



DETECÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS AFETADAS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM EM BRUMADINHO – MG

DETECTION AND DELIMITATION OF AREAS AFFECTED BY DAM BREAK IN BRUMADINHO – MG

Felipe Henrique Pires¹; Caroline Favoreto da Cunha¹; Gustavo Soldado Peres¹

Artigo recebido em: 09/02/2023 e aceito para publicação em: 12/06/2023.

DOI: <http://doi.org/10.14295/holos.v23i1.12486>

Resumo: Barragens de rejeito de minério são projetadas para conter e acumular substâncias líquidas e sólidos provenientes dos processos de beneficiamento de minério. Cerca de 49% das causas de rompimento de barragem nos últimos cem anos ocorrem devido à falhas (gerenciamento e estrutura) acelerado por processos exógenos. O rompimento da barragem no município de Brumadinho comportava os rejeitos da mina do Córrego do Feijão, cerca de 11,7 milhões de metros cúbicos. Devido ao desastre, o trabalho objetivou-se em delimitar a área atingida pela lama do rejeito com uso de sensoriamento remoto e comparar com outros métodos já aplicados na literatura. Desta forma, imagens do Sentinel-2 foram adquiridas para aplicar o método de Classificação Supervisionada a partir do software Spring 5.5.6, utilizando uma imagem anterior e posterior à tragédia (07/01/2019 e 01/02/2019). Já os métodos utilizados por outros autores foram: Classificação Supervisionada e Não Supervisionada, Índice NDVI, Razão Simples de Minerais Ferrosos e Argilominerais e por último, vetor. A aplicação da Classificação Supervisionada demonstrou-se eficaz ao separar os atributos da imagem, separando em áreas (vegetação, outros e área atingida) resultando em uma cobertura de 282 ha e em comparação com os outros métodos, as áreas cobertas pela lama variaram de 164,792 ha à 430,18 ha. Com isso, o estudo concluiu que os métodos de sensoriamento remoto são eficazes em delimitar áreas que sofreram impacto ambiental, sendo uma ferramenta de baixo custo.

Palabras-chave: Barragem. Áreas afetadas. Rompimento. Brumadinho – MG. Sentinel 2.

Abstract: Ore tailings dams are designed to contain and accumulate liquid and solid substances from ore beneficiation processes. About 49% of the causes of dam collapse in the last hundred years are due to failures (management and structure) accelerated by exogenous processes. The collapse of the dam in the municipality of Brumadinho contained the tailings from the Córrego do Feijão mine, about 11.7 million cubic meters. Due to the disaster, the study aimed to delimit the area affected by tailings mud using remote sensing and compare with other methods already applied in the literature. In this way, Sentinel-2 images were acquired to apply the Supervised Classification method from spring 5.5.6 software, using an image before and after the tragedy (01/07/2019 and 02/01/2019). The methods used by other authors were: Supervised and Unsupervised Classification, NDVI Index, Simple Ratio of Ferrous and Clay Minerals and finally, vector. The application of the Supervised Classification proved effective in separating the image attributes, separating into areas (vegetation, others and affected area) resulting in a coverage of 282 ha and compared to the other methods, the areas covered by the mud ranged from

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Rio Claro, SP. E-mails: (felipe.pires@unesp.br, caroline.favoreto@unesp.br, soldado.peres@unesp.br)

164,792 ha to 430,18 ha. With this, the study concluded that remote sensing methods are effective in delimiting areas that have suffered environmental impact, being a low-cost tool.

Keywords: Tailings dams. Affected areas. Rupture. Brumadinho – MG. Sentinel 2.

1 INTRODUÇÃO

Barragens de minério são estruturas projetadas para a contenção e acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos provenientes dos processos para o beneficiamento de minérios (DNPM, 2017). Segundo dados da ANM 2021, o Brasil possui 878 barragens catalogadas, destas 436 registradas na Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, das quais, 51 estão com alto risco de rompimento.

Desastres envolvendo barragens tem sido objeto de estudo de diversos autores em diferentes contextos e localidades. Segundo Azam e Li (2010) e Wise Uranium Project (2019), 49% das causas de rompimento de barragem de rejeito, entre 1919 e 2019, resultaram de chuvas extremas, falhas no gerenciamento, instabilidade de encosta, subsidência da fundação, infiltração e defeitos estruturais. O rompimento de barragens resulta em drásticos danos à superfície (AIRES *et al.*, 2018) e geram grandes impactos em diversas áreas do meio ambiente, como contaminação do meio físico e biológico, alterações hidrológicas, sobrecarregando o curso dos rios e alterando a qualidade das águas, além dos problemas socioeconômicos e socioambientais, comprometendo a saúde e bem-estar das populações atingidas (FOLEY *et al.*, 2005).

Dessa forma, o rompimento da barragem de Brumadinho, objeto deste estudo, destaca-se como um grande desastre socioambiental ocorrido em território brasileiro. O rompimento da barragem ocorreu no dia 25 de janeiro de 2019 na cidade de Brumadinho, Minas Gerais. Construída sobre o Córrego do Feijão e administrada pela Vale, a barragem de Brumadinho apresentava 86 metros de altura e cerca de 720 metros comprimento, a barragem abrigava cerca de 11,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos da mina de ferro do Córrego do Feijão (VALE, 2019), que foram liberados no meio ambiente causando diversos danos ambientais e cerca de 270 mortes (PEREIRA *et al.*, 2019)

A utilização do Sensoriamento Remoto em análises e estudos sobre desastres ambientais está relacionada com a capacidade de aquisição dos dados de uma maneira mais rápida, o que permite avaliar de forma temporal os danos causados (BELLO; AINA, 2004), vale

ainda ressaltar que a aquisição de dados espectrais é feita de forma remota, dispensando a amostragem *in situ*, sendo tal fato relevante em análises de desastres ambientais de tamanha magnitude. A classificação multitemporal e detecção de mudanças da cobertura terrestre correspondem a técnicas direcionadas à análise de duas ou mais imagens de satélite, adquiridas nas mesmas coordenadas geográficas, em tempos distintos (SINGH, 1989). Adicionalmente, as técnicas de detecção de mudança podem ser divididas em duas categorias: supervisionadas e não supervisionadas. Essas denominações remetem a abordagens de aprendizado de máquina, empregados em classificação de imagens (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

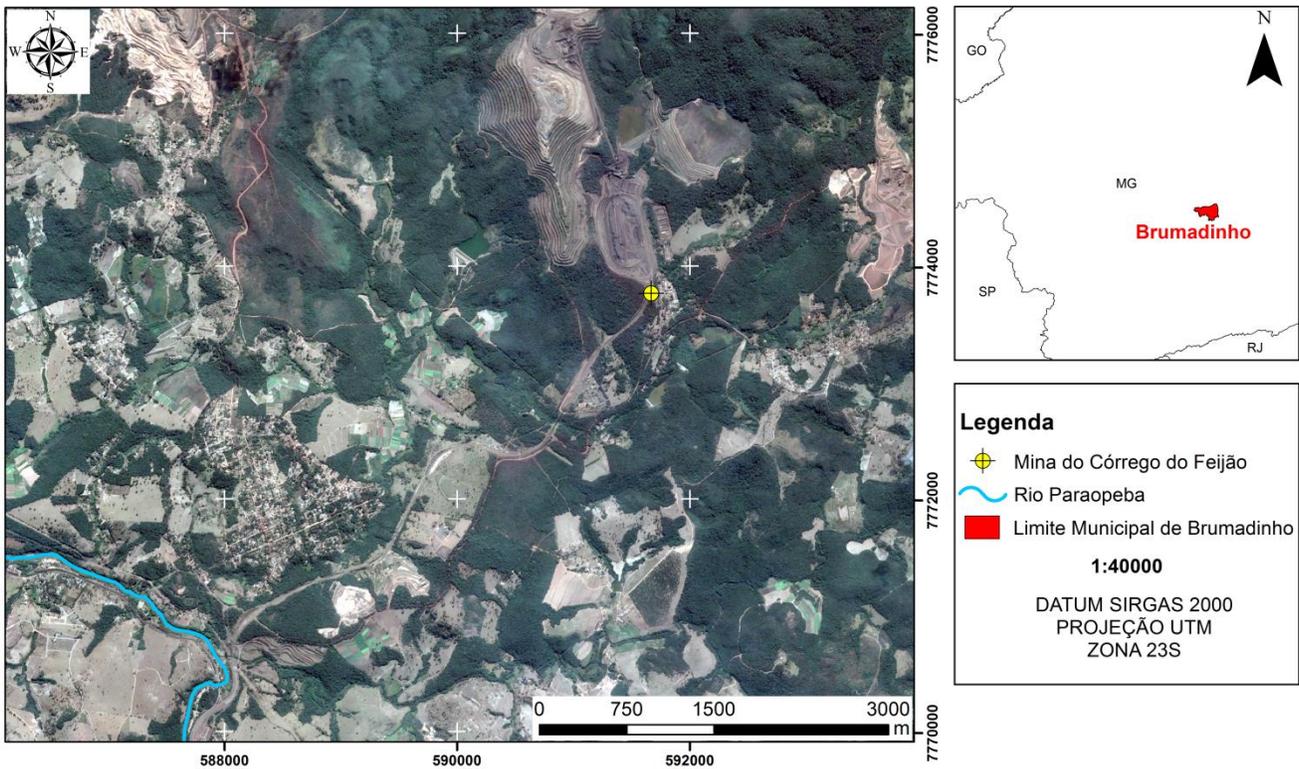
Objetivando reforçar a utilidade de métodos e técnicas de sensoriamento remoto como ferramenta de análise de baixo custo para a mensuração do avanço dos impactos em regiões afetadas por desastres ambientais como o de Brumadinho, aplicou-se a metodologia de classificação supervisionada pixel a pixel em composições espectrais de cor verdadeira (com realce de contraste Mínimo e Máximo) de diferentes períodos (07/01/2019 e 01/02/2019), através do software Spring 5.5.6 afim de demonstrar a região afetada pós rompimento.

Tais resultados foram comparados aos demais métodos de sensoriamento disponíveis na literatura, como NDVI, análise não supervisionada e técnicas de índice de Razão Simples, afim de demonstrar sua efetividade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada nos municípios de Brumadinho – MG, ao sul de Belo Horizonte, Sarzedo e Mário Campos (Figura 1), situada na porção meridional do Cráton São Francisco onde afloram rochas do Arqueano e Paleoproterozoico do Cinturão Mineiro, coberturas Paleoproterozoicas do Supergrupo São Francisco e cobertura Fanerozoica com camadas detríticas, aluviões e terraços fluviais (TULLER *et al.*, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização da Barragem I da Mina do Córrego do Feijão.



2.1 Aquisição de Imagens Sensoriais

A metodologia empregada no presente estudo, realce de contraste espectral e classificação supervisionada, foi aplicada nos dados espectrais do Satélite Sentinel 2 (tabela 1), compostas por 13 bandas espectrais de alta e média resolução, de resolução radiométrica de 12 bits e capacidade de resolução temporal de 5 a 10 dias.

Foram selecionadas 2 imagens que compreendem o período de 07 de janeiro e 01 de fevereiro de 2019, obtidas através do *United States Geological Survey* - USGS. A escolha das imagens se pauta nos períodos anteriores e posteriores ao desastre, bem como a ausência de ruídos atmosféricos como nuvens.

Tabela 1 – Relações de resolução espacial, bandas e comprimentos de onda do Satélite Sentinel-2.

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nm)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (azul)	490	Cor verdadeira RBG 04/03/02; Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (verde)	560	
	B04	Red (vermelho)	665	
	B08	NIR (infravermelho próximo)	842	
	B05	Red Edge 1	705	
20 m	B06	Red Edge 2	740	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B07	Red Edge 3	78	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerosol	443	-----
	B09	Water vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

2.2 Análise Supervisionada

Os métodos anteriores à técnica de análise supervisionada se tornam eficazes pois melhoraram a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. Uma das técnicas possíveis nesta etapa, e utilizada neste trabalho, é de realce de contraste, aplicados na composição de bandas de cor verdadeira (RGB, B04 (R), B03 (G) e B02 (B)). O contraste entre dois objetos pode ser definido como a razão entre seus níveis de cinza médios e sua manipulação consiste numa transferência radiométrica em cada pixel, com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre dois objetos presentes na imagem. Para tal utilizou-se o realce mínimo e máximo.

A análise supervisionada, consiste em um processo de classificação, que pode ser definida como a extração de informações de imagens com o objetivo de reconhecimento de padrões e objetos homogêneos em imagens tendo como produto o mapeamento da superfície terrestre. Em uma imagem espectral cada pixel apresenta coordenadas x e y e uma espectral L que equivale a radiância do alvo em todas as bandas espectrais, no caso do satélite Sentinel 2 existem 13 valores associados a cada pixel de uma imagem referente as 13 bandas espectrais.

Os classificadores podem ser divididos em pixel a pixel e por regiões. Enquanto, o primeiro leva em consideração apenas as informações espectrais de cada pixel para encontrar as regiões homogêneas da imagem, o segunda utiliza as informações de cada pixel e sua interação em relação aos seus vizinhos. O resultado da classificação é apresentado por meio de classes espectrais que possuem características espectrais semelhantes representados por um conjunto de pixels que são representados por classes de cores reduzidas.

Inicia-se a classificação supervisionada a partir do treinamento, que consiste no reconhecimento da assinatura espectral presentes em uma imagem. O treinamento pode ser feito de duas maneiras através da análise supervisionada, a primeira baseia-se em porções da imagem em que o usuário dispõe de pontos de interesse e visivelmente distinguíveis ao olho humano, a segunda, denominada classificação não-supervisionada, se baseia em algoritmos matemáticos.

A classificação supervisionada aplicada neste estudo foi feita a partir do método pixel a pixel. O resultado desta foi pós-classificado, aplicando-se uma uniformização com base nos temas obtidos onde o ponto central de uma matriz 3x3 é modificado com base em seus pixels vizinhos.

2.3 Comparação com diferentes trabalhos

A classificação supervisionada obtida no presente trabalho foi comparada com outras diferentes metodologias aplicadas nos trabalhos. Para os trabalhos consultados, levou-se em consideração a metodologia NDVI proposta por Rouse *et al.* (1973) aplicada por Dutra & Elmiro (2020), o método de análise não supervisionada aplicado por Oliveira *et al.* (2020) e a aplicação da técnica de Índice de Razão Simples no realce de argilominerais e ferro através de composição B6, B7 e B4, B2 respectivamente como proposta de Ducart *et al.* (2016) e aplicado em Lucchetta e Oliveira (2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da composição RGB verdadeira do satélite Sentinel 2 e da classificação supervisionada é possível identificar os alvos de interesse, classificados da seguinte forma:

- Área da mineração: cor amarela (Figura 2);
- Área afetada: cor amarela (Figura 3);
- Vegetação: cor verde (Figura 2 e 3);
- Urbanização e outros: cor roxa (Figura 2 e 3).

Os 11,7 milhões de metros cúbicos de rejeito, segundo dados da Vale (2019), estavam contidos em uma área de aproximadamente 0,0249 ha, a análise supervisionada obtida para a data de 7 de janeiro de 2019, evidencia em amarelo a área referente aos rejeitos contidos na barragem do Feijão (Figura 2). Após a delimitação da área atingida no dia 01 de fevereiro, sete dias após o rompimento, constatou-se que a área afetada foi de 282 ha (Figura 3), um aumento de mais de 90% em área em relação à área inicial.

É importante ressaltar que os produtos da classificação supervisionada, depende quase exclusivamente da resolução espacial das bandas analisadas, método utilizado e minuciosidade do treinamento dos dados de entrada. Dessa forma, os resultados podem apresentar pequenas inconsistências, que podem ser corrigidas em grande parte com as técnicas de pós-processamento como as utilizadas e oferecidas pelo Spring, não impactando no resultado final. Vale destacar que mesmo nas imagens pós processadas alguns ruídos permanecem em escala irrelevante, como apresentando em pequenas porções localizadas na classe em amarelo (Figura 2 e 3).

Figura 2 - Imagem RGB à esquerda e classificação supervisionada da área à direita do dia 07 de janeiro de 2019

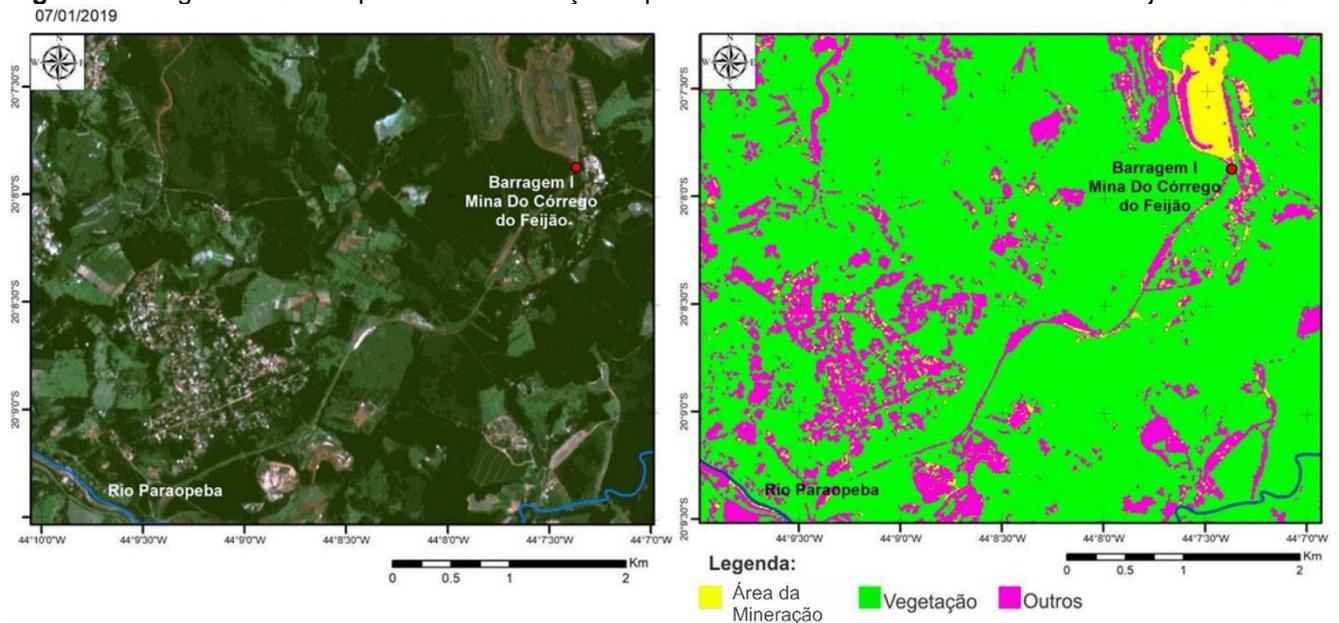
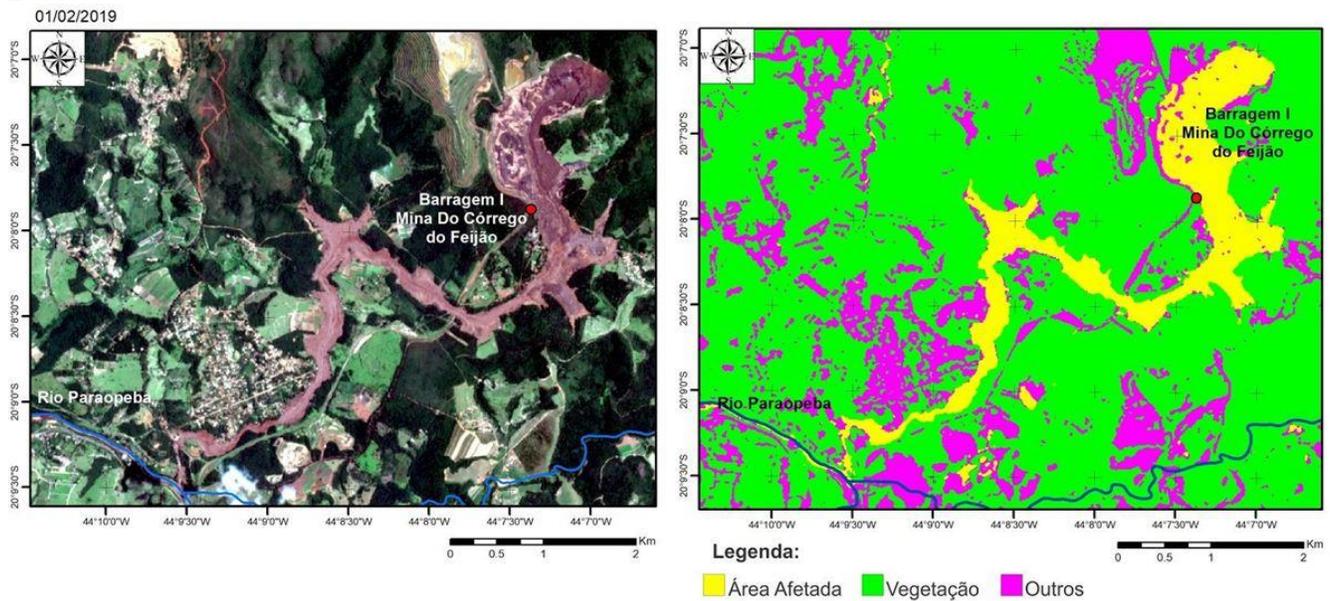


Figura 3 - Imagem RGB à esquerda e a classificação supervisionada da área à direita do dia 01 de fevereiro de 2019



Os resultados apresentados por Dutra e Elmiro (2020), utilizando também imagens espectrais do Sentinel 2 a partir da metodologia NDVI (Figura 4A), para as datas de 22/01/2019 (antes do rompimento) e 01/02/2019 (posterior a rompimento) foram replicados também por Lucchetta e Oliveira (2020) através da metodologia NDVI e pelo método de Índice de Razão Simples (Figura 4C), o método foi aplicado em argilominerais e minerais ferrosos. Outros autores como Oliveiras et al. (2020) apresentam os resultados a partir da análise não-supervisionada (Figura 4B).

A diferença de métodos apresentados aqui e pelos citados autores bem como seus resultados, softwares utilizados e os dados oficiais disponíveis pelo IBGE (2019) estão sucintamente organizados na tabela 2.

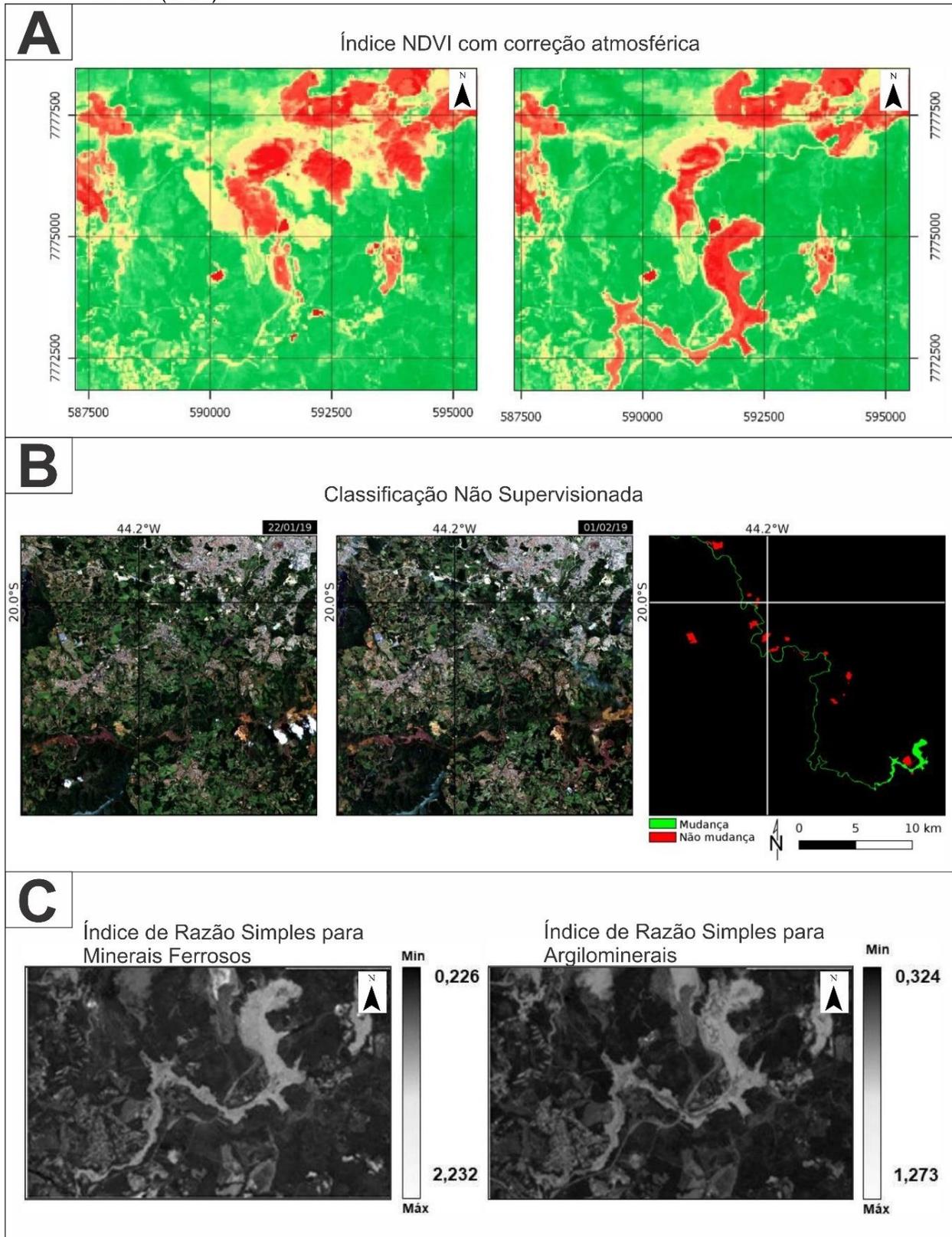
Tabela 2 – Quadro comparativo de áreas calculadas com a utilização de métodos de sensoriamento remoto aplicados na delimitação do desastre de Brumadinho

Método	Autores	Software	Área afetada (ha)
NDVI	Lucchetta e Oliveira (2020) /	QGIS	282,49
Não Supervisionada	Oliveira <i>et al.</i> (2020)	ENVI e QGIS	560
Supervisionada	Lacerda e Simões (2020)	Envi 5.3; QGIS e PCI Geomatica	164,792
	Presente trabalho	Spring 5.6.6; ArcGis	282
Razão Simples - Minerais Ferrosos	Lucchetta e Oliveira (2020)	QGIS	286,55
Razão Simples - Argilominerais	Lucchetta e Oliveira (2020)	QGIS	430,18
Vetor	IBGE (2019)	-----	298,55

Com base na Tabela 2, nota-se a proximidade resultados das áreas afetadas para os métodos NDVI, Razão Simples – Minerais Ferrosos, e o de Análise Supervisionada aqui apresentado e os dados publicados pelo IBGE (2019), que quando comparados variam de 4% a 6%. Os métodos de análise Não Supervisionada e Razão Simples - Argilominerais, se diferem bastante dos demais resultados, isso se deve pela baixa precisão do primeiro método e alta presença de argilominerais em toda a região estudada.

Os resultados apresentados pela Análise Supervisionada de Lacerda e Simões (2020) se diferem em mais de 120 ha se comparado aos aqui apresentados, diferença dada pelos diferentes softwares utilizados.

Figura 4 - A) Índice NDVI proposto por Dutra & Elmiro (2020); **B)** Análise Não Supervisionada proposta por Oliveira et al (2020); **C)** Índice de razão simples aplicados a minerais ferrosos e argilominerais propostas por Lucchetta & Oliveira (2020).



4 CONCLUSÃO

A delimitação e mensuração da superfície terrestre através de Sensoriamento remoto vem se tornando cada vez mais precisa com o avanço de tecnologias de aquisição de dados espectrais. A análise de desastres ambientais por métodos de sensoriamento remoto, se põe como ótima ferramenta de baixo custo e fácil acesso diversas áreas do planeta. O desastre ocorrido na Barragem I da Mina do Córrego do Feijão, é mais um exemplo de situações em que estas metodologias podem ser aplicadas.

A área afetada obtida a partir da classificação supervisionada aqui apresentada, possui área semelhante a obtida por outros autores e pelo IBGE (2019), demonstrando que a análise supervisionada quando bem empregada é uma ferramenta muito útil na análise de superfícies. O tratamento prévio das bandas espectrais e composições coloridas é de suma importância para a melhora do desempenho e resultado.

A aquisição de imagens com boa resolução espacial de forma gratuita torna os métodos de sensoriamento remoto ainda mais atraentes além das infinitas aplicabilidades como uso e ocupação do solo, delimitação de corpos d'água, análise de qualidade de vegetação, mapeamento de áreas afetadas por queimadas, entre outros.

Os dados aqui apresentados se encontram dentro de um limite próximo, não ocorrendo uma grande variação entre as áreas calculadas comparado os dados da mesma localidade apresentados por outros autores e métodos e pelo IBGE (2019).

REFERÊNCIAS

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land Use Policy**, v. 70, p. 63-70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.026>

AZAM, S. & LI, Q. Tailing Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years. **Waste Geotechnical News**, v. 28, n.4, p. 50 – 53, 2010.

ANM. **Classificação de Barragens de Mineração**. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/planode-seguranca-de-barragens>. Acesso em: 15 nov. . 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou

temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2010.

BELLO, O. M.; AINA, Y. A. Satellite Remote Sensing as a Tool in Disaster Management and Sustainable Development: Towards a Synergistic Approach. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 120, p. 365–373, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.114>

CELIK, T. Unsupervised change detection in satellite images using principal component analysis and k-means clustering. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 2009.

DA SILVA, G.J.F. & ALMEIDA, N.V. Degradação ambiental no município de Parari-PB: uma análise por meio de sensoriamento remoto. **Revista Geografar**, v. 10, n. 2, p. 140-164, 2016. <https://doi.org/10.5380/geografar.v10i2.37285>

DUCART, D. F.; SILVA, A. M.; TOLEDO, C.L.B.; ASSIS, L.M.D. Mapping iron oxides with Landsat – 8/OLI and EO – I/Hyperion imagery from the Serra Norte iron deposits in the Carajás Mineral Province, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 3, p. 331 – 349, 2016. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160023>

DUTRA, D. J.; ELMIRO, A. T. Avaliação de índices espectrais obtidos com imagens Sentinel – 2 e LandSat 8 antes e após rompimento da Barragem da Mina do Feijão, Brumadinho – MG. **Revista Geociências**, v. 39, n. 2, p. 517 – 523, 2020. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i2.14394>

DNPM. **Portaria Nº 70.389 de 11 de fevereiro de 2021**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2017.

ERAZO LOZANO, A. F. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica**. Dissertação de mestrado. USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. 2006.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.T.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. CO.; RAMAKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Elsevier, v. 116, p. 55 – 72, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>

IBGE. **Informações complementares para a região de Brumadinho - MG - 19fev2019**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/np_download/novoportal/extras/Informacoes_complementares_Brumadinho_18fev2019.pdf. Acesso: 23 nov. 2020.

ICOLD – International Commission on Large Dams. Tailing dams risk of dangerous occurrences: lessons learnt from practical experiences. **Bulletin**, p.121 - 144. Paris, 2001.

- LAURINO, B. I.; PRETO, C. T. de J. O.; FERREIRA JUNIOR, C. do P. Análise do acidente em Brumadinho/Minas Gerais: Utilização de rejeitos de barragens na construção civil. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 231, 2020. <https://doi.org/10.31415/bjns.v3i1.86>
- LEOPOLDINO, J. C.; ANJOS, C. S.; SIMÕES, D. P.; FERNANDES, L. F. R. Spatial and temporal analysis of the collapse of the tailings dam in Brumadinho, Brazil. **Revista Agrogeoambiental**, v. 12, n. 3, 2020. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v12n320201483>
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc., p. 708, 1994.
- LUCCHETTA, B. C. & OLIVEIRA, F. S. **Uso de imagens OLI-LandSat 8 no estudo de desastres ambientais**: estudo de caso do rompimento da Barragem em Brumadinho/MG. Trabalho de Conclusão de Curso. UNESP – Presidente Prudente, p. 64, 2020.
- MARSHALL, J. Rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil e no Canadá: uma análise do comportamento corporativo. **Caderno Eletrônico de Ciências Sociais**, v. 5, n.1, p. 27- 46, 2017. <https://doi.org/10.24305/cadecs.v5i1.2017.17793>
- MEHARG, A. A.; OSBORN, D.; PAIN, D. J.; SÁNCHEZ, A.; NAVESO, M. A. Contamination of DonAana food-chains after the Aznalcóllar mine disaster. **Environmental Pollution**, v. 105, n. 3, p. 387 – 390, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00033-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00033-0)
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- OLIVEIRA, L. V.; NEGRI, R. G.; SANTOS, L. N. 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, 2020. <https://doi.org/10.14393/rbcv72n1-51447>
- PEREIRA, L. F.; CRUZ, G. de B.; 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. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.2.2019.2373.122-129>
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In*: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, 1973. [Anais...].
- SINGH, A. Review Article: Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989 – 1003, 1989. <https://doi.org/10.1080/01431168908903939>
- SOARES, L. **Barragem de rejeitos**. livro tratamento de minérios. 5. ed. CETEM (Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia). COPM (Coordenação de Processos Mineraiis), 2010. Capítulo 19, p. 831–896.
- TULLER, M. P.; RIBEIRO, J. H.; SIGNORELLI, N.; FÉBOLI, W. L.; PINHO, J. M. M. **Projeto Sete Lagoas**. Abaeté, 2010.

VALE. **Brumadinho**. Disponível em: <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/Brumadinho.aspx>. Acesso em: 19 nov. 2020.

VANDEN BERGHE, J. F.; BALLARD, J. C.; WINTGENS, J. F.; LIST, B. Geotechnical risks related to tailings dam operations. **Tailings and Mine Waste Conference**. p. 11, Vancouver, 2011.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Brumadinho**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30494/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Brumadinho-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 19 nov. 2020.

WISE URANIUM PROJECT. **Chronology of major tailings dam failures**. Disponível em: <https://www.wise-uranium.org/mdaf.html>. . Acesso em: 01 jun. 2023.