

Análise espaço-temporal do rompimento da barragem de rejeitos no município de Brumadinho-MG

Jéssica de Cássia Leopoldino¹

Camila Souza dos Anjos²

Débora Paula Simões³

Luiz Flávio Reis Fernandes⁴

Resumo

A atividade mineradora consiste em uma das mais importantes atividades econômicas tanto quanto no mundo. As atividades de mineração são reconhecidamente de elevado impacto ambiental. Devido ao tamanho de algumas operações, a quantidade de carga movimentada e os rejeitos gerados, a mineração tem representado riscos para diversas regiões e populações, eventualmente afetadas por acidentes e mecanismos ineficientes de deposição e monitoramento. O Sensoriamento Remoto tem sido cada vez mais utilizado para mapeamento de grandes áreas ou áreas de difícil acesso, por meio dele, é possível obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra sem que haja contato físico com eles, constituindo-se em uma importante fonte de dados que pode ser utilizada para as mais diversas finalidades. As imagens utilizadas em Sensoriamento Remoto proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de grandes áreas da superfície terrestre, sendo uma alternativa viável em estudos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a extensão da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos da companhia Vale na mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho - MG, ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019, que causou um impacto ambiental que será sentido por anos. Para analisar a dimensão do impacto ambiental, foram utilizadas imagens de satélite da constelação Planet com resolução espacial de 3,0 metros. A metodologia utilizada foi baseada no processamento digital de imagens utilizando o *software* PCI Geomatics e o *software* ENVI 5.3, com os quais foi possível quantificar a área afetada. Dois diferentes métodos foram utilizados e os valores obtidos foram comparados com os valores divulgados pela Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. Como resultado obteve-se uma área de 2,964096 m², desde a barragem até o rio Paraopeba.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Impacto Ambiental, Processamento Digital de Imagens.

Introdução

Nos últimos 50 anos a exposição das pessoas aos riscos de desastres vem crescendo no Brasil e no mundo mais rapidamente do que as capacidades de redução da vulnerabilidade, resultando em intensos e extensos (no tempo e no espaço) impactos ambientais (FREITAS et al., 2016).

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), *Campus* Inconfidentes. Discente. jdecassialeopoldino@gmail.com. Praça Tiradentes, 416, Inconfidentes/MG, 37576-000.

2 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professora EBTT. camila.lacerda@ifsuldeminas.edu.br.

3 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professora EBTT. debora.simois@ifsuldeminas.edu.br.

4 IFSULDEMINAS, *Campus* Inconfidentes. Professor EBTT. luiz.flavio@ifsuldeminas.edu.br.

A Resolução nº 01/86 do CONAMA, de 23 de janeiro de 1986, em seu art. 1º define impacto ambiental como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

No Brasil, a atividade mineradora consiste em uma das mais importantes atividades econômicas, sendo reconhecidamente de elevados impactos ambientais. Devido ao tamanho de algumas operações, a quantidade de carga movimentada e os rejeitos gerados, a mineração tem representado riscos para diversas regiões e populações, eventualmente afetadas por acidentes e mecanismos ineficientes de deposição e monitoramento (BNDES, 2017).

O rompimento da barragem de rejeitos na mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho-MG, ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019, um dos maiores desastres de mineração do Brasil, resultou na morte de 270 pessoas e no lançamento de aproximadamente 11,7 milhões de metros cúbicos de lama ao meio ambiente. As alterações detectadas apontam para a ocorrência de graves impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do volume e potencial tóxico do rejeito acumulado (PEREIRA et al., 2019).

Devido à magnitude da tragédia e à dificuldade de acesso as áreas afetadas as geotecnologias, representadas por imagens aéreas ou orbitais, se mostram uma importante aliada para o estudo da dimensão espacial do desastre.

Segundo Florenzano (2007), podemos definir Sensoriamento Remoto (SR), como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

O SR, portanto, tem sido uma técnica bastante utilizada nos casos de estudos ambientais, pois permite analisar uma grande área de interesse sem ser necessário o contato direto com ela, uma vez que o SR faz uso de imagens de satélites, medindo a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos na superfície terrestre e disponibilizando essas informações numa forma passível de ser interpretada.

Neste contexto, estudos utilizando imagens de satélites aliadas às técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), têm se intensificado e demonstrado sua importância na análise de desastres ambientais. Destacam-se Silva et al. (2018) que realizaram uma análise espaço-temporal do desastre ambiental ocorrido em Mariana-MG através do PDI.

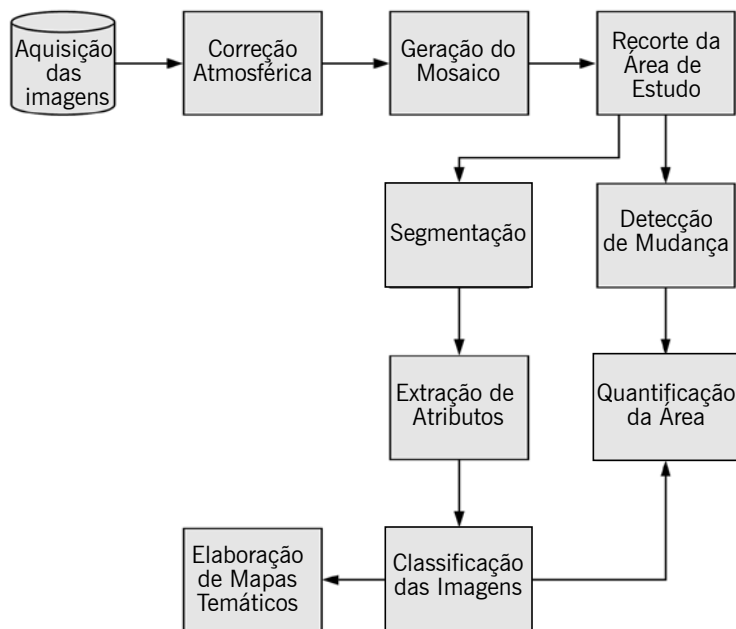
Objetivou-se realizar uma análise espaço-temporal da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos no município de Brumadinho-MG, utilizando imagens de satélite. Tal análise visa quantificar a área afetada por meio de detecção de mudança entre imagens anteriores e posteriores ao desastre ambiental.

Material e métodos

Para execução da análise espaço-temporal foram utilizadas imagens de satélite da constelação Planet, de duas datas distintas, ortorretificadas com resolução espacial de 3,0 metros cada. Os *softwares* PCI *Geomatics* 2018 e ENVI 5.3 foram utilizados para o processamento digital das imagens; e o *software* QGIS 2.14.8 para elaboração dos mapas temáticos e quantificação da área afetada.

A metodologia utilizada para a execução segue as etapas apresentadas na Figura 1.

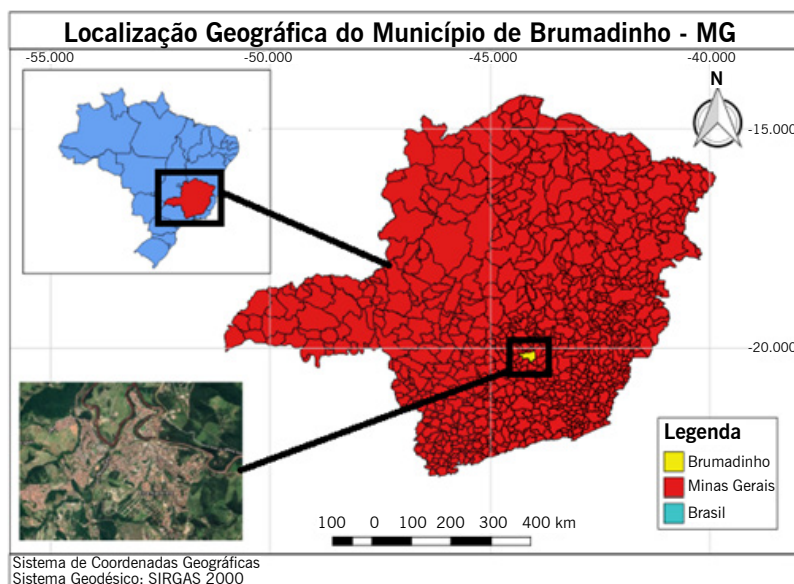
Figura 1 – Etapas da metodologia.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A primeira etapa consistiu na aquisição das imagens de satélite do município de Brumadinho-MG. A localização geográfica do município pode ser vista na Figura 02.

Figura 2 – Localização geográfica do município de Brumadinho-MG.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

As imagens do sensor PlanetScope da constelação Planet, são compostas por 4 bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). As imagens são referentes a duas datas distintas: anterior ao desastre referente ao dia 22 de janeiro de 2019 e posterior ao desastre referente

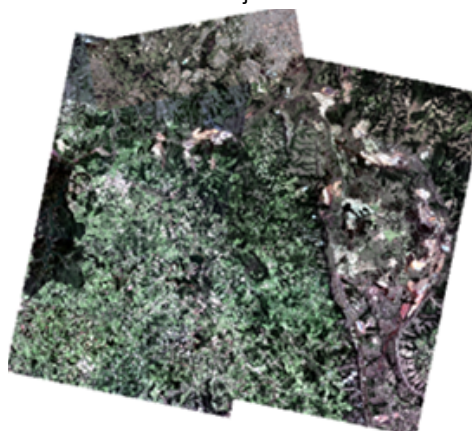
ao dia 1º de fevereiro de 2019; destaca-se que o desastre ocorreu no dia 25 de janeiro de 2019 e as imagens utilizadas foram as mais próximas possíveis da data do ocorrido.

A segunda etapa constituiu-se na realização da correção atmosférica das imagens que compõem cada cena, tal processamento foi realizado utilizando o modelo ATCOR presente no *software* PCI Geomatics 2008. As imagens originais foram disponibilizadas na grandeza radiométrica da radiância sendo transformadas para reflectância de superfície após o procedimento de correção atmosférica. A correção atmosférica é necessária para reduzir o efeito da interferência da atmosfera sobre os valores registrados em cada imagem. A atmosfera interage com a radiação eletromagnética, provocando significativas alterações no fluxo radiante proveniente do alvo. As principais evidências desses efeitos sobre a imagem são a diminuição do brilho da superfície em regiões espectrais específicas e a presença de névoa, com perda de nitidez, nas regiões dos menores comprimentos de onda (LATORRE et al., 2002).

Após realizar a correção atmosférica das imagens, a terceira etapa constituiu-se em gerar os mosaicos referentes a cada data, visto que cada data possui várias imagens e para avaliar a área de interesse foi necessário unir essas imagens em um mosaico.

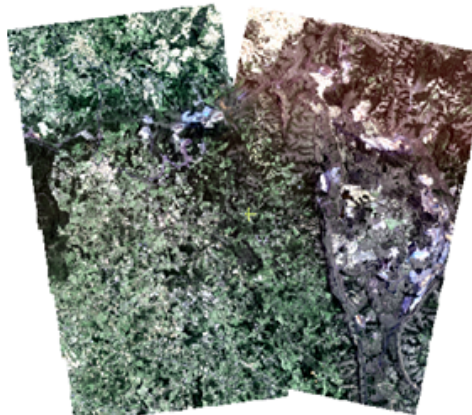
As Figuras 3 e 4 mostram os mosaicos gerados para cada data usando a composição colorida 3R2G1B. Para a geração dos mosaicos não foram realizadas normalizações ou alterações dos valores dos pixels das imagens com a intenção de manter a integridade da reflectância registrada pelo sensor.

Figura 3 – Mosaico de imagens referente ao dia 22 de janeiro de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 4 – Mosaico de imagens referente ao dia 01 de fevereiro de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Na quarta etapa foram realizados os recortes sobre os mosaicos correspondentes à área afetada pelo rompimento da barragem em cada uma das datas.

A quinta etapa realizada foi a detecção de mudança. De acordo com Singh (1989), em Sensoriamento Remoto, detecção de mudança é a identificação de alterações na superfície terrestre por meio de imagens de satélite, da mesma área, coletadas em diferentes datas. A detecção de mudança foi realizada em dois *softwares*, *PCI Geomatics* e ENVI 5.3, utilizando o método da subtração de imagens pixel a pixel.

Neste método ao subtrair uma imagem da outra as áreas onde ocorreram as mudanças de cobertura do solo são destacadas.

Para quantificar a área afetada foi usado o *software* QGIS 2.14.8, em que se considerou a área da barragem e toda área afetada até o rio Paraopeba, não sendo considerado o rio Paraopeba, pois com as imagens obtidas não foi possível quantificar toda sua extensão.

A sexta etapa constituiu-se na classificação das imagens, que consiste em atribuir significado aos *pixels* em função de suas propriedades numéricas. Segundo Novo (2010), as técnicas de classificação visam, em última análise, atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais. Para este trabalho foi usada a técnica de classificação supervisionada *Support Vector Machine* (SVM). Segundo Campbell (1996), a classificação supervisionada pode ser informalmente definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida.

Para a classificação supervisionada das imagens foram determinadas seis diferentes categorias de uso e ocupação do solo: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Rejeitos, Mineração/Solo Exposto, Água e Área Urbana. Todas as classes identificadas na cena foram inseridas na chave de classificação.

O processo de classificação supervisionada foi feito em etapas no *software PCI Geomatics*:

- Inicialmente realizou-se a segmentação das imagens, que segundo Vasconcelos e Novo (2004) é necessária para agrupar os “*pixels*” adjacentes e semelhantes gerando regiões homogêneas.
- Em seguida executou-se a extração de atributos, a fim de extrair dados provenientes dos dados originais. Os atributos gerados foram dos tipos espectrais e geométricos.
- Determinaram-se assim as classes de interesse: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Rejeitos, Mineração/Solo Exposto, Água e Área Urbana.
- Coletaram-se amostras que representam cada uma das classes.
- Realizou-se então a classificação das imagens utilizando o algoritmo de classificação SVM do *software PCI Geomatics*.
- Por último, realizou-se a avaliação da qualidade das classificações no *software PCI Geomatics*, em que se utilizaram novas amostras de validação que representam cada uma das classes. O método de avaliação da qualidade utilizado foi o índice Kappa.

Congalton (1991) relata que o uso do coeficiente Kappa é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão global, por exemplo, que utiliza somente os elementos diagonais (concordância real).

O Quadro 1 abaixo apresenta os níveis de desempenho da classificação para os valores de Kappa obtidos.

Quadro 1 – Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação.

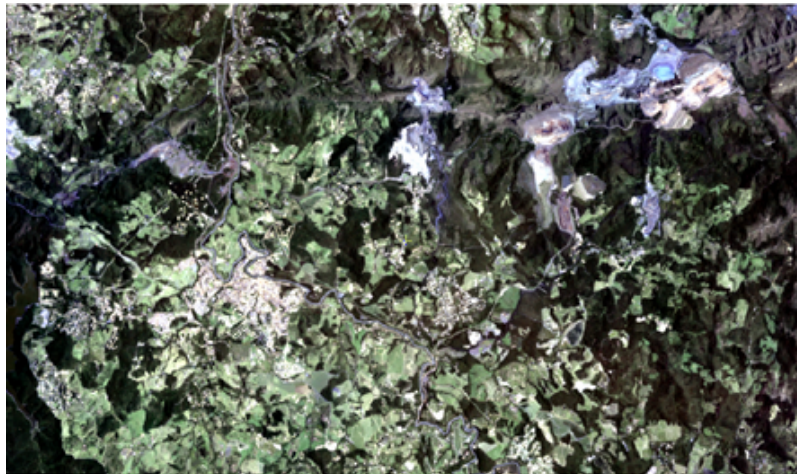
Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

Resultados e discussão

As Figuras 5 e 6 a seguir mostram os recortes feitos sobre os mosaicos correspondentes a cada data.

Figura 5 – Recorte da área de estudo- 22 de janeiro de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 6 – Recorte da área de estudo - 1º de fevereiro de 2019.

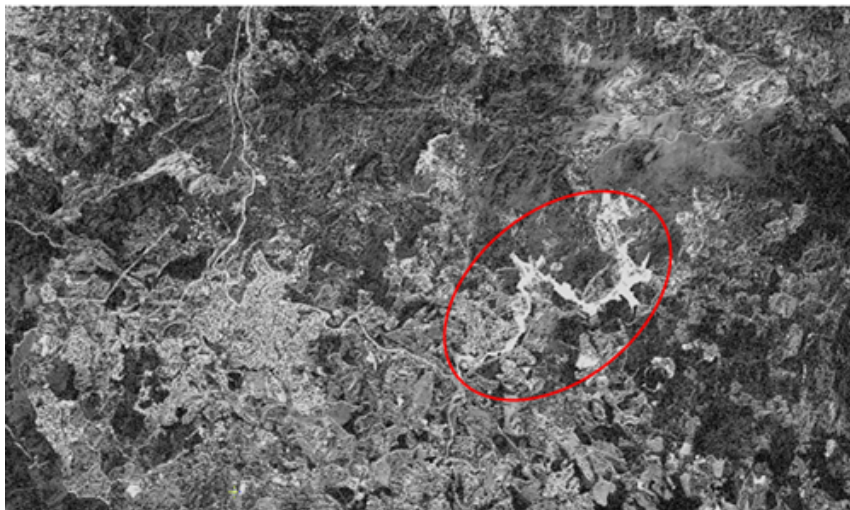


Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A partir dos recortes é possível perceber a extensão da área afetada após o rompimento da barragem, como mostra a área circulada em vermelho na Figura 6.

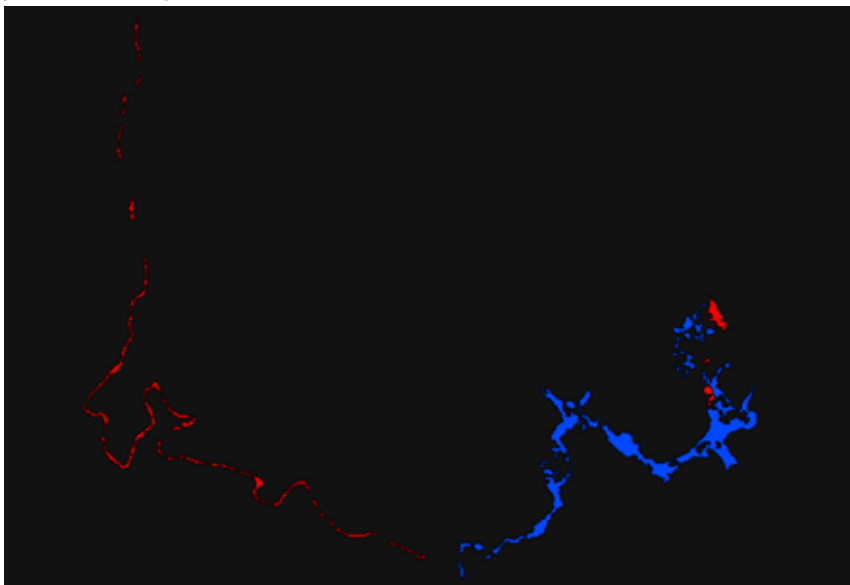
Os procedimentos de detecção de mudança realizados nos *softwares* PCI Geomatics e ENVI 5.3, podem ser vistos nas Figuras 7 e 8, respectivamente:

Figura 7 – Detecção de mudança realizada no *software* PCI Geomatics.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 8 – Detecção de mudança realizada no *software* ENVI 5.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

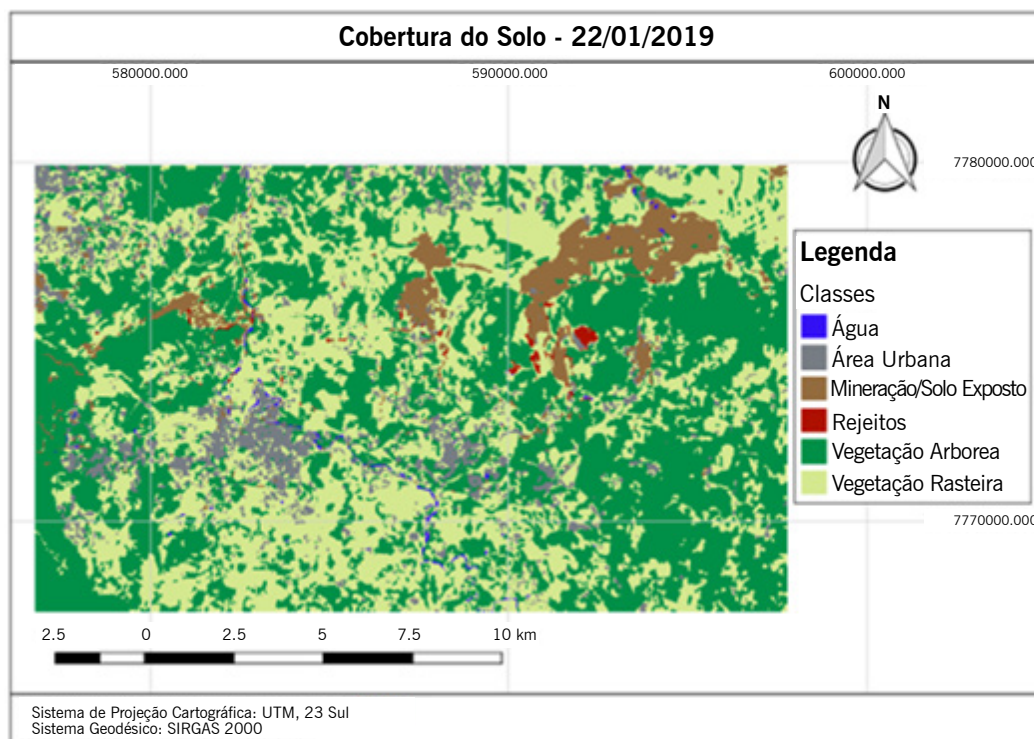
A área destacada em branco na Figura 7 representa as maiores mudanças detectadas pelo processamento realizado indicando a presença de rejeitos. Toda a área destacada na Figura 8 (vermelha e azul) representa a presença de rejeitos. Porém a diferença de cores pode ser explicada pela diferença na cobertura do solo antes do rompimento: a área representada em vermelho era coberta por água limpa e a área em azul era coberta por vegetação, construções e solo exposto.

Nas Figuras 7 e 8 é possível observar a mudança ocorrida na área de estudo após o rompimento da barragem. Destaca-se que na detecção de mudança realizada no *software* ENVI 5.3 foi possível utilizar limiares para isolar a área atingida, retirando do processo as pequenas mudanças, de forma que a área afetada pudesse ser quantificada.

A área afetada quantificada pelo método de detecção de mudanças foi de 1,64792 km², desde a barragem até o rio Paraopeba.

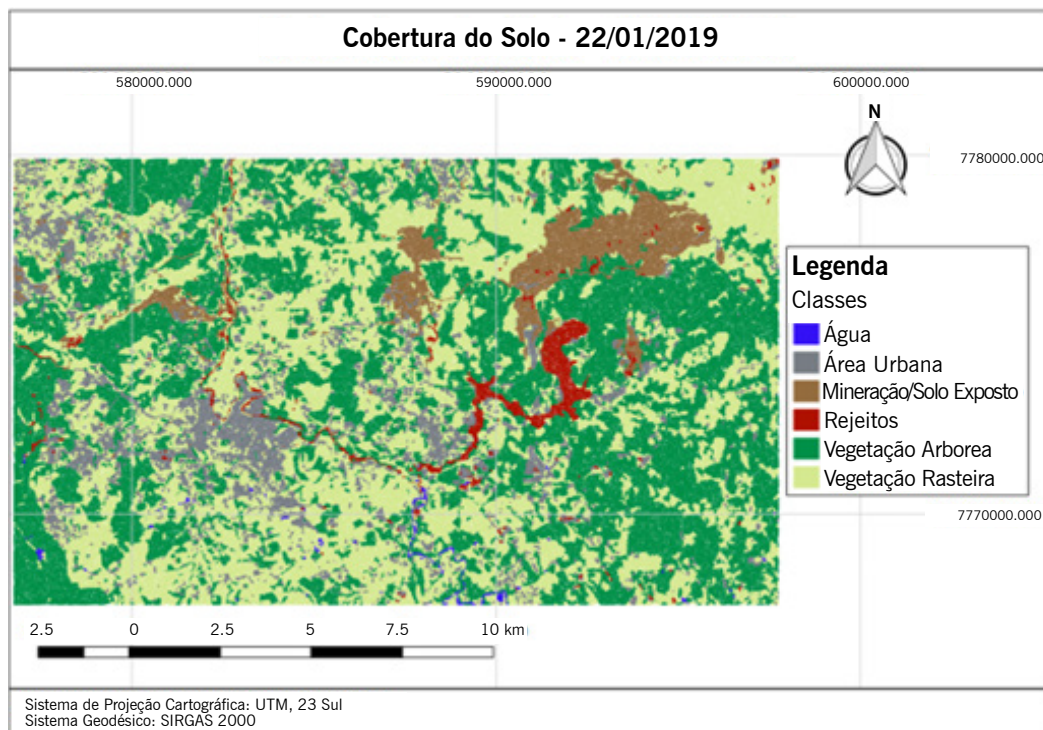
Para realizar o mapeamento da cobertura do solo em ambas as datas e nova quantificação da área afetada foi utilizado o método de classificação de imagens. As classificações das imagens, utilizando o *software* PCI Geomatics, realizadas para cada data podem ser vistas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Classificação das imagens - anterior ao rompimento da barragem.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

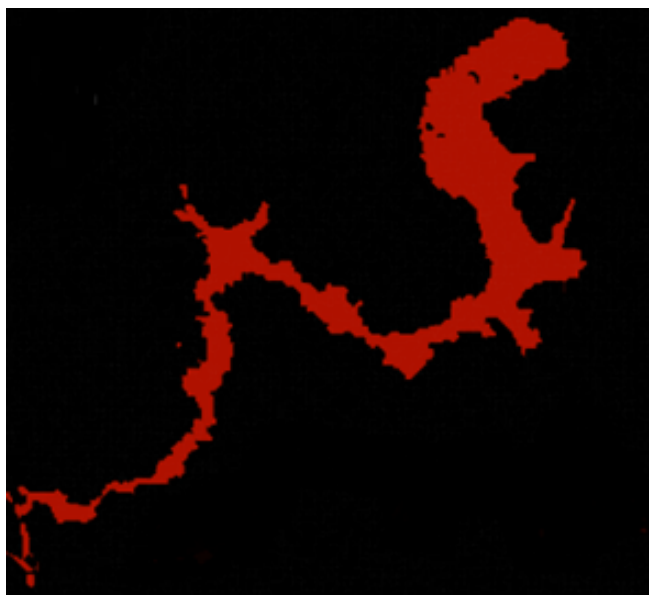
Figura 10 – Classificação das imagens - posterior ao rompimento da barragem.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A partir da classificação das imagens com data posterior ao desastre, também foi possível quantificar a área atingida pelos rejeitos, desde a barragem até o rio Paraopeba. A Figura 11 ilustra a área que foi quantificada a partir da classificação das imagens. As demais classes foram representadas na cor preto apenas para isolar visualmente a classe rejeitos.

Figura 11 – Área quantificada a partir da classificação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A área quantificada a partir da classificação das imagens, conforme Figura 11, foi de 2,964096 km², desde a barragem até o rio Paraopeba. A diferença de área detectada entre a classificação de imagens e a detecção de mudança foi de 1,31618 km². Para verificar qual dos métodos apresentou resultado mais coerente foi utilizada a quantificação de área realizada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD), cuja metodologia não foi divulgada.

Os valores encontrados, a partir da classificação de imagens, se assemelham ao estudo realizado pela SEMAD, que obteve um valor igual a 2,90 km², considerando a área da barragem e toda área afetada até o rio Paraopeba. A área quantificada a partir da classificação obteve o valor mais próximo, em comparação a área estimada pela detecção de mudança, com diferença de 0,064096 km² a mais do que a área estimada pela SEMAD.

Os valores obtidos pela detecção de mudança apresentam resultados muito divergentes do divulgado pela SEMAD, o que se deve ao fato da aplicação de detecção de mudança realizada pelo *software* ENVI considerar apenas as principais mudanças.

A fim de verificar a qualidade das classificações de imagens foi realizada no *software PCI Geomatics* a análise de acurácia e o cálculo do índice Kappa para as duas classificações.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a distribuição da acurácia e dos valores de Kappa para cada uma das classes definidas para as imagens correspondentes a cada data.

Tabela 1 – Acurácia e valores de Kappa para cada classe – 22/01/2019.

Classes	Acurácia do Produtor (%)	Acurácia do Usuário (%)	Índice Kappa
Mineração/Solo Exposto	100,00	90,91	0,89
Área Urbana	57,14	100,00	1,00
Vegetação Rasteira	87,71	70,59	0,63
Vegetação Arbórea	78,95	88,24	0,84
Rejeitos	94,44	89,47	0,86
Água	100,00	100,00	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Tabela 2 – Acurácia e valores de Kappa para cada classe – 01/02/2019.

Classes	Acurácia do Produtor (%)	Acurácia do Usuário (%)	Índice Kappa
Mineração/Solo Exposto	100,00	81,82	0,78
Área Urbana	90,00	100,00	1,00
Vegetação Rasteira	76,92	100,00	1,00
Vegetação Arbórea	100,00	92,31	0,90
Rejeitos	100,00	87,50	0,86
Água	100,00	100,00	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Analisando os valores de Kappa para cada uma das classes é possível observar que na imagem de 22 de janeiro de 2019 a classe que obteve menor índice Kappa na classificação foi Vegetação Rasteira, apresentando um valor de Kappa de 0,63, considerado Muito Bom, de acordo com Landis e Koch (1977). Já em 1º de fevereiro de 2019 a classe que obteve menor índice Kappa foi Mineração/Solo Exposto, apresentando um valor de Kappa de 0,78, também considerado Muito Bom segundo os mesmos autores.

As Tabelas 3 e 4 mostram os valores de acurácia total e índice Kappa geral para os dias 22 de janeiro de 2019 e 1º de fevereiro de 2019, respectivamente.

Tabela 3 – Precisão da classificação referente ao dia 22/01/2019.

Estatísticas Gerais	Valores
Exatidão Global	86,11%
Índice Kappa	0,83

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Tabela 4 – Precisão da classificação referente ao dia 01/02/2019.

Estatísticas Gerais	Valores
Exatidão Global	92,59%
Índice Kappa	0,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Analisando a validação dos resultados, conclui-se que ambas as classificações obtiveram um desempenho Excelente, conforme Landis e Koch (1977), devido ao fato de o índice Kappa ser superior a 0,8.

Conclusão

Através do processamento digital de imagens foi possível avaliar a extensão do desastre ambiental desde o local do rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho – MG até o rio Paraopeba, mostrando o quanto foi significativa a mudança na cobertura do solo.

A área afetada pelo desastre, desde a barragem até o rio Paraopeba, foi quantificada por detecção de mudança e pela classificação da imagem, em que a área quantificada na classificação obteve maior precisão quando comparada com estudos anteriores. O fato de a área quantificada na detecção de mudança não obter uma boa precisão pode ser explicado pela inserção de parâmetros pelo algoritmo do *software* ENVI 5.3 que visando isolar a área afetada a subestimou, considerando apenas as mudanças mais significativas.

Com a classificação supervisionada das imagens foi possível categorizar a cobertura de uso e ocupação do solo em seis tipos de classes: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Rejeitos, Mineração/Solo Exposto, Água e Área Urbana. Foi possível legitimar as classificações realizadas por meio da Exatidão Global e índice Kappa encontrados, mostrando que o desempenho do classificador foi excelente. Por meio da classificação de imagens também foi possível comprovar e quantificar a grande devastação ocasionada pelo rompimento da barragem.

Sugere-se para trabalhos futuros, a quantificação da área afetada desde a barragem até toda extensão do rio Paraopeba, a fim de avaliar a área total atingida pelo desastre.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS pelo suporte financeiro concedido.

Spatial and temporal analysis of the collapse of the tailings dam in Brumadinho, Brazil

Abstract

Mining is an important economic activity in the world. Mining activities are known for their high environmental impacts. Considering the high magnitude of some operations and amounts of tailings produced, the mining activity has represented a risk for several regions and populations, which can be affected by accidents and inefficient disposal and monitoring systems. Remote sensing has been frequently used to map areas that are large or difficult to access; it enables the obtaining of information on objects or phenomena on the Earth's surface without requiring physical contact, making it an important source of data collection that can be used for several purposes. Images used in remote sensing provide a synoptic and multitemporal view of large areas and are an alternative for environmental studies. The objective of this work was to evaluate the extension of the area affected by the collapse of the tailings dam of the Vale S.A. company in the Córrego do Feijão stream mine, in the municipality of Brumadinho, state of Minas Gerais, Brazil, which occurred on January 25, 2019, causing an environmental impact that will last for many years. The dimension of this environmental impact was analyzed using imagery of the Planet's satellite constellation with spatial resolution of 3.0 meters. The methodology used was based on digital image processing, using the *PCI Geomatics* and *ENVI 5.3* software, which made possible the quantification of the affected area. Two different methods were used and the results were compared to those provided by the State Secretariat for Environment and Sustainable Development of Minas Gerais, Brazil. The results showed an affected area of 2.964096 km², from the Brumadinho dam to the Paraopeba River.

Keywords: Remote Sensing, Ambiental Impact, Digital Image Processing.

Referências

BNDES. **Desafios da mineração: desenvolvimento e inovação para redução dos impactos ambientais e sociais.** Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/inovacao-tecnologia-mineracao-metals>. Acesso em: 25 de nov.2019.

BRASIL. Decreto nº 88.351 de 23, de Janeiro de 1986. **Resolução CONAMA.** In: Diário Oficial da União. Brasília, 17 de jan. de 1986.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing.** New York: Ed. The Guilford Press, 1996. 622 p.

CONGALTON, R. G. **Uma revisão da avaliação da precisão das classificações de dados detectados remotamente.** *Sensoriamento remoto do ambiente*, 1991, v. 37, n.1, p.35-46.

DA SILVA, G. F, DE CARVALHO, M. V.A., CRUZ, C. B. M. Análise espaço-temporal do desastre ambiental em Mariana-MG a partir das geotecnologias. **Revista Continentes**, n. 13, p. 49-67, 2018.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 5755-5762, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FREITAS, C. M., SILVA, M. A., MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016.

LANDIS, J. R., KOCH, G. G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.

LATORRE JÚNIOR, M. O. A. C., CARVALHO, A. P. F., SHIMABUKURO, Y. E., Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Revista Espaço e Geografia**, v. 5, n. 1, 2010.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

PEREIRA, L. F., CRUZ, B. G., GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 2, p. 122-129, 2019.

SEMAD. **Nota de esclarecimento 7 – Desastre barragem B1**. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/3745-nota-de-esclarecimento-7-desastre-barragem-b1>. Acesso em: 23 de nov. 2019.

SINGH, A. (1989). Revise as técnicas de detecção de alterações digitais do artigo usando dados detectados remotamente. **Revista internacional de sensoriamento remoto**, v. 10, p.989-1003, 1989.

VASCONCELOS, C. H., NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.

Submetido em: 24 de setembro de 2019

Aceito em: 23 de março de 2020