

# Análise espacial e integrada de deslocamentos superficiais: estudo de caso da Cava de Gongo Soco

(título provisório)

**Discente:** Gabriel Galdino de Magalhães

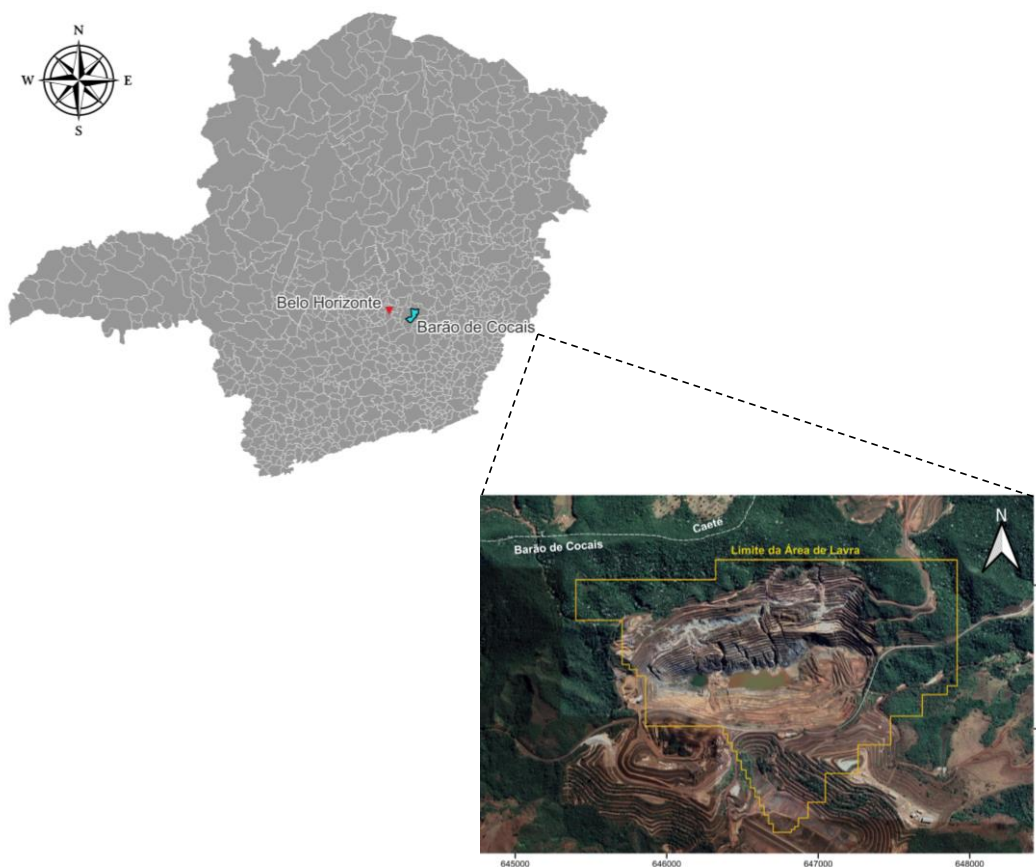
**Orientadores:** Dr. José Cláudio Mura, Dr. Fábio Furlan Gama

Monografia avaliativa da disciplina Introdução ao Geoprocessamento, 2023.

## **Projeto de Pesquisa**

A mina de Gongo Soco, localizada na cidade de Barão de Cocais (Minas Gerais), a 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).

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





Nesse contexto, 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 se mostram como ferramentas capazes de orientar uma tomada de decisão mais assertiva.

Diante disso, a presente monografia tem por finalidade a aplicação de conceitos de geoprocessamento na integração de bases de dados espaciais referentes à cava da mina de Gongo Soco. Busca-se a associação de dados de monitoramento A-DInSAR (*Persistent Scatters*) com informações de bases de dados disponíveis da área de interesse, entre elas o mapeamento geológico local e instrumentação de monitoramento geotécnico complementar (estações totais robotizadas e Radar Interferométrico Terrestre).



### *Relação da Pesquisa com Aulas Introdutórias*

As aulas introdutórias da disciplina foram base para a decisão acerca do tema, uma vez que elucidaram exemplos da aplicação de recursos de análises de dados, como exemplo geoestatística e clusterização de variáveis no suporte ao entendimento de fenômenos espaciais.

### **Planejamento Preliminar de Pesquisa:**

A concepção da estrutura final de metodologia será formalmente apresentada conforme evolução do trabalho. No presente momento, planeja-se executar a pesquisa atendendo às seguintes etapas:

#### *1. Revisão bibliográfica simplificada:*

A etapa será pautada pela revisão dos principais tópicos a serem tratados na monografia, em especial: monitoramento geotécnico de cavas de mineração (EBERHARDT *et al.*, 2020; CARLÀ *et al.*, 2018; OSASAN; AFENI, 2010); monitoramento geotécnico por interferometria de imagens de radar (HARTWIG, 2014; PARADELLA *et al.*, 2021); ferramentas de geoestatística para interpolação de dados espaciais;

#### *2. Definição das bases de dados:*

Escolha das séries temporais a serem tratadas e analisadas durante a pesquisa. Serão escolhidas séries temporais representativas da evolução geomecânica da cava, de forma a permitir a comparação espaço-temporal nas etapas subsequentes.

#### *3. Estruturação de dados:*

As bases de dados geoespaciais passarão por etapa de organização e preparação para análise; nessa etapa busca-se integrar as bases disponíveis em softwares de geoprocessamento (QGIS) e de visualização espacial tridimensional (LeapFrog Geo).

#### *4. Análise de qualidade:*

Alguns parâmetros do monitoramento InSAR podem ser utilizados para entendimento da qualidade dos dados, entre eles a coerência interferométrica e a recuperação de *persistent scatters*.

#### *5. Análise qualitativa da variação temporal da velocidade:*

A primeira etapa parte de abordagem tecnicamente mais simples, voltada à identificação visual das variações históricas na velocidade média de deslocamentos superficiais estimada para os principais taludes da cava.



6. *Análise geoestatística de velocidades médias:*

Será pautada pela aplicação de algoritmos de interpolação para comparação das variações de velocidade. Além disso, as velocidades serão avaliadas em relação aos litotipos mapeados na cava.

7. *Análise de clusterização de velocidades médias:*

Algoritmos de clusterização (*k-means*) será aplicado para caracterização de áreas de falha potencial.

8. *Integração com monitoramento complementar:*

Dados de monitoramento complementar (estações totais robotizadas) serão utilizadas para validação dos registros de deslocamentos. Nesse caso será avaliado se as condições geométricas permitem a integração consistente dos dados.

9. *Comparação de produtos e conclusões:*

Algoritmos de interpolação e clusterização espacial serão comparados e discutidos com finalidade de entendimento dos melhores recursos.



## Referências

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.

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](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.



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

**INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO - MONOGRAFIA**

---