

AS GEOTECNOLOGIAS COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO: O USO DE SÉRIES TEMPORAIS COMO PARÂMETROS DE ANÁLISE DA BARRAGEM DE REJEITOS NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO-SP

Lucas Daniel Noronha Ferreira¹

Mozart dos Santos Silva²

Mayara Cobacho Ortega Caldeira³

Carlos Rodrigo Tanajura Caldeira⁴

1. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (lucasnoronha019@gmail.com)
2. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (mozartsilva@hotmail.com)
3. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (mayarac.ortega@gmail.com)
4. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (caldeiract@gmail.com)

ABSTRACT

In the last decades, it was observed that the use of tools inherent to Remote Sensing as a way to identify and understand the modifications generated by man, attributed an important function to the use of Geotechnologies as a channel for decoding data and also forms of analysis. The changes made under the Earth's surface have brought numerous discussions when related to the environment and its intense alteration. Faced with a scenario where the action of man results in frequent, as well as important, environmental studies, the present work proposes to use three time series as a way to evaluate the expansion of the tailings dam for the Bauxite extraction of the Companhia Brasileira de Aluminum. Given this, LANDSAT-5 TM multispectral images from the years: 1990, 1997, 2004 and 2010 were used. Thus, the research consisted of the interpretation and temporal analysis using resources offered by the SPRING application, as a mixing model. As a result, the Supervised Classification of the area in question is used as a method of analyzing the proposed factors and relating the sampling to the land use.

Keywords: Supervised Classification, Bauxite Extraction; Tailings dam.

INTRODUÇÃO

O avanço de pesquisas que estão correlacionadas aos produtos do Sensoriamento Remoto passou a ser uma importante ferramenta de estudos que são atribuídos na análise da alteração da superfície terrestre, seja com avaliação de algum fenômeno ou a constatação da manifestação de outro (ROSENDO; ROSA, 2007). As utilizações de séries temporais estão sendo cada vez mais utilizadas em diferentes setores de pesquisas onde essas observações passam a ser métodos que evidenciam a dinâmica de eventos e as suas características na cobertura da Terra (SÁFADI, 2004).

A partir de o avanço da indústria e a crescente populacional em setores rurais e urbanos, as preocupações que são associadas ao meio ambiente e ao uso do solo passaram a aumentar expressivamente (MELLO; SATHLER, 2015). A viabilidade de

pesquisas relacionadas a essa temática provocou a utilização de técnicas em que a estrutura terrestre passasse a ser observada em diferentes épocas e analisado, desse modo, as interferências detectadas.

Frente a isso, a importância de se considerar o uso de séries temporais como avaliação da influência em diversos estudos que são desenvolvidos a fim de ter aporte teórico-metodológico-prático ao que confere a detecção de mudanças a partir do uso de séries temporais. Trabalhos voltados para o desenvolvimento de estudos em áreas urbanas e suas alterações (DIEDRICH; NARVAES, 2012 e VIEGAS *et al.*, 2018), expansão de barragens (ALBERTI; VICTORINO, 2015), hidrelétricas e sua influência radial no meio ambiente (OLIVEIRA, 2015), análises sobre o desmatamento em biomas (ROCHA *et al.*, 2011), mapeamento de desastres (OLIVEIRA; NEGRI; SANTOS, 2020) dentre outros.

Com este contexto, tem-se primariamente que óticas de estudos voltados para uma barragem de rejeitos frisa que, essa intervenção, galga à uma necessária análise dos parâmetros que estão coligados com essa alteração. A verificação de o aumento gradual, a partir de observações utilizando imagens multiespectrais, ajusta-se a um modelo de pesquisa onde são representados os fatores de usabilidade do solo e a descrição de avanços no uso do meio ambiente com as verificações realizadas (SÁFADI, 2004).

Ao que se propõe o uso do solo e segundo o que aborda Becelato (2007), a utilização constante e intensiva do uso do solo permite o conhecimento de que o solo é um recurso natural não-renovável, provocando – assim, a conscientização de que é necessário o seu uso de maneira sustentável a fim de que ele não se esgote.

Somando-se a isso, das preocupações emergentes que estão associadas ao uso do solo, tem-se a ocupação do solo urbano nas grandes metrópoles a qual é resultado à elevada expansão urbana que origina em graves problemas ambientais. Ademais, aponta-se que as explorações dos recursos naturais do solo influenciam em muitos outros impactos ambientais (SALLES; GRIGIO; SILVA, 2013).

Estas afirmações, estão intrinsecamente relacionadas com essa pesquisa, pois elucida e embasa a elaboração da avaliação ao que concerne à barragem de rejeitos do município de Alumínio, São Paulo.

À luz desse pressuposto, Royer, Wilhelm e Patias (2015) aborda sobre as fundações rochosas sobre as quais estão as barragens. De análise geral, é importante se enveredar a respeito que algumas barragens permitem a infiltração de água a partir da permeabilidade da rocha ou pelas fraturas existentes na formação geológica. Cita-se essa situação por ocorrer uma pressão ascendente que traz riscos à segurança da barragem e, decerto, ao processo de uso do solo visto em casos de crimes ambientais

que passam a ser refletidos em desastres como, Mariana-MG em 2015 e Brumadinho-MG em 2019.

Dessa maneira, o objetivo dessa pesquisa consiste em analisar a expansão da mancha urbana do município de Alumínio-SP, bem como a barragem de rejeito da empresa Companhia Brasileira de Alumínio (CBA). Pontua-se, ainda, principalmente ao que concerne à represa de rejeito localizada neste município no período compreendido entre os anos de 1990 e 2010, a partir da metodologia de interpretação e análise temporal de imagens multiespectrais do sensor LANDSAT- 5 TM, por meio de recursos oferecidos pelo *software* Spring.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) deste trabalho está situada na porção sudoeste do estado de São Paulo e compreendida entre a latitude de 23° 32' 06" S e longitude de 47° 15' 40" W. Estando a uma distância de 64km da cidade de São Paulo, o município de Alumínio tem uma altitude média de aproximadamente 777m cobrindo uma área de 83,81km².

Neste município, está localizado a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA). Esta empresa é uma das maiores companhias de alumínio do Brasil e da América Latina, a qual possui uma produção anual de 475.000 toneladas/ano e foi fundada em 1941 e pertence ao Grupo Votorantim (CBA, 2020).



Figura 1. Localização da área de estudo (Alumínio - SP)

METODOLOGIA

Para desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado o *software* Spring. Inicialmente, foi criado um Banco de Dados e um projeto com sistema de projeção UTM empregando a

composição colorida falsa cor Banda3 (B); Banda4 (G); Banda5 (R) do sensor LANDSAT- 5 TM, com resolução espacial de 30 m.

Quanto a execução e para atingir o objetivo, foi necessário utilizar imagens multiespectrais de diferentes épocas sendo estas, neste caso, dos anos de 1990, 1997, 2004 e 2010, onde as mesmas foram adquiridas no site <glovis.usgs.gov>. Conforme visto na Figura 2, apresenta-se as respectivas imagens referente aos anos supracitados e constata-se a evolução da barragem de rejeitos na área de estudo.



Figura 2. Imagens multiespectrais de 1990, 1997, 2004 e 2010

A partir dessas imagens, foi elaborada a chave de interpretação e foram executados a segmentação automática, análise de mistura e classificação supervisionada por regiões, empregando o *software Spring*. A Figura 3 apresenta o fluxograma das atividades desenvolvidas para análise do uso e ocupação do solo nos anos de estudo. Nos próximos capítulos serão detalhadas as metodologias de cada uma destas etapas sendo possível embasar métodos e aplicações eficazes das geotecnologias.

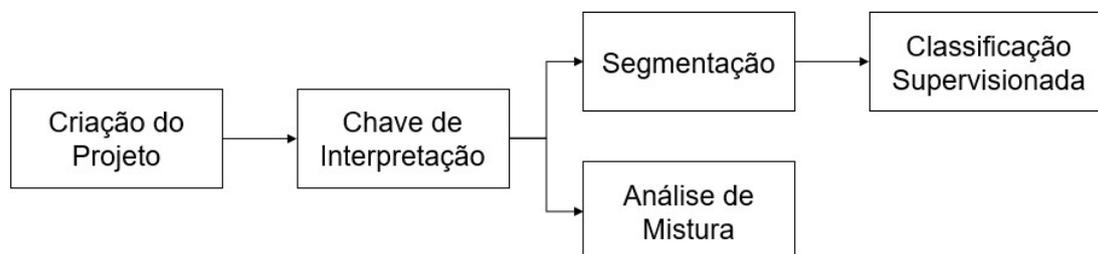


Figura 3. Fluxograma das atividades

Chave de Interpretação

Para a chave de interpretação, foi definido os tipos de cobertura da terra a partir das imagens e da composição supracitadas, como Vegetação, Área Urbana e Rejeito. A partir disso, foi elaborada a chave de interpretação seletiva descritiva, a qual serviu para a classificação e edição final da representação temática. Caracterizou-se cada classe (tipo de cobertura) de acordo com a correspondência na superfície terrestre e com base nos elementos de interpretação como cor (composição colorida), textura, forma, padrão, conforme apresentado na Tabela 1. É importante considerar, também, que a empresa CBA faz extração de minérios e o rejeito destes minérios são alojados em uma represa de rejeito, a qual será analisada neste trabalho.

TABELA 1. CHAVE DE INTERPRETAÇÃO

Classe	Vegetação	Área Urbana	Rejeito
Cor RGB	Verde Escuro	Branco	Mostarda
Falsa-cor	Vermelho/Magenta	Ciano/Branco/Roxo	Amarelo
Forma	Irregular	Irregular	Regular
Textura	Rugosa	Rugosa	Lisa

Fonte: Autoria Própria

Análise de mistura

Segundo Novo (2011), o fenômeno de mistura espectral decorre do fato de que a radiância registrada por um equipamento de sensor é a soma das radiâncias de todos os materiais dentro do campo de visada instantâneo. Portanto, a radiação detectada é resultante da mistura de diferentes materiais acrescida da contribuição da atmosfera. Logo, a resposta espectral de cada pixel é decomposta em componentes espectralmente distintos (“puros”), os quais são analisados em conjunto ou separadamente, em seguida essa mistura é modelada.

Na descrição do modelo, os valores da assinatura espectral dos pixels são descritos como valores de reflectância, para isso foram obtidas as respostas espectrais dos componentes diretamente das bandas espectrais de uma cena multiespectral.

O procedimento descrito acima foi realizado e teve-se como resultado a geração de uma imagem fração de solo para cada época, as quais nestas imagens realçam a represa de rejeito.

Com base nessas imagens fração de solo, foi atribuída a imagem fração da época 1997 ao azul, imagem fração da época 2004 ao verde e imagem fração da época 2010 ao vermelho, para se fosse possível analisar a expansão da cidade e da área de rejeito. Como pode ser observado o resultado desta composição na Figura 4, nota-se a relação dessas atribuições para cada fração e a distinção de avanço para cada época.

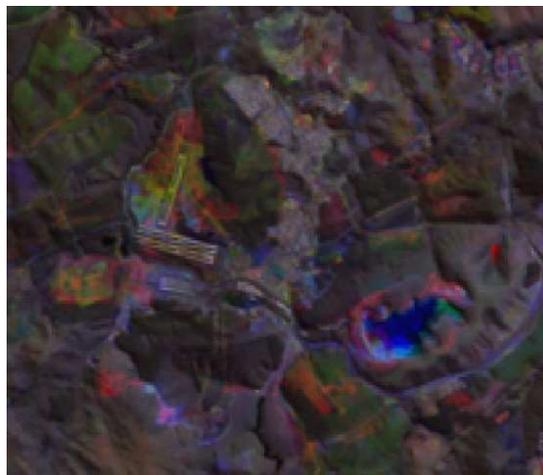


Figura 4. Imagem Fração (1997 B, 2004 G, 2010 R)

Porém, é de extrema importância frisar que esta não é uma técnica que se pode utilizar para fazer uma análise temporal e expansão mais crítica. Para isso, os métodos de classificação e demais técnicas são de suma importância na execução de tal processamento de análise.

Segmentação

A partir das imagens foi realizada a segmentação por regiões que consiste em separar espectralmente os objetos (regiões) da imagem a partir de conjuntos de “pixels” contíguos e que apresentam uniformidade em relação a um dado atributo (textura, média, variância), segundo abordagens de Novo (2011).

Para a segmentação, foram utilizadas todas as bandas, exceto a banda azul devido a influência da atmosfera na resposta espectral dos alvos. O método utilizado para a segmentação foi por crescimento de regiões onde cada pixel é inicialmente rotulado como uma região e as demais regiões espacialmente adjacentes são agrupadas segundo um critério de similaridade, que neste caso o limiar é de 12. Desta forma, este processo é repetido até que nenhum outro agrupamento possa ser feito. E além disso, não se admitiu regiões/áreas inferiores a 20 pixels.

Classificação supervisionada por regiões

Após definir as classes de informação, foi possível identificar e adquirir amostras das áreas representativas de cada classe de dados por meio da aquisição de dados de treinamento. Após a extração das amostras, foi realizada a classificação supervisionada das regiões (Figura 5), a qual implica no treinamento de um algoritmo de classificação. Neste caso, *Battacharya* com limiar de aceitação de 99.9% para que este possa reconhecer regiões com as mesmas características na imagem.

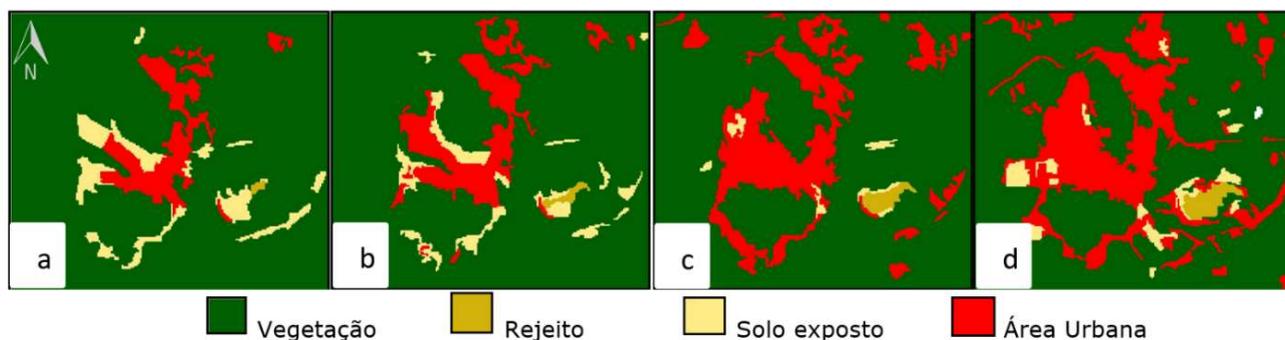


Figura 5. Classificação supervisionada (a) 1990, (b) 1997, (c) 2004 e (d) 2010

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir desse processamento de imagens, este processo de extração de informação de imagens de satélite possibilitou a compreensão do uso e ocupação do solo para a cidade de Alumínio e os efeitos e evolução da empresa CBA. Além-se, a partir nestas análises, nas importantes bases que auxiliam no entendimento dessa classificação no período dessas séries temporais na área de estudo.

Como resultado, pode-se observar na Figura 6, a qual mostra o resultado da análise temporal para as épocas de 1990 e 2010, que as notórias e significativas discrepâncias onde a cor vermelha representa a área construída de 2010, a cor rosa representa a área construída em 1990, a cor marrom a área de rejeito em 2010 e a área mostarda a área de rejeito em 1990.

Já no que tange a relação das cores verde e bege, passa a representar a vegetação e o solo de 2010, respectivamente. Na Tabela 2, pode-se observar as áreas classificadas em quilômetro quadrados (km²) e analisar a sua extensão expressiva a partir deste processamento.

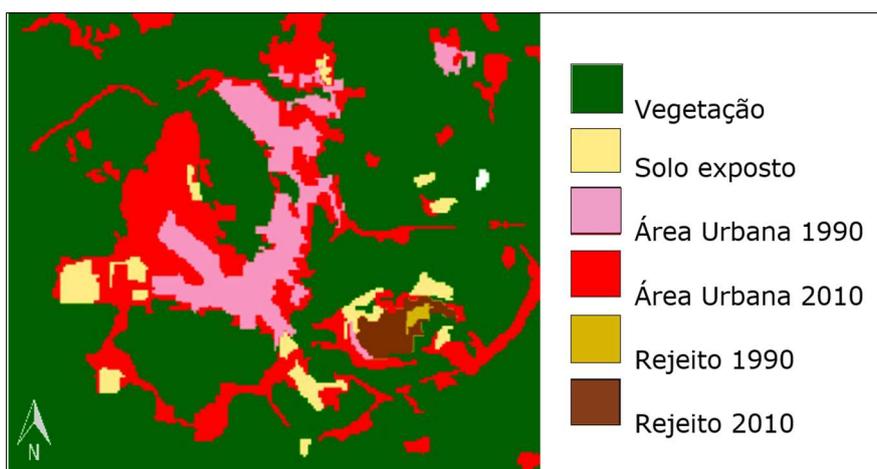


Figura 6. Análise temporal para às épocas de 1990 e 2010

TABELA 2. QUANTIDADE EM ÁREA CLASSIFICADA DE CADA ÉPOCA

Classes	1990 (Km ²)	1997 (Km ²)	2004 (Km ²)	2010 (Km ²)
Vegetação	29,0	28,5	27,0	24,4
Área Construída	2,38	3,40	6,00	77,7
Solo	1,90	1,45	0,34	0,93
Rejeitos	0,05	0,14	0,3	0,47

Fonte: Autoria Própria

Como pode-se analisar no Figura 6 e a correlação com a Tabela 2, houve uma grande evolução na classe de área de construção. Isso mostra a explicação da expressiva expansão urbana e o desenvolvimento da empresa CBA. Porém, a variação entre solo e rejeitos não foram tão drásticas.

Considera-se, também, que em virtude de as imagens serem de 30m de resolução espacial, LANDSAT-5 TM, alguns pontos em que pode ter ocorrido exploração do solo, podem não ter sido detectados. Dessa forma, estima-se algumas regiões que somariam com essas análises que, certamente, mostrariam uma maior informação das áreas classificadas.

CONCLUSÕES

Com isso, pode-se enveredar a importância de estudos a partir do uso de ferramentas inerentes ao Sensoriamento Remoto e os vastos recursos das Geotecnologias como forma de se atribuir conhecimento de determinadas áreas, seus comportamentos e os fenômenos que ali se apresentam. Mostra-se, ademais, todo o processamento e forma metodológica que pode ser utilizada como aplicação em outras regiões a fim de se monitorar as alterações sob a superfície terrestre.

Desse modo, o presente trabalho apresentou uma análise a partir de séries temporais, a qual incluiu uma mancha urbana, o desenvolvimento de uma empresa, e a evolução da extração dos minérios juntamente com a represa de rejeito. A expansão urbana, assim como o desenvolvimento da empresa CBA e a represa de rejeito, são facilmente visíveis ao longo de 20 anos. Porém, a área de rejeito não aparece tão claramente na classificação, pois a proporção de área em comparação com a área construída e a vegetação é inferior.

Pontua-se, ainda, que muitos trabalhos de Sensoriamento Remoto estão sendo empregados em estudos de uso e ocupação do solo como ferramentas de gestão empregada ao caráter de planejamento governamental, seja estadual ou municipal. Isso implica em uma abordagem mais completa na geração de planos diretores que passam a ser mais estruturados a partir dessas análises que condizem com a representação espacial das informações a serem analisadas.

Em última consideração, é válido ressaltar que a utilização de imagens de satélite para a visualização e gestão de mudanças no uso e ocupação do solo torna-se indispensável ao estudo das modificações do espaço. Essa técnica viabiliza que estudos possam ser estruturados em diretrizes que fomentem essas análises a fim de se monitorar todo o avanço ou manifestação de algum fenômeno. Dessa maneira, podendo-se assegurar a dinamização de ações para tais eventos.

Portanto, além de registrar a dinâmica do espaço metropolitano ao longo do tempo, é uma forte evidência de como as imagens de satélite e as ferramentas de sensoriamento remoto podem contribuir para uma análise mais precisa e mais completa do uso e ocupação do território. No presente trabalho, mostrou-se essa relação que permite a instauração de uma avaliação do avanço da barragem de

rejeitos no município de Alumínio (SP) como método de verificação e também de cuidados ao que concerne o uso da terra, os avanços tidos e, sobretudo, a ocupação espacial na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, Gabriel Araujo; VICTORINO, Heloísa da Silva. Detecção da expansão da barragem de rejeitos Maravilhas II (MG) por Subtração Simples de Bandas e Análise de Componentes Principais. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. p. 4883 – 4890. Disponível: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0955.pdf>>

BECELATO, V.; FERREIRA, F.; CABRAL, J. B. P.; FIGUEIREDO, O. A. R.; NETO, S. L. R. Monitoramento do uso e ocupação do solo em Área de influência do município de Fazenda Rio Grande – Região Metropolitana de Curitiba – PR. R. RA'E GA, Curitiba, nº14, p. 217-227, Editora UFPR. 2007.

CBA, Companhia Brasileira de Alumínio. Disponível em <www.cba.com.br>. Acesso em 20 jun 2020.

DIEDRICH, Tiago Josué; NARVAES, Igor da Silva. Técnicas de detecção de mudanças em áreas urbanas de Brasília. Revista Brasileira de Cartografia, Nº 65/3, p. 493-509, 2013. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936. Disponível: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44801/23812>>

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth

MELLO, Leomardo Freire de; SATHLER, Douglas. A demografia ambiental e a emergência dos estudos sobre população e consumo. R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 32, n.2, p. 357-380, maio/ago. 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-30982015000000020>>

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo. ed.: Edgard Blücher, 2011, 308p.

OLIVEIRA, Vinicius de Moura. O uso de geotecnologia no estudo multitemporal das mudanças ambientais no entorno da hidrelétrica de Santo Antonio no Rio Madeira (RO). Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas, 2015. Disponível: <<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/4794/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Vinicius%20de%20Moura%20Oliveira.pdf>>

OLIVEIRA, L. V. DE; NEGRI, R. G.; SANTOS, L. B. L. Análise de técnicas de detecção de mudança para mapeamento de desastres com uso de dados de sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Cartografia, v. 72, n. 1, p. 177-189, 30 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv72n1-51447>

ROCHA, Genival Fernandes et al. Detecção de desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. Revista Brasileira de Cartografia No 63/03, 2011. (ISSN 1808-0936), p. 341 – 349. Disponível: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/43744/23008/0>>

ROSENDI, Jussara dos Santos; ROSA, Roberto. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4209-

4216. Disponível: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.15.14/doc/4209-4216.pdf>>

ROYER, Júlio C., WILHELM, Volmir E., PATIAS, Josiele. Previsão de séries temporais de subpressão de barragens com filtragem ssa e regressão múltipla com modelagem arima dos resíduos. Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia, 2015. Lisboa, 29 de Junho a 2 de Julho. Portugal. Disponível: <http://www.dem.ist.utl.pt/cm2015/html/CD-Proceedings/PDF/Papers/CMN_2015_submission_369.pdf>

SALLES, Maria Clara Torquato; GRIGIO, Alfredo Marcelo and SILVA, Márcia Regina Farias da. Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN - Brasil. *Soc. nat.* [online]. 2013, vol.25, n.2, pp.281-290. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132013000200006&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1982-4513. <<https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200006>>

SÂFADI, Thelma. Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de Furnas. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2004, vol.28, n.1, pp.142-148. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542004000100019&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1413-7054. <<https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000100019>>

VIEGAS, Vandrê Soares et al. Detecção de mudanças nas áreas construídas da ap4/Rio de Janeiro, entre 2000 e 2015. *Rev. Tamoios, São Gonçalo (RJ)*, ano 14, n. 2, pág. 25-37, jul-dez 2018. DOI: 10.12957/tamoios.2018.37969.