



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

## **APRESENTAÇÃO DO CURSO**

**PMI3305 - Mecânica das Rochas Aplicada à Mineração I  
Prof. Eduardo César Sansone**

### **APRESENTAÇÃO**



#### **PROF. EDUARDO CÉSAR SANSONE**

**Engenheiro de Minas.**

**Engenheiro de Segurança do Trabalho.**

**Mestre e Doutor em Engenharia.**

**Engenheiro na Metso na área de britagem.**

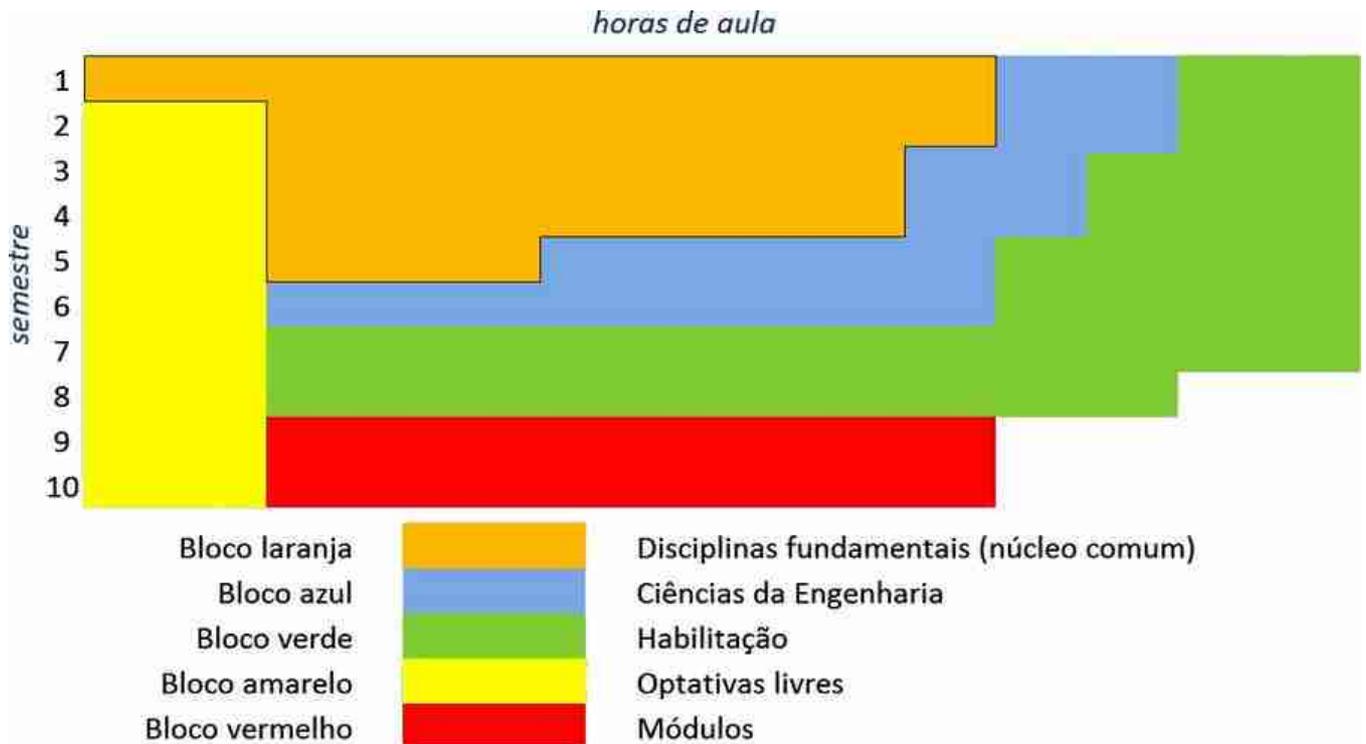
**Engenheiro na Sandvik na área de perfuratrizes e equipamentos para lavra.**

**Engenheiro da Escola Politécnica da USP.**

**Professor da Escola Politécnica da USP na área da Lavra de Minas e Petróleo.**

**Coordenador de Cursos de Graduação do PMI-EPUSP.**

**Professor do Pece na área da Engenharia de Segurança do Trabalho.**



## DISCIPLINAS MAIS DIRETAMENTE LIGADAS À FORMAÇÃO ESPECÍFICA DO ENGENHEIRO DE MINAS

### 1º SEMESTRE

PMI3102 - Introdução à Engenharia de Minas

PMI3103 - Matérias Primas Minerais

### 3º SEMESTRE

0440208 - Introdução à Geologia

### 4º SEMESTRE

GMG0207 - Introdução aos Minerais e Rochas

PMI3021 - Técnicas de Caracterização de Materiais

### 5º SEMESTRE

GMG0615 - Elementos de Geologia Estrutural

PMI3301 - Métodos de Lavra Subterrânea

PMI3305 - Mecânica das Rochas Aplicada à Mineração I

PMI3307 - Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais



## **TÓPICOS**

- Definição e aplicações da Mecânica das Rochas.
- Métodos de projeto.
- Comportamento das rochas fraturadas.
- Tensões e círculos de Mohr.
- Análise das tensões e deformações nos maciços rochosos.
- Estado plano e triplo de tensões.
- Estado de tensões naturais nos maciços rochosos.
- Determinação das tensões atuantes nos maciços rochosos.
- Comportamento mecânico das rochas - modelos reológicos.
- Propriedades mecânicas das rochas.
- Critérios de ruptura para rocha e para maciço rochoso.
- Comportamento das escavações subterrâneas.
- Concentração de tensões.
- Escavações circulares, retangulares e com outros formatos.
- Aberturas múltiplas.
- Dimensionamento de pilares em maciços rochosos.
- Classificações geomecânicas aplicadas aos maciços rochosos.

5

## **AVALIAÇÃO E MATERIAL DE AULA**



### **PROVAS**

**1ª Prova: 15/05/2023**

**2ª Prova: 03/07/2023**

**Prova Substitutiva: 10/07/2023 (apenas para a reposição de uma prova perdida)**

### **CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO**

**$MF = 0,5P + 0,5A$**

**Onde:**

**P = média das notas das provas**

**A = nota de atividades semanais e projetos**

**Será feito controle de frequência nas aulas.**

### **SITE DA DISCIPLINA**

**Arquivos de apresentações de aula, material de apoio, videoaulas, tarefas, projetos e avaliações estarão disponíveis na página do curso do eDisciplinas da USP.**

6



**Por que devemos estudar a Mecânica das Rochas?**

7

## **ACIDENTES NA MINERAÇÃO**



**Passagens do Livro "Germinal" de Emile Zola de 1885 que tem como foco a análise de questões sociais relacionadas à mineração de carvão no norte da França:**

**"Ao lado, havia uma galeria abandonada da Gaston-Marie, muito profunda, onde uma explosão de grisú, dez anos antes, incendiara o veio,..." "**  
**(Grisú: mistura explosiva de metano e oxigênio)**

**"O veio, no ponto em que se chegara, tinha uma temperatura média de quarenta e cinco graus."**

**"Mas a constante ameaça eram os desmoronamentos, já que, além da insuficiência do estaqueamento, sempre feito às pressas, o terreno, minado pela água, não era firme."**

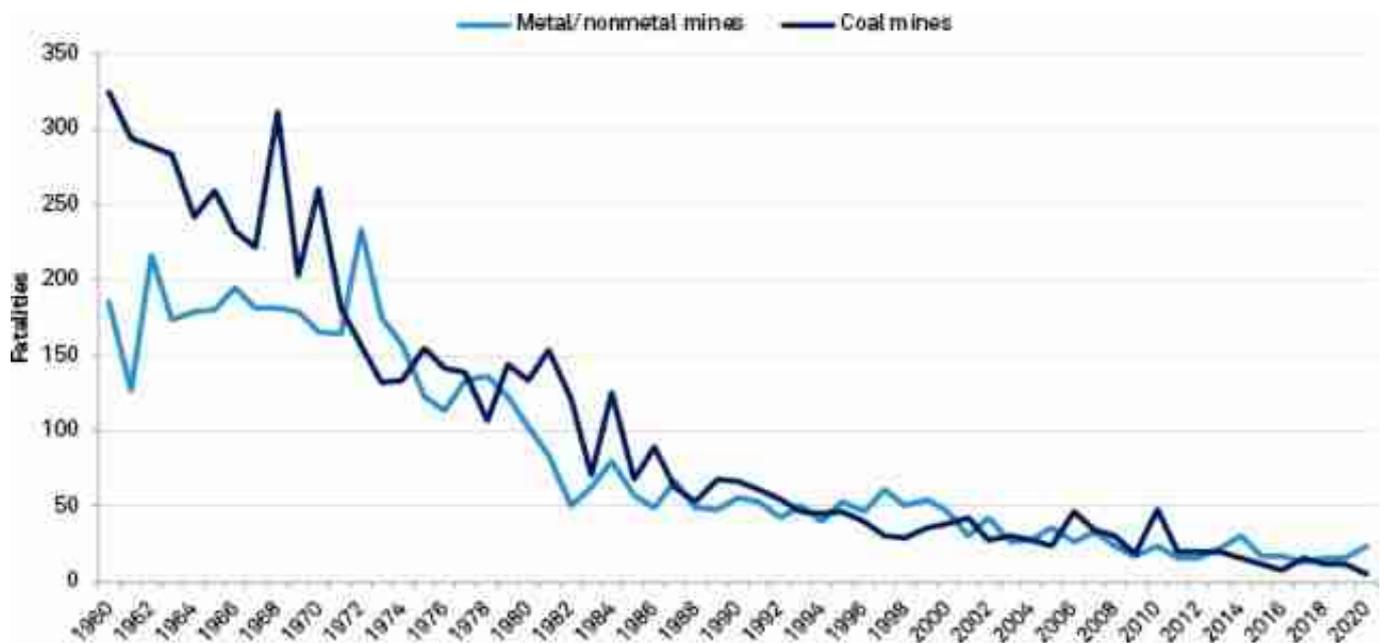
8



**Nos últimos 15 anos, cerca de 60.000 trabalhadores morreram no mundo em acidentes relacionados à mineração (a maior parte destes na China).**

**Segundo dados da Fundacentro (órgão federal de pesquisa na área da segurança e saúde dos trabalhadores), o trabalho de Extração Mineral e de Petróleo tem sido considerado como o 2º mais perigoso no Brasil no últimos anos.**

**1º lugar para a Construção Civil**



**Mortes de trabalhadores por ano na mineração nos EUA (1978-2018)**

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



Uma explosão em uma mina de carvão na comuna de Courrières, no norte da França, em 10 de março de 1906; matou ao menos dois terços dos trabalhadores em minas na época: 1099 pessoas, incluindo crianças. Os sobreviventes sofreram inúmeras queimaduras. Um grupo de 13 sobreviventes viveu 20 dias embaixo da terra, entre eles, três homens com menos de 18 anos. Até hoje, não se sabe o que provocou a explosão do pior acidente de mina da história da Europa.



Foto: AFP



11

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



O acidente na mina de carvão Senghennydd aconteceu em 14 de outubro de 1913, em uma época em que a exploração de carvão atingia seu auge no Reino Unido. 439 mineiros morreram em decorrência de uma explosão de metano, fazendo do desastre em Senghennydd o pior do Reino Unido durante uma época em que a segurança das minas britânicas era extremamente deficiente (entre 1850 e 1930).

Antes disso, em 25 de junho de 1894, 290 pessoas morreram em uma mina de Cilfynydd, Glamorgan, após uma explosão de gás.

Em 22 de setembro de 1934, o saldo de mortos em uma mina próxima a Wrexham, no País de Gales foi de 266.



12

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



13

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



14

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



15

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



16

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



Um incêndio na mina de carvão da cidade de Soma, a oeste da Turquia, matou 301 pessoas em 13 de maio de 2014.



FOTO: REUTERS

De acordo com um relatório inicial, o fogo pode ter sido provocado pelo aquecimento de carvão, após entrar em contato com o ar, descartando as suspeitas de que a explosão de um transformador tenha provocado o incêndio.

O acidente na mina de Soma foi o pior desastre do tipo na Turquia, país onde incidentes em minas costumam se repetir. Até então, o pior desastre da mineração turca era uma explosão de gás que, em 1992, matou 270 trabalhadores perto do porto de Zonguldak, no Mar Negro.

O incidente em Soma desencadeou inúmeros protestos em todo o país contra o primeiro-ministro turco Tayyip Erdogan, acusado de ter negligenciado a segurança dos trabalhadores.

17

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



Em 3 de outubro de 2007, 3.200 mineiros ficaram presos em uma mina de ouro na cidade de Elandsrand, situada em Witwatersrand, a maior reserva mundial de ouro. Um tubo teria caído no túnel da mina, comprometendo cabos de energia dos elevadores.



FOTO: AFP



De acordo com o Daily Mail, as minas de ouro da África do Sul são as mais profundas e perigosas do mundo. Muitas pessoas exploram minas de forma ilegal no país, vivendo de maneira perigosa e precária.

18



O acidente da mina de cobre e ouro San José, no Chile, em 5 de agosto de 2010 ficou marcado pela intensa cobertura da mídia, embora não tenha feito vítimas fatais.

**33**  
TRABALHADORES  
FICARAM SOTERRADOS  
A QUASE 690 METROS  
DE PROFUNDIDADE

CHILE

SAN JOSÉ  
SANTIAGO

Os mineiros recebiam água e alimentos por meio de um poço de alguns centímetros de diâmetro por mais de dois meses até serem resgatados por uma cápsula, que tinha a capacidade de abrigar apenas um trabalhador por vez.

O acidente na mina de San José é, até hoje, considerado o pior desse tipo no Chile e o maior resgate dessa natureza no mundo.

19



Em abril de 2010, 115 homens ficaram presos por oito dias em uma mina de carvão inundada na província de Sanxi, no norte da China.

CHINA

2010  
**115**  
MORTOS

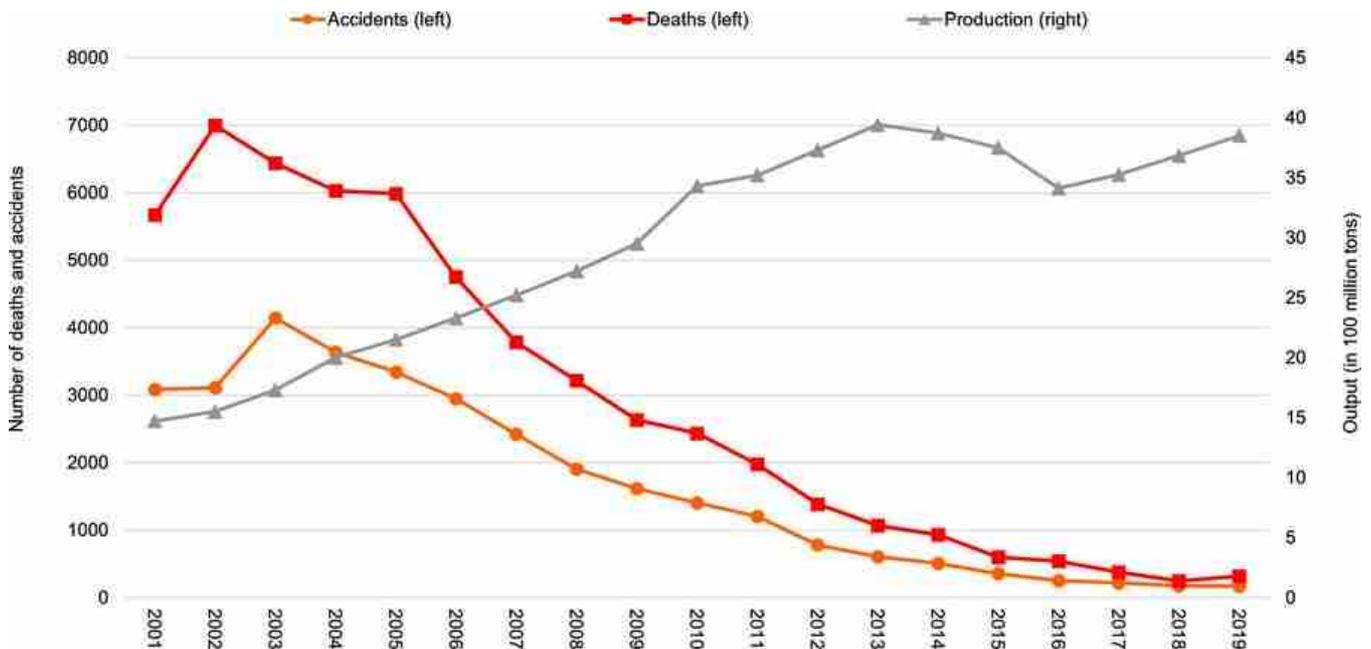
SANXI  
PEQUIM

Para não caírem na água enquanto dormiam, os mineiros se prenderam às paredes com seus cintos, e só foram encontrados porque mantiveram as luzes de seus capacetes acesas, em turnos. Os homens chegaram a comer pedaços de viga de madeira e beber água turva do local para se manterem vivos até o resgate.

20



Acidentes na mineração de carvão na China (2010)



Acidentes e mortes na mineração de carvão na China (2001-2019)

## ACIDENTES NA MINERAÇÃO - COLÔMBIA



**Em 14/03/2023 uma explosão em uma mina de carvão na cidade de Sutatausa, a cerca de 75 quilômetros ao norte de Bogotá, vitimou 21 trabalhadores.**

**Este foi um dos piores dos últimos anos na Colômbia, que registrou mais de 1.200 desastres deste tipo entre 2011 e 2022.**



23

## ACIDENTES NA MINERAÇÃO - BRASIL



**Em 1984 uma violenta explosão matou 31 operários na mina da antiga Companhia Carbonífera Urussanga em Urussanga, SC.**



**Foto de jornal da época**

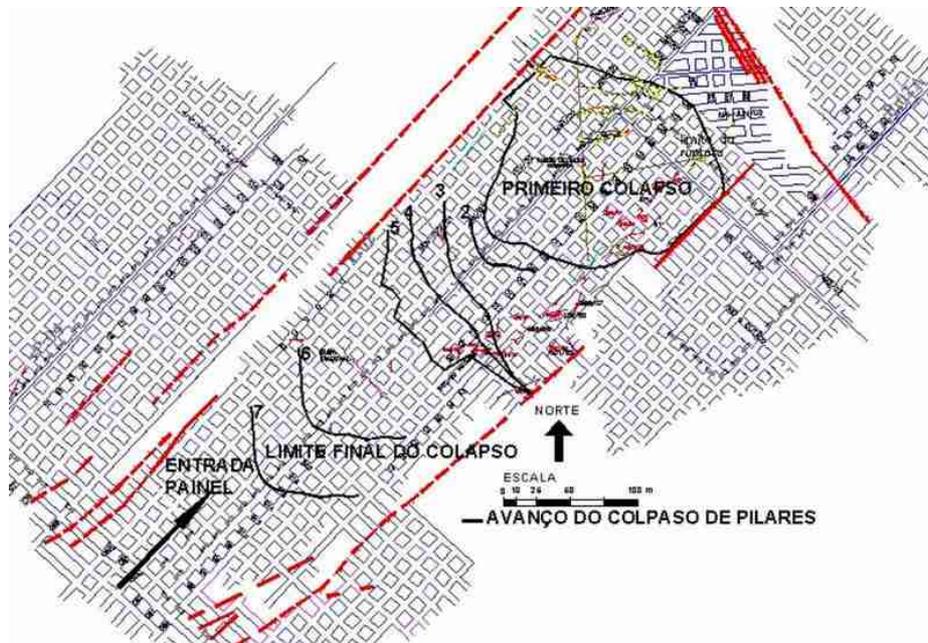
24



Em um acidente na mina de Barro Branco (a 30 km de Criciúma, SC) em 2003, cerca de 100 pilares sofreram ruptura em menos de 3h.

Mais de 700 pilares romperam em 6 semanas em um efeito dominó com a ocorrência de 1 morte.

Todo o painel foi colapsado e, posteriormente, a mina foi fechada por problemas de segurança devido aos efeitos causados na mina toda.



25



Dois trabalhadores morreram em um acidente em 2013 na mina subterrânea de ouro da empresa canadense Yamana Gold em Jacobina, Ba. O teto da mina desabou por meio do deslocamento de blocos de rocha.

Dois trabalhadores morreram na queda de um bloco de aproximadamente 2 ton após um fogo em 22/02/2018 na mina subterrânea de scheelita da empresa Bodó Mineração (Brazil Tungsten Ltd.) em Bodó, Rn.

Um trabalhador morreu na queda de um bloco em uma galeria localizada a 86 m de profundidade em 13/02/2020 na mina subterrânea de esmeraldas da empresa G44 Mineração em Campos Verdes, Go.

Um trabalhador da mineradora AngloGold morreu em 16/02/2021 após uma pedra cair sobre ele enquanto trabalhava, em Crixás, no norte de Goiás.

Cinco garimpeiros foram soterrados em uma galeria da mina de ouro Jacobina, da Yamana Gold em 23/01/2023. As vítimas não tinham relação com a mineradora e teriam invadido a área da operação na esperança de encontrar o metal.

26



**Ruptura do talude da pedreira Max Brita, em Santos, no dia 12/04/2011 com 2 vítimas fatais.**



27



28



**Um trabalhador morreu no desmoronamento de um talude quando operava uma retroescavadeira na mina Corrego do Feijão da Vale em Brumadinho, MG em 19/12/2020.**



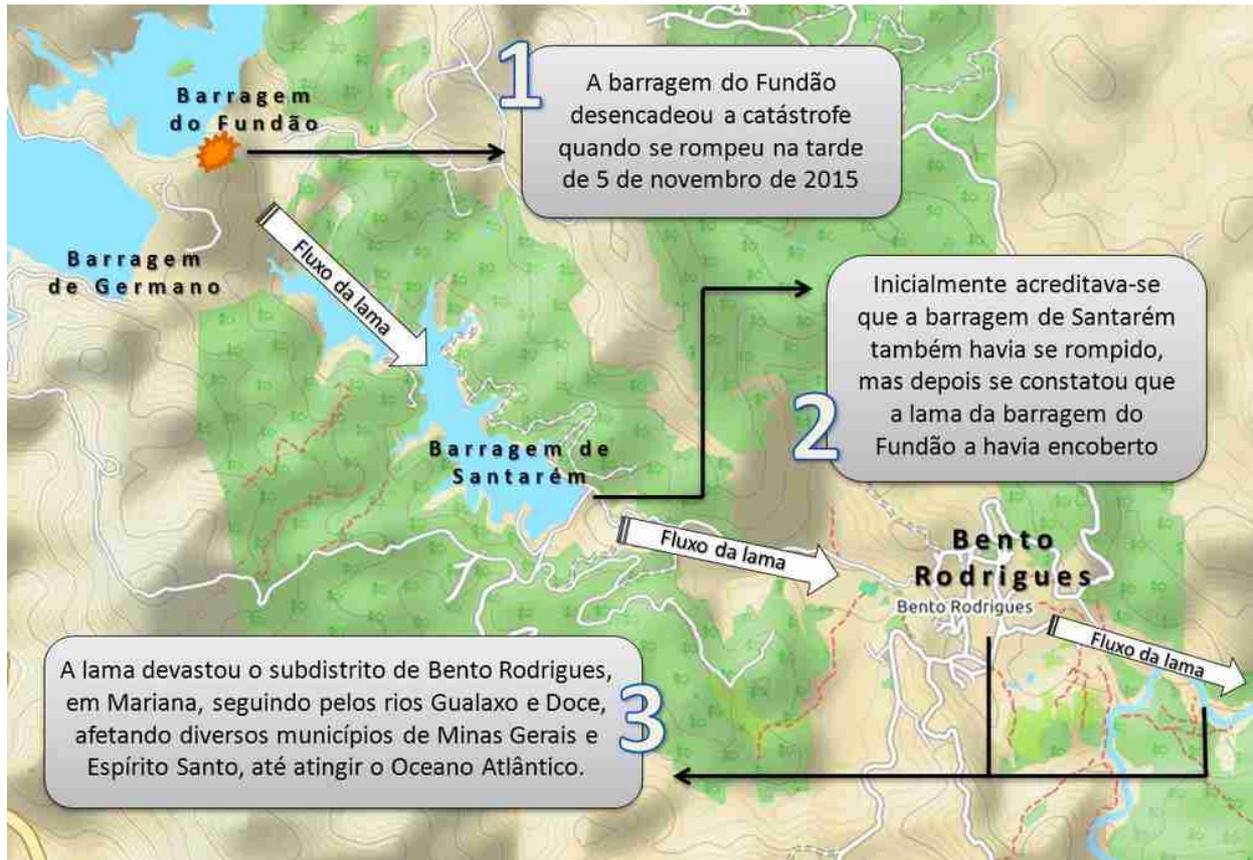
29



**Em 05/11/2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos da extração do minério de ferro de Fundão da Samarco Mineração S.A. (Vale S.A. e BHP Billiton), localizada no subdistrito de Bento Rodrigues (MG) a 35 km de Mariana.**

**A corrida de lama provocou 19 mortes e chegou ao rio Doce, cuja bacia hidrográfica abrange 230 municípios dos estados de MG e ES.**

## ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITO DA SAMARCO



Rompimento da barragem de rejeito da mina Samarco (Mariana, MG) em 05/11/2015<sub>31</sub>

## ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE REJEITO DA SAMARCO

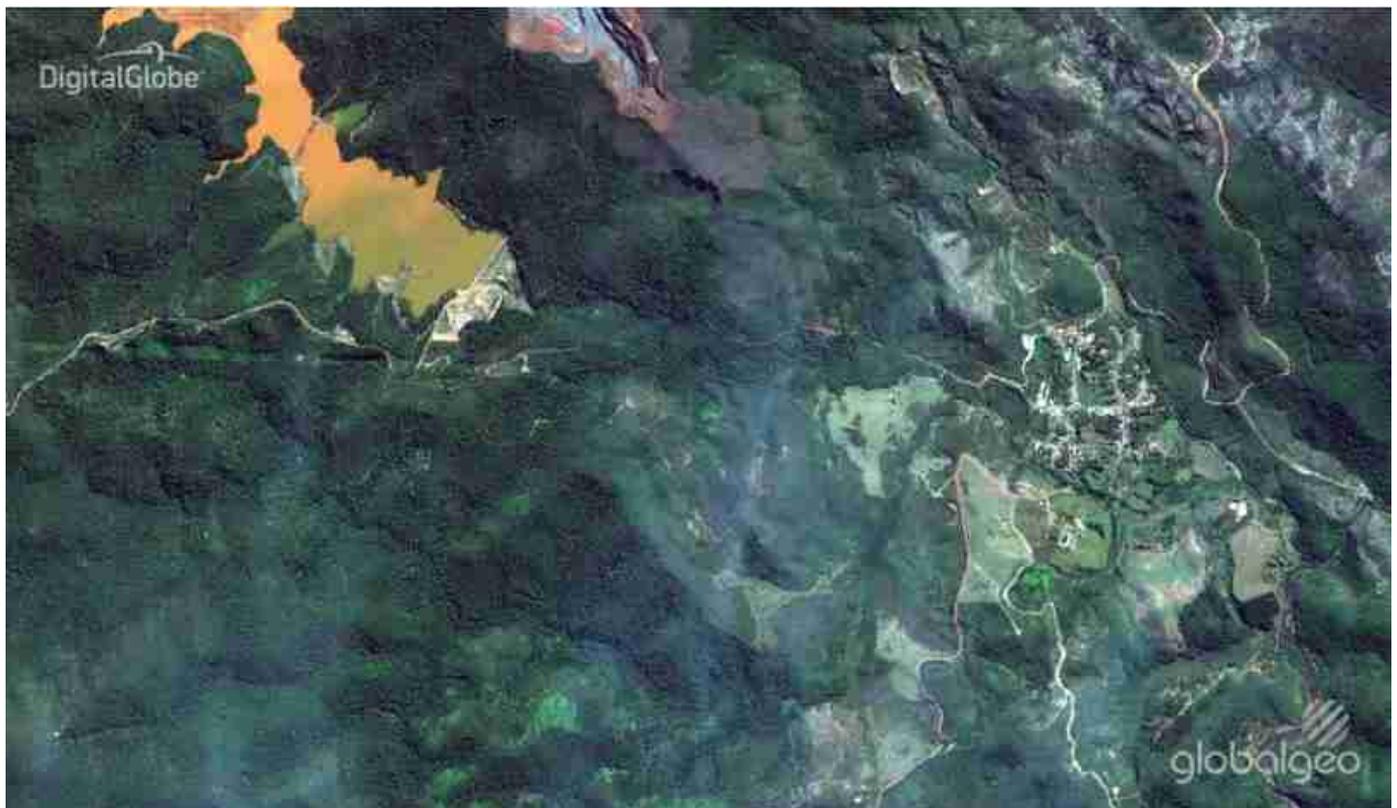


Alteamento da barragem



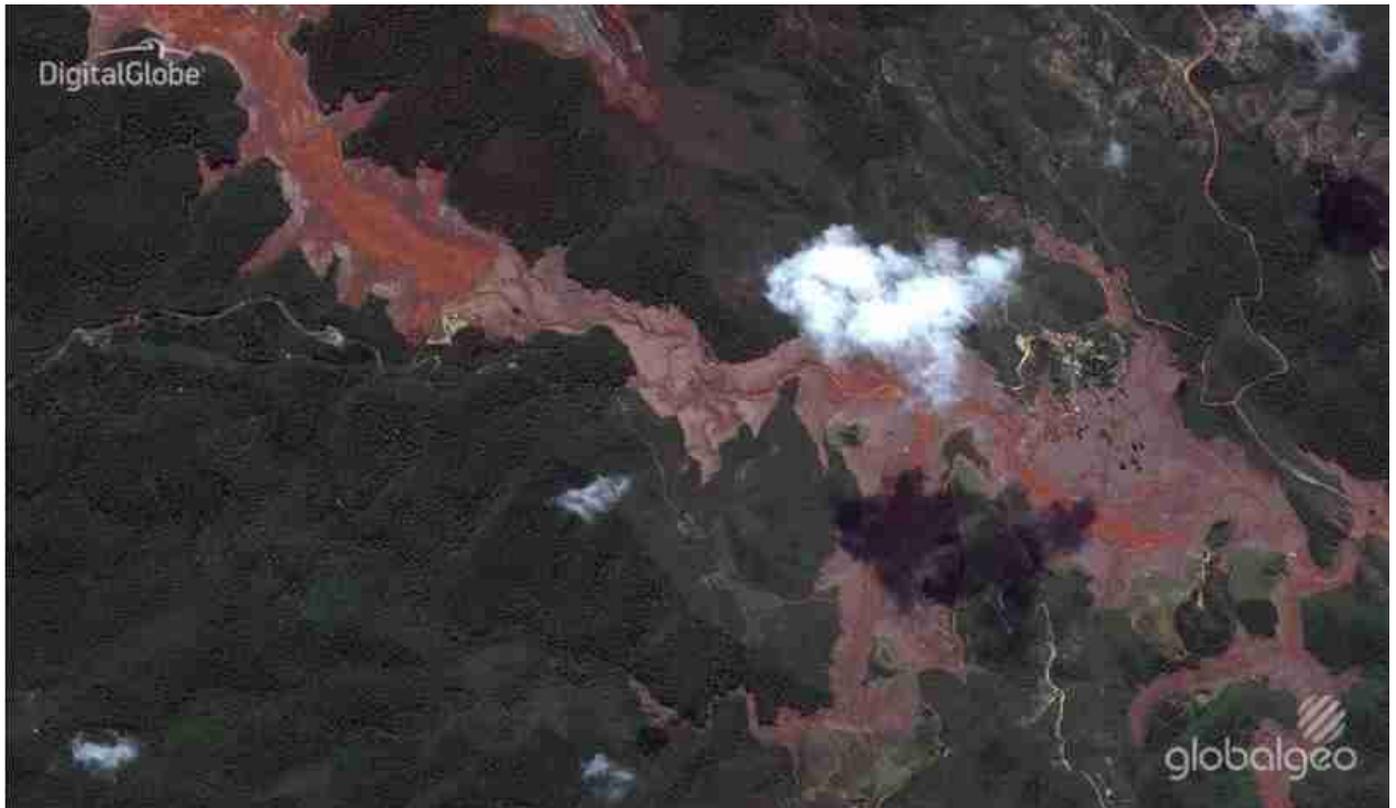
**Rompimento da barragem do Fundão**

33



**Antes do rompimento da barragem**

34



**Após o rompimento da barragem**

35

## HISTÓRICO DE ACIDENTES NA MINERAÇÃO



**Em 25/01/2019 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos da extração do minério de ferro da Mina do Feijão da Vale S. A., localizada no município de Brumadinho (MG) a 65 km de Belo Horizonte.**

**A corrida de lama atingiu especialmente a área de estocagem de minério, o setor administrativo da empresa e a região rural vizinha e provocou 270 mortes e deixou 3 desaparecidos (até 20/12/2022).**

36



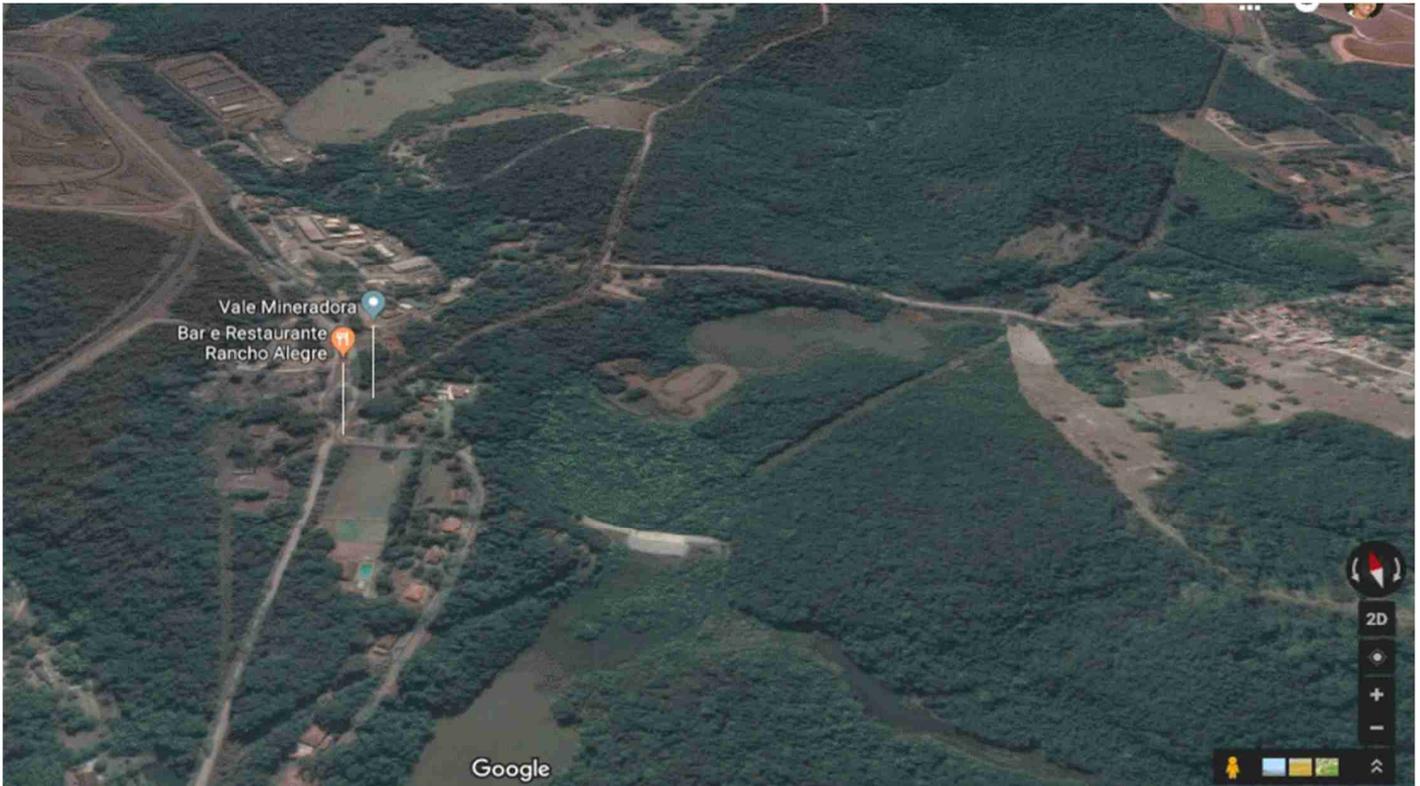
**Barragem de rejeito da mina Córrego do Feijão e área de estocagem de minério**

37



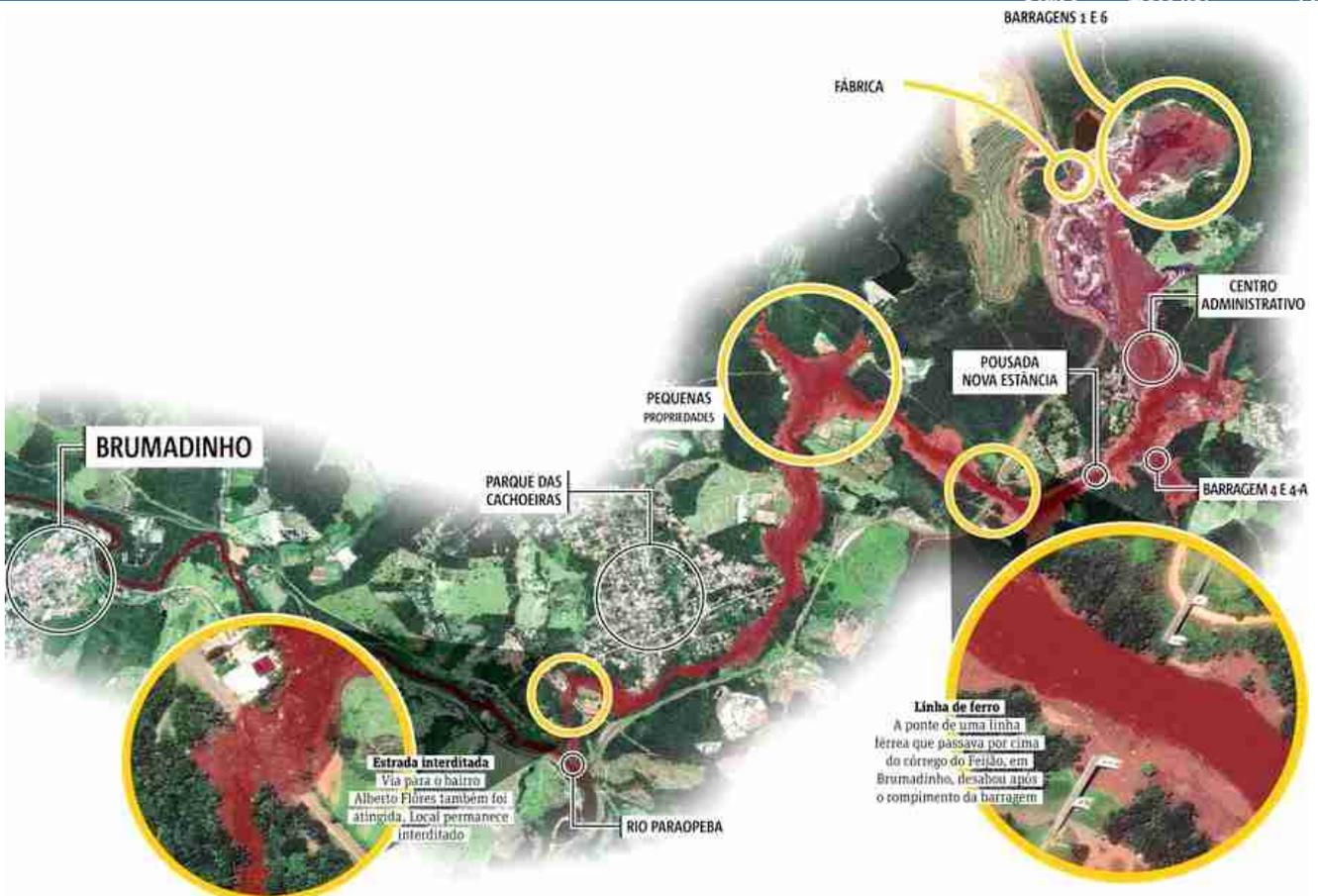
**Barragem e área de estocagem de minério após o rompimento**

38



Setor administrativo da empresa

39



Panorama geral da área afetada pelo do rompimento da barragem de rejeito

40



Panorama geral da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeito

41



A ruptura do talude da mina de cobre Bingham Canyon de propriedade do grupo Rio Tinto em 10/04/2013 foi o maior deslizamento da história da América do Norte, com a movimentação de cerca de 70 milhões de m<sup>3</sup> (165 milhões de t) de material para o interior da cava de 1200 m de profundidade.



42



Ruptura do talude da mina Bingham Canyon (EUA) em 10/04/2013

43



Foto anterior à ruptura

44



Foto posterior à ruptura

45



Ruptura do talude da mina Bingham Canyon (EUA) em 10/04/2013

46



**Ruptura do talude da mina Bingham Canyon (EUA) em 10/04/2013**

47



**Recuperação da cava em curso**

48



Em 26/09/2021 um acidente danificou o elevador da mina subterrânea de cobre e níquel Totten da Vale no Canadá impedindo a subida de 39 mineiros que estavam em profundidades de até 900 m. Não houve nenhum ferido e os trabalhadores saíram da mina subindo por uma chaminé.



49



**Por que devemos estudar a Mecânica das Rochas?**



Mineiros embarcam para o trabalho em subterrâneo



**OBRIGADO!**

**Contato:**  
**Prof. Eduardo César Sansone**  
**[esansone@usp.br](mailto:esansone@usp.br)**