Disponível em <https://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php> Acesso em 14 de janeiro de 2013.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens. <<http://www.dgi.inpe.br>> Acesso em 08 de janeiro de 2014.
- Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, vol. 113, pp. 893-903. 2009.
- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em 15 de janeiro de 2014.