



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Análise espacial integrada de deslocamentos superficiais: estudo de caso da Mina de Gongo Soco

Gabriel Galdino de Magalhães

Monografia da disciplina de Introdução
ao Geoprocessamento do Curso de
Pós-Graduação em Sensoriamento
Remoto, ministrada pela Dr. Silvana
Amaral e Dr. Marcos Adami.

INPE
São José dos Campos
2023

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2-1 – Localização da cidade de Barão de Cocais	2

LISTA DE TABELAS

Pág.

Lista de Tabelas

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 ÁREA DE ESTUDO	2
3 METODOLOGIA	3
4 BASES DE DADOS	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento e vigilância geotécnica de taludes de cavas de mineração são indispensáveis para garantia da continuidade operacional segura, ambientalmente correta e com respeito às comunidades adjacentes às áreas de mineração.

Planos de monitoramento robustos contam com uma diversidade de recursos tecnológicos, conhecimentos de contexto e ações de resposta (EBERHARDT *et al.*, 2020). Esse conjunto tem por finalidade última dirimir impactos ambientais e danos à vida humana em casos de eventos materiais indesejados (ICMM, 2015).

Dentre todo o espectro de recursos tecnológicos aplicáveis a esse contexto, a interferometria de imagens de RADAR orbital (A-DInSAR) destaca-se por permitir uma visão sinóptica dos deslocamentos superficiais, com capacidade de atingir precisão milimétrica (HARTWIG, 2014). Esse conjunto de características implica em grande aplicabilidade da técnica ao contexto de gestão de riscos geotécnicos em cavas de mineração.

No entanto, a compreensão do comportamento geomecânico de taludes deve levar em consideração uma abordagem holística de condições físicas que podem ser gatilho ou mesmo suporte na ocorrência de eventos de falha – e.g. episódios de chuva intensa (CARLÀ *et al.*, 2018) e as condições litoestruturais da área de estudo (FARINA *et al.*, 2020).

Além disso, conhecidas as eventuais limitações da técnica A-DInSAR na identificação preventiva de movimentos de massa (MORETTO, 2021) se faz necessário, sob determinadas condições, a integração com outros sistemas de monitoramento (OSASAN & AFENI, 2010; CARLÀ *et al.*, 2018). Nesse caso, a aplicação de recursos de geoestatística e análise espacial de dados são ferramentas capazes de orientar uma tomada de decisão mais assertiva acerca da caracterização do perigo geotécnico em cavas de mineração.

Diante disso, a presente monografia tem por finalidade o desenvolvimento de uma análise exploratória com base em parâmetros espaço-temporais dos dados de monitoramento A-DInSAR. Para tal serão aplicadas técnicas de geoestatística

com fins de suportar o entendimento dos deslocamentos superficiais estimados ao longo da cava de Gongo Soco. Espera-se que os resultados alcançados auxiliem na construção de percepções preliminares e orientadas a dados que subsidiem a proposta final de dissertação do mestrado.

2 ÁREA DE ESTUDO

A mina de Gongo Soco, localizada na cidade de Barão de Cocais (Minas Gerais), à leste de Caeté e a aproximadamente 70km de Belo Horizonte (Figura 1), remonta seu histórico de exploração mineral aurífera ao século XIX (ALVES, 2014). Em 2019 a mina teve grande atenção da mídia, decorrente da expectativa de ruptura do talude norte da cava e seu potencial de gatilho à falha da barragem Sul Superior (OLIVEIRA, 2019)¹.

Figura 2-1 – Localização da cidade de Barão de Cocais e apresentação da cava da mina de Gongo Soco.



Geologicamente, a área de estudo situa-se no contexto do Quadrilátero Ferrífero. Entre as unidades litoestratigráficas descritas destacam-se rochas do

¹ Existe a expectativa que a ruptura do talude e movimentação de massa associada gere vibrações capazes de engatilhar aumentos de poro-pressão no maciço da barragem e consequente ruptura por liquefação dinâmica.

grupo Nova Lima (metavulcanossedimentares); rochas metamáficas da suíte Catas Altas da Noruega justapostas a litologias das Formações Batatal e Moeda (Grupo Caraça). Ainda são descritas rochas pertencentes ao Grupo Itabira, Formações Cauê (principal litologia do minério de ferro explorado) e Gandarela (Endo *et al.*, 2020).

3 METODOLOGIA

A metodologia será pautada por quatro fases essenciais: escolha da série temporal InSAR e base geológica; preparação e estruturação geoespacial das bases de dados; análise geoestatística para comparação de produtos; análise integrada e conclusões.

a. Série temporal e geologia local

A etapa será conduzida pela seleção da base de mapeamento geológico e escolha de uma série temporal de referência do InSAR;

b. Estruturação da base de dados

Etapa caracterizada pela sistematização de todas as bases de referência em um mesmo sistema de referência espacial e pela inserção de rótulos das unidades litoestratigráficas em cada *Persistent Scatter* referente ao monitoramento InSAR.

c. Análise geoespacial de velocidades

As distribuições de velocidade média de deslocamento serão avaliadas de forma agrupada por litotipo da mina. Além disso, os dados serão interpolados e clusterizados. Espera-se que os produtos gerem percepções acerca do comportamento geomecânico dos taludes da mina, sua relação com diferentes litotipos e a extensão espacial das diferentes direções de movimentação experimentadas na cava.

d. Análise integrada e conclusões

Integração dos produtos e resultados e construção das conclusões do estudo.

4 BASES DE DADOS

Para o estudo serão contempladas as seguintes bases de dados:

- Pontos de velocidade média InSAR, produto da interferometria de imagens complexas de RADAR. Dados da constelação COSMO Sky-Med, resolução espacial de 3m adequada à precisão esperada para a escala do objeto de estudo (bermas e taludes de ordem métrica);
- Dados topográficos (modelo digital de superfície) coletados por VANT, resolução de 0,5m;
- Mapeamento geológico do Quadrilátero Ferrífero (Endo *et al.*, 2020);

Todo o estudo foi conduzido adotando-se por referência o Datum SIRGAS 2000 (UTM – Zona 23S).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. B. Ernst Hasenclever em Gongo-Soco: exploração inglesa nas minas de ouro em Minas Gerais no século XIX. **Dossiê Brasil no Contexto Global, 1870-1945**: História, Ciência, Saúde – Manguinhos. p. 281-298, Mar 2014.

CARLÀ, T.; FARINA, P.; INTRIERI, E.; KETIZMEN, H.; CASAGLI, N. Integration of ground-based radar and satellite InSAR data for the analysis of an unexpected slope failure in an open-pit mine. **Engineering Geology**, v. 235, p. 39-52, Jan 2018.

EBERHARDT, E.; NESS, M.; NOON, D.; SCHWARZ, E.; STACEY, P. Overview of slope monitoring. In: SHARON, R.; EBERHARDT, E. (Ed.). **Guidelines for Slope Performance Monitoring**. 1. ed. CRC Press, 2020. Cap. 2, 330 p. ISBN-10: 0367509199.

ENDO, I.; CASTRO, P. T. A.; GANDINI, A. L. **Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. 1 ed. 3i Editora, 2020.

FARINA, P.; BARDI, F.; LOMBARDI, L.; GIGLI, G. Combining structural data with monitoring data in open pit mines to interpret the failure mechanism and calibrate radar alarms. In: SLOPE STABILITY 2020. **Proceedings of the 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering**. Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2020. p.523-534.

HARTWIG, M. E. **Monitoramento de taludes de mineração por interferometria diferencial com dados Terrasar-x na Amazônia: mina de N4W, Serra de Carajás, Pará, Brasil**. 2014. 232 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.14.18.49-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G5LJSS>> Acesso em: 11 mar. 2023.

International Council of Mining and Metals (ICMM). **Health and safety critical control management: good practice guide**. London (UK): ICMM. 2015. 30 p. ISBN: 978-1-909434-13-4.

MORETTO, S.; BOZZANO, F.; MAZZANTI, P. The Role of Satellite InSAR for Landslide Forecasting: Limitations and Openings. **Remote Sensing**, v. 13, no. 18:3735, Set 2021.

OLIVEIRA, J. **Estado de Minas**. Deslocamento no talude da mina Gongo Soco aumenta para 19 centímetros. Belo Horizonte, 25 de mai. 2019. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/05/25/interna_gerais,1056625/>

deslocamento-no-talude-da-mina-de-gongo-soco-aumenta-para-19-centimetr.shtml> Acesso em: 19 mar. 2023.

PARADELLA, W. R.; MURA, J. C.; GAMA, F. F. Utilizando fase e a amplitude em medidas de deformação In: _____ (Ed.). **Monitoramento DInSAR para Mineração e Geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. Cap. 4, p. 60-93.

OSASAN, K. S.; AFENI, T. B. Review of surface mine slope monitoring techniques. **Journal of Mining Science**, v. 46, p.177–186, Jun 2010.