

Detecção da expansão da barragem de rejeitos Maravilhas II (MG) por Subtração Simples de Bandas e Análise de Componentes Principais

Gabriel Araujo Alberti¹
Heloísa da Silva Victorino²

¹Instituto de Aeronáutica e Espaço
Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias.
CEP 12.228-904 - São José dos Campos – SP, Brasil.
ga.alberti@hotmail.com

²Mestranda em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil.
heloisa@dsr.inpe.br

Abstract. Recent accidents involving mining tailings dams have attracted the attention of law enforcement agencies and mining operation of these structures, which have grown increasingly with the rise of the industrial production. Solid waste is considered the main responsible for the environmental impact of mining activities. The temporal analysis of the dam and its surroundings can provide information about the dynamics of the landscape and its trend, providing an important tool for decision making purpose. To this end, this paper presents the application of the techniques of Bands Subtraction and Principal Component Analysis to detect the spatio-temporal expansion of an area related to the mining dam Maravilhas II, owned by MBR - Minerações Brasileiras Reunidas S. A. It is one of the mining structures of Mina do Pico mine, north of Itabirito, and is inserted into a priority area for biodiversity conservation in the State of Minas Gerais, classified as "Area of Special Biological Importance". In this sense, the monitoring of the environmental impacts of the activities in this area, particularly due to the high degree of the toxicity of the particles in suspension, is of great interest for environmental protection agencies. In this study, images from two optical orbital sensors (TM-Landsat 5 and OLI-Landsat 8) were used. The results have shown that PC and Band subtraction are effective in spatio-temporal analysis, landscape changing monitoring and expansion and rate of degradation of environmental resources.

Keywords: remote sensing, principal components, bands subtraction, sensoriamento remoto, componentes principais, subtração de bandas.

1. Introdução

A atividade mineradora está entre os setores básicos de desenvolvimento social e econômico do Brasil e, apesar de seus benefícios, a gestão dos rejeitos originados e seu consequente impacto ambiental constituem um grande desafio, o que salienta a importância do planejamento e controle das estruturas de armazenamento.

Os rejeitos são resultantes do processo de beneficiamento do minério; são gerados em grandes quantidades, contém elevado grau de toxicidade e partículas dissolvidas e em suspensão, metais pesados e reagentes. Além de apresentarem riscos de acidentes desastrosos, a ameaça à preservação ambiental oferecida pelas barragens construídas para sua contenção tem despertado o

interesse de órgãos ambientais e comunidades locais, concentrados em aplicar e fiscalizar diretrizes e regulamentações de aproveitamento dos recursos minerais de forma sustentável.

O sensoriamento remoto orbital tem participação decisiva no levantamento de informações ambientais. Por ser concebido para a detecção e mapeamento de diversos aspectos da superfície terrestre é bastante indicado para a análise ambiental de uma região. Sua repetitividade permite uma definição segura dos eixos de expansão e da velocidade de degradação ou recomposição ambiental de uma determinada área (VALERIANO, 1987).

Além de danos ambientais, e complementarmente a estes, a fiscalização e o monitoramentos constante dessas estruturas podem prevenir episódios trágicos como o recente rompimento da barragem de rejeitos da Mineradora Herculano, em Itabirito, na Região Central de Minas Gerais a quilômetros de Belo Horizonte, que soterrou trabalhadores e veículos em 10 de setembro deste ano.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo detectar a expansão espaço-temporal da barragem de contenção de rejeitos Maravilhas II a partir das técnicas de Subtração Simples de Bandas e Análise de Componentes Principais, gerando uma ferramenta complementar como contribuição para gestão, monitoramento e planejamento da minimização de impactos ambientais e riscos causados pela atividade mineradora nesta região.

1.1 Subtração de bandas

A subtração entre imagens multiespectrais tem por objetivo realçar feições espectrais sutilmente diferentes, geralmente entre imagens provenientes de aquisições bitemporais, o que permite mapear alterações ocorridas no intervalo de tempo entre elas.

A operação é realizada pixel a pixel e é recomendado que se utilize imagens tomadas sob condições semelhantes de geometria de iluminação e aquisição, além de realizar-se previamente a normalização radiométrica entre os valores de média e desvio padrão da cena, para evitar o realce de feições que não correspondam exclusivamente às alterações temporais.

1.2 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis, de modo que cada componente principal seja uma combinação linear das variáveis originais, sejam independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados. (VARELLA, 2008)

A principal função da Análise de Componentes Principais é determinar a extensão da correlação existente entre as bandas e, através de uma transformação matemática apropriada, remover a correlação existente entre elas, produzindo um novo conjunto de imagens de saída descorrelacionadas. Esta técnica pode ser utilizada para explorar a baixa correlação entre imagens multitemporais de regiões que mudam significativamente. Portanto, nos estudos para detecção de mudanças temporais pode-se aplicar o método com apenas duas imagens de duas datas diferentes, ambas referentes à mesma faixa espectral. Desta forma, a primeira componente (CP1) possuirá as informações comuns entre as bandas, enquanto a segunda componente (CP2) expressará as mudanças ocorridas entre as datas (MALDONADO, 1999), sob a vantagem da obtenção de resultados sem necessidade de calibrações e correções atmosféricas, segundo Chavez e Mac Kinnon (1994) apud Gomes e Maldonado (1998).

2. Metodologia de trabalho

2.1. Área de Estudo

A barragem de contenção de rejeitos e resíduos Maravilhas II, empreendimento da MBR – Minerações Brasileiras Reunidas S. A., é uma das estruturas da Mina do Pico, integrante do Complexo Itabiritos (junto às demais Minas Galinheiro, Sapecado e Fábrica), e se situa na porção norte do município de Itabirito, próximo ao limite com o município de Nova Lima. Encontra-se implantada no córrego Sapecado, possuindo como contribuintes os córregos Vargem do Pico (afluente esquerdo) e Lagoinha (afluente direito). Sua construção ocorreu em 1994, possuindo a elevação de base na cota 1.210 m e a elevação do topo do maciço de barramento na cota 1.240 m. A Figura 1 apresenta a visualização da barragem em sua atual situação.

A Mina do Pico está inserida em uma área prioritária para a conservação da biodiversidade do Estado de Minas Gerais denominada “Quadrilátero Ferrífero”, e classificada como “Área de Importância Biológica Especial”, conforme a Fundação Biodiversitas.

As florestas e os campos naturais da região da Mina do Pico e especialmente da Serra da Serrinhas a leste, e a da Serra da Moeda a oeste, são ecologicamente especiais e valiosos, de extrema relevância para a manutenção da flora e fauna silvestre, sobretudo das espécies endêmicas, raras e ameaçadas de extinção. Por isso, alguns setores paisagísticos dessas serras e seu entorno foram transformados em Unidades de Conservação, entre elas, Área de Proteção Ambiental (APA) Sul da região metropolitana de Belo Horizonte, Unidade de Conservação estadual do tipo Uso Sustentável na qual a barragem de rejeitos Maravilhas II está inserida, como mostra a Figura 2.



Figura 1 - Barragem de rejeitos e resíduos Maravilhas II.

Fonte: Google™ Earth, 2014



Figura 2 - Limites da APA Sul (em verde) e localização da barragem de rejeitos Maravilhas II (em vermelho).

Fonte: ZEE-MG, 2014

2.2. Etapas de Trabalho

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas imagens da órbita 218, ponto 74 Landsat 5 TM (Thematic Mapper) de 09 de setembro de 1995 e Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) de 29 de setembro de 2014, selecionadas por suas aquisições terem ocorrido em períodos anuais equivalentes, sendo a primeira adquirida próximo à data de construção da barragem e a segunda correspondente ao período atual.

Optou-se por utilizar as bandas TM2, TM3 e TM4, e as equivalentes OLI3, OLI4 e OLI5, correspondentes aos comprimentos de onda verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente, caracterizadas por definir melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo

algum detalhe em águas pouco profundas, e mostrando as diferenças na vegetação que aparece em tonalidades de vermelho quando aplicada a composição BGR. (DGI/INPE, 2014)

Tendo em vista que os dois sistemas sensores possuem resoluções radiométricas diferentes, inicialmente foi necessário realizar a conversão radiométrica dos dados OLI de 16 para 8 bits, para torná-los compatíveis com os dados provenientes do sensor TM. A correção atmosférica das duas cenas foi realizada a partir do método *Dark Object Subtraction* proposto por Chavez (1988) implementado no software *Envi 4.8*.

Posteriormente realizou-se o registro geométrico das imagens TM referenciando-as às imagens OLI (georreferenciadas). Prosseguiu-se com a normalização radiométrica das cenas para compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza dos elementos de imagem em cada banda espectral na série bitemporal, tornando possível a associação dos resultados às alterações dos alvos, exclusivamente.

A partir daí foi possível realizar o processo de Subtração de Bandas e Análise de Componentes Principais considerando-se nulas as influências radiométricas externas. O processo encontra esquematizado na Figura 3.

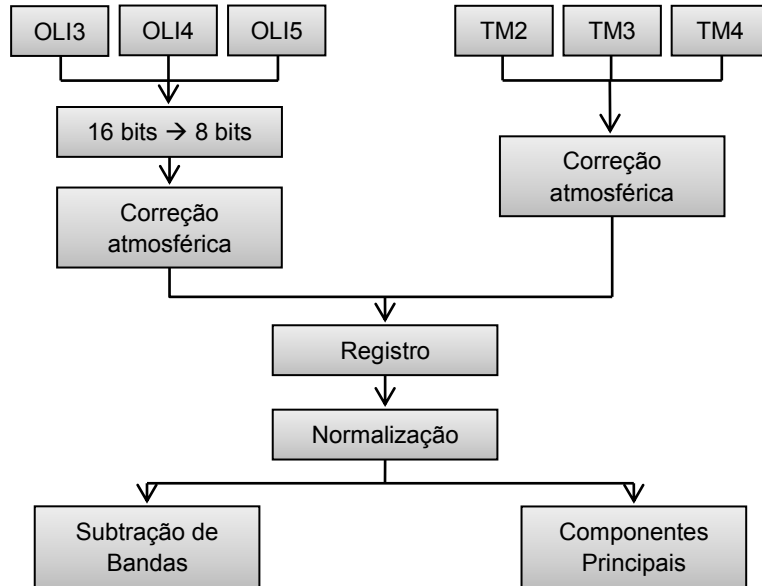


Figura 3 - Fluxograma dos processos desenvolvidos.

4. Resultados

As imagens resultantes da aplicação da operação de diferença de bandas são apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6, referentes aos comprimentos de onda verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Os pixels com intensidade próximas da média (tonalidades em cinza médio) identificam áreas onde não ocorreram mudanças. As áreas de mudança para cada banda são identificadas na imagem diferença pelos pixels cujos valores estejam acima (pixels mais claros) ou abaixo (pixels mais escuros) do limiar estabelecido na operação.

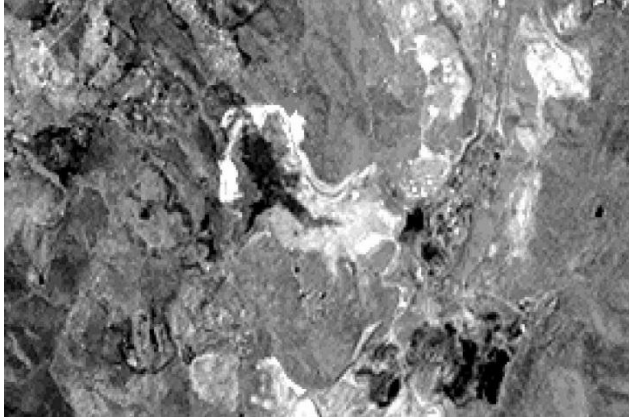


Figura 4 - Imagem diferença da banda verde.

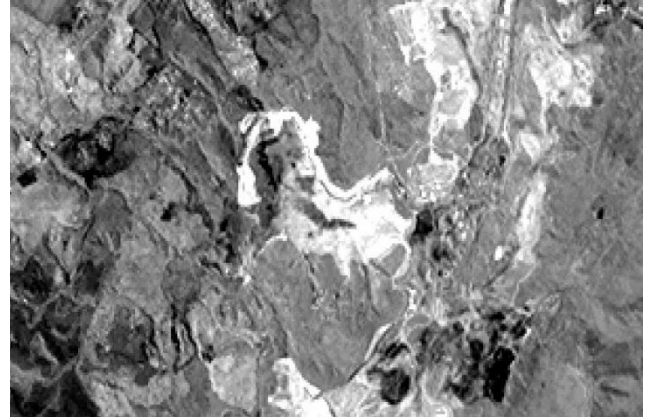


Figura 5 - Imagem diferença da banda vermelho.

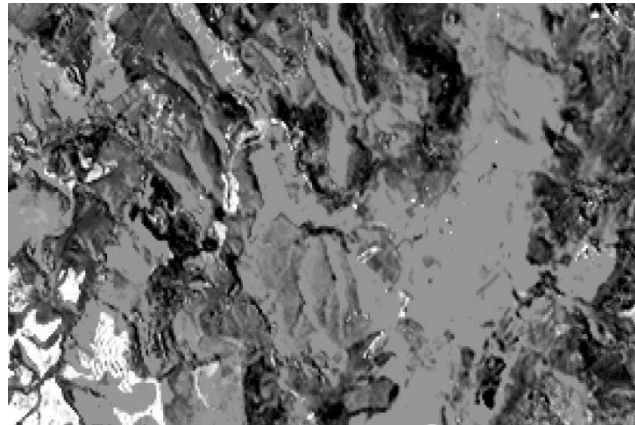


Figura 6 - Imagem diferença da banda infravermelho próximo.

Observa-se que a imagem diferença referente ao comprimento de onda infravermelho próximo não foi eficiente no mapeamento das áreas de alteração temporal, apresentando valores de brilho médios nas áreas de ocorrência de mudanças.

Analisando-se as demais, a imagem diferença relativa ao comprimento de onda verde apresentou maior contraste entre as regiões invariantes da barragem e as regiões que caracterizam sua expansão, destacando-a da cobertura vegetal presente em 1995 e ausente em 2014. No entanto, na imagem diferença relativa ao comprimento de onda vermelho pode-se destacar mais facilmente os limites da expansão da barragem de rejeitos ao apresentar maior contraste entre esta e o restante da cobertura vegetal que a circunda.

A Figura 7 apresenta a composição colorida dessas resultantes, ressaltando em tons de ciano claro as alterações ocorridas entre as duas datas na região, que caracteriza a expansão da barragem.



Figura 7 - Composição colorida BGR das imagens diferença referentes aos comprimentos de onda verde, vermelho e infravermelho, respectivamente.

A Análise de Componentes Principais foi aplicada ao mesmo conjunto de bandas, apresentando resultados bastante semelhantes, como é possível observar nas Figuras 8 (CP2 das bandas referentes ao comprimento de onda verde), 9 (CP2 das bandas referentes ao comprimento de onda vermelho) e 10 (CP2 das bandas referentes ao comprimento de onda infravermelho próximo). Como na subtração de bandas, a Componente Principal relativa ao Infravermelho Próximo não apresentou resultados satisfatórios, apresentando valores intermediários para as alterações. A composição colorida (Figura 11) permite detectar com bastante evidência as áreas de mudanças (em ciano).

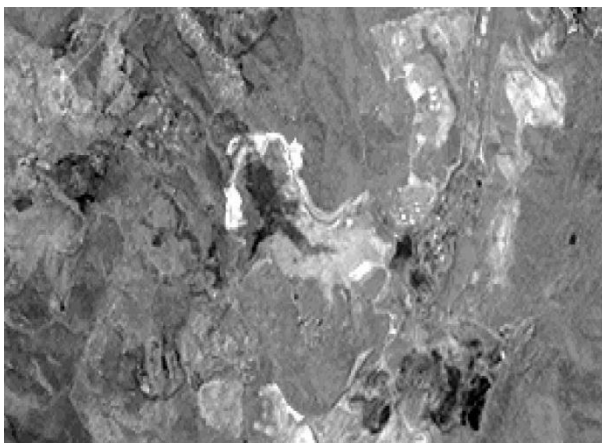


Figura 8 - CP2 da banda verde

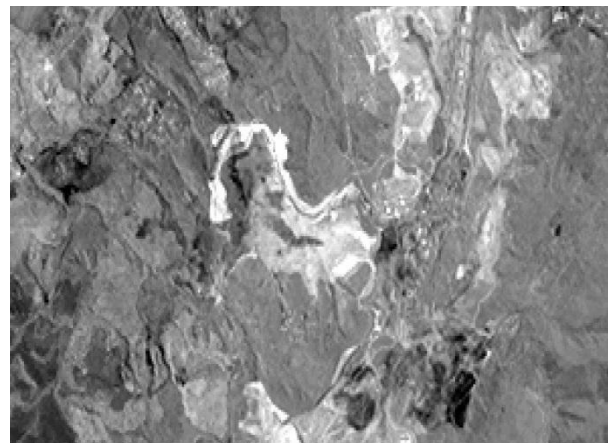


Figura 9 - CP2 da banda vermelho

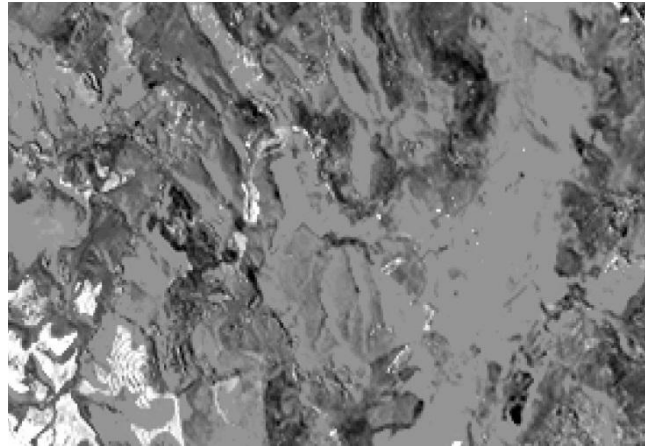


Figura 10 - CP2 da banda infravermelho próximo

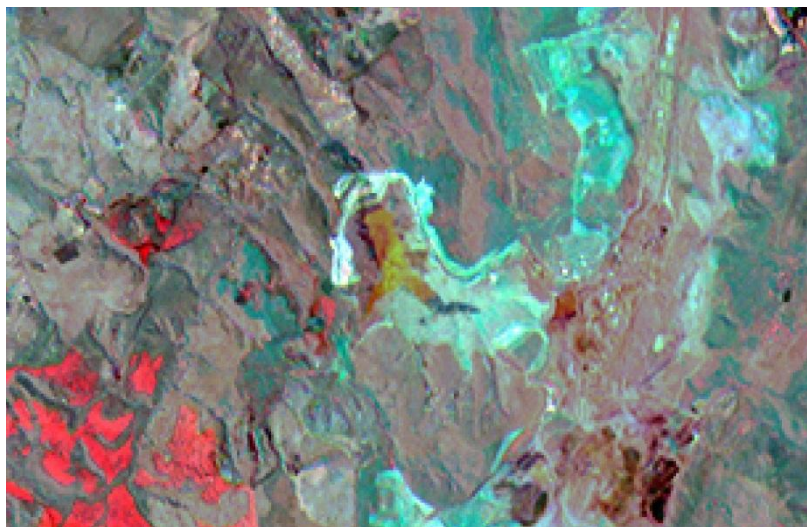


Figura 11 - Composição colorida BGR das imagens diferença referentes aos comprimentos de onda verde, vermelho e infravermelho, respectivamente.

4. Considerações Finais

Apesar da legislação, conhecimento e tecnologia disponíveis, rompimentos de barragens de contenção de rejeitos continuam acontecendo; causando danos econômicos, sociais e ambientais. Uma gestão adequada deve iniciar-se pela realização de um inventário sobre as dimensões e características dessas estruturas, para que seja possível definir potenciais riscos e planos de ação.

A análise da contribuição das bandas dos sensores TM e OLI para a detecção de áreas de mudanças a partir das técnicas utilizadas e dos resultados encontrados permitiu verificar que ambos os métodos apresentaram-se eficientes na detecção da expansão da barragem Maravilhas II, com resultados bastante similares, embora a Análise de Componentes Principais possua a vantagem de dispensar o pré-processamento para correção atmosférica.

As bandas referentes aos comprimentos de onda verde e vermelho apresentaram um desempenho expressivo em identificar áreas de expansão da barragem de rejeitos, contrastando as

áreas de mudança com o restante da cobertura vegetal da região em relação à banda referente ao comprimento de onda infravermelho-próximo, menos eficiente nesta tarefa.

Vale ressaltar que a necessidade de conversão radiométrica dos dados OLI para 8 bits promoveram certa degradação das informações, comprometendo a qualidade dos resultados obtidos.

Os resultados alcançados neste estudo apontam a aplicabilidade do Sensoriamento Remoto e seus métodos de análise espaço-temporal no monitoramento da alteração da paisagem, expansão e a velocidade de degradação dos recursos ambientais de uma região.

Referências Bibliográficas

Chavez Jr., P.S. **An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data.** Remote Sensing of Environment, 1988.

DGI/INPE - Divisão de Geração de Imagens/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens LANDSAT TM e ETM.** Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php>. Acesso em: 15 out. 2014

Gomes, A. R.; Maldonado, F. D. **Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. 1998.

MALDONADO, F.D. **Análise por Componentes Principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE, São José dos Campos. 1999.

Valeriano, D. M. **Sensoriamento remoto aplicado no monitoramento de extração mineral em proximidade de áreas urbanas: prós e contras.** Encontro Nacional de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal. São José dos Campos, 1987.

Varella, C. A. A. **Análise de componentes principais.** 2008. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella>>. Acesso em: 28 out. 2014.

ZEE-MG. **Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais.** Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em: 23 out. 2014