



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

## **ESTADO DE TENSÕES NATURAIS NOS MACIÇOS ROCHOSOS PARTE 1**

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

### **TENSÕES NOS MACIÇOS ROCHOSOS**



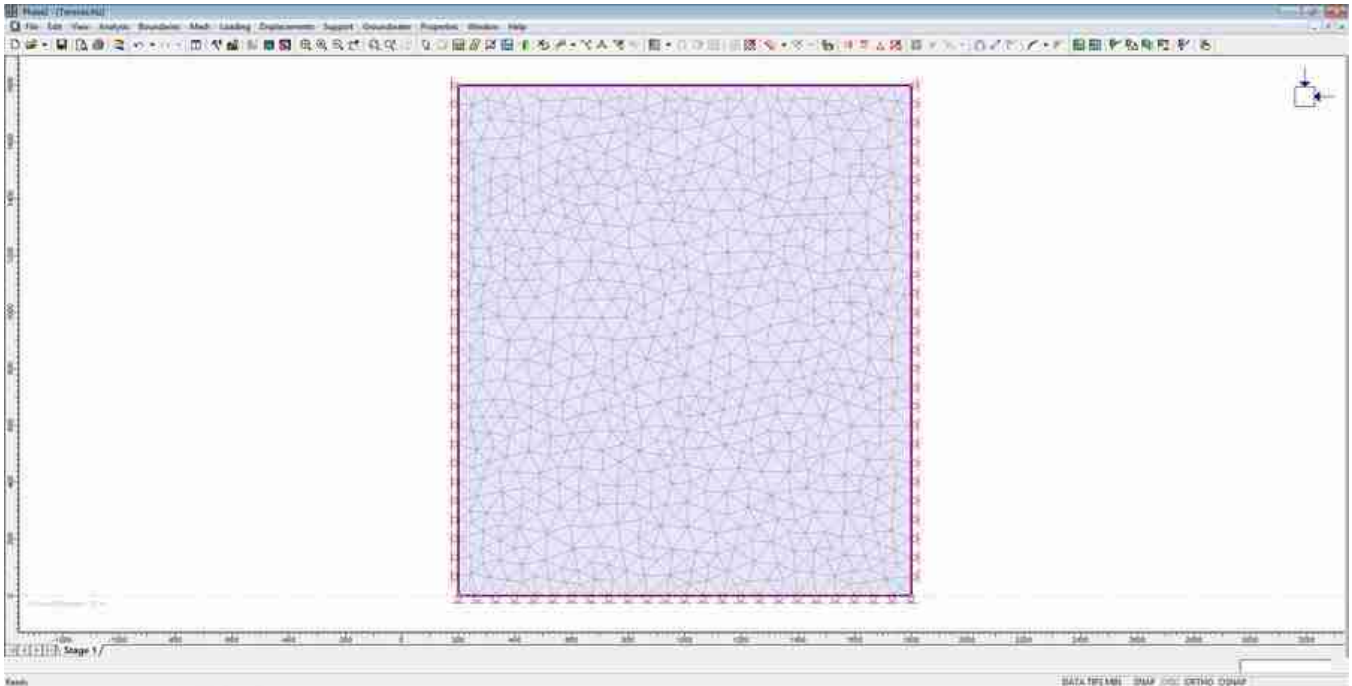
**Para se realizar o projeto de uma obra em rocha é necessário o conhecimento das tensões atuantes no maciço rochoso, no local onde a rocha será escavada.**

**Antes da execução da escavação: Tensões Naturais, Tensões Virgens ou Tensões "in Situ"**

**Após a execução da escavação: Redistribuição das tensões em função da forma das escavações.**

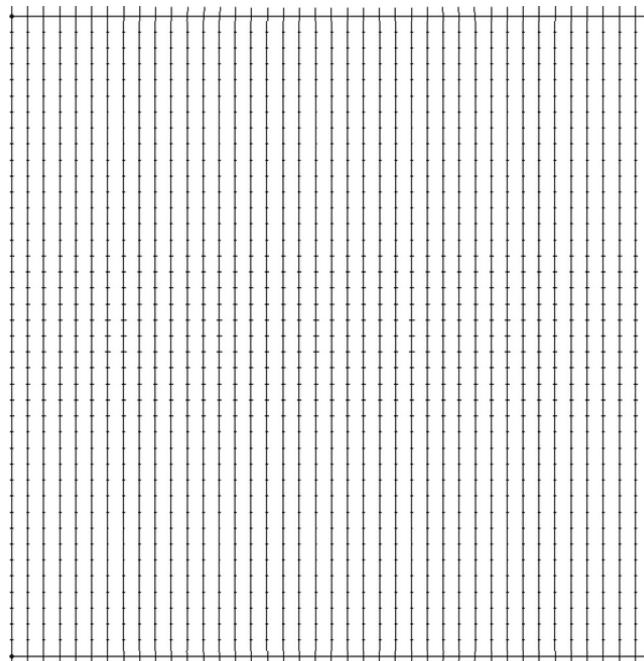


## EXEMPLO



**Análise de modelo numérico desenvolvido utilizando o método dos elementos finitos (vista em seção de um maciço rochoso)**

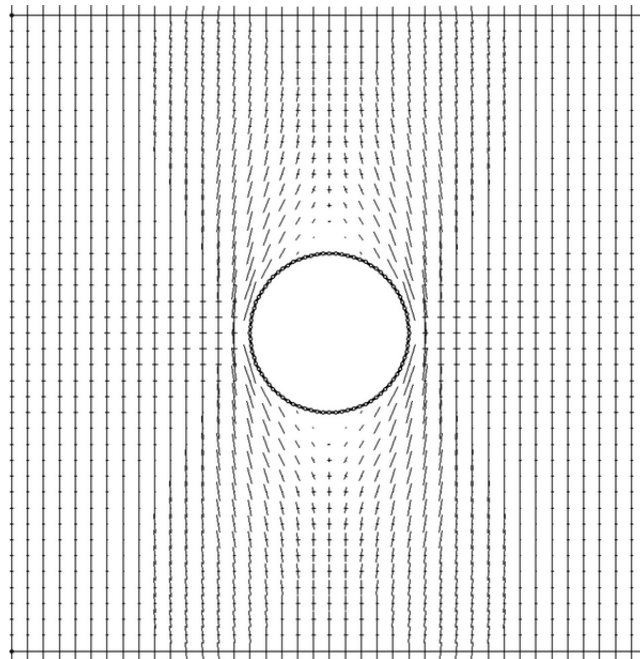
3



$$\begin{array}{c} \sigma_1 \\ | \\ \sigma_2 \end{array}$$

**Linhas de tensão mostrando a sua redistribuição no entorno de escavações subterrâneas (vista em seção do maciço rochoso antes da escavação)**

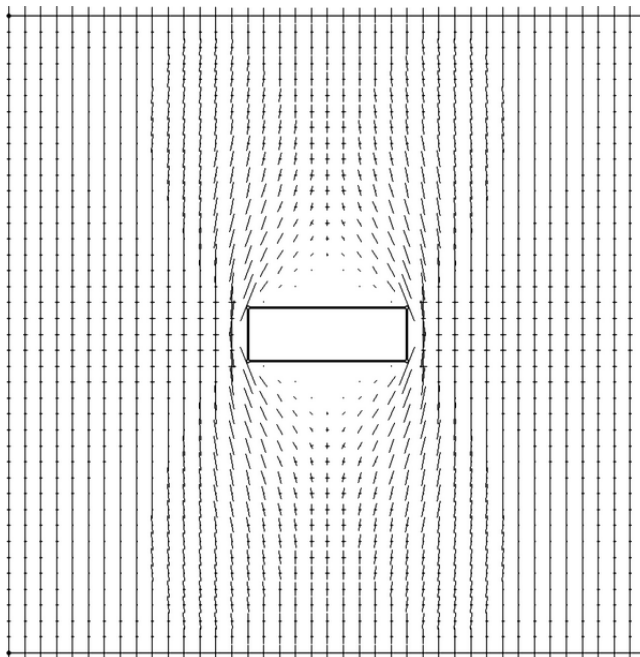
4



$\sigma_1$   
+  
 $\sigma_2$

**Linhas de tensão mostrando a sua redistribuição  
no entorno de escavações subterrâneas  
(vista em seção do maciço rochoso depois da escavação)**

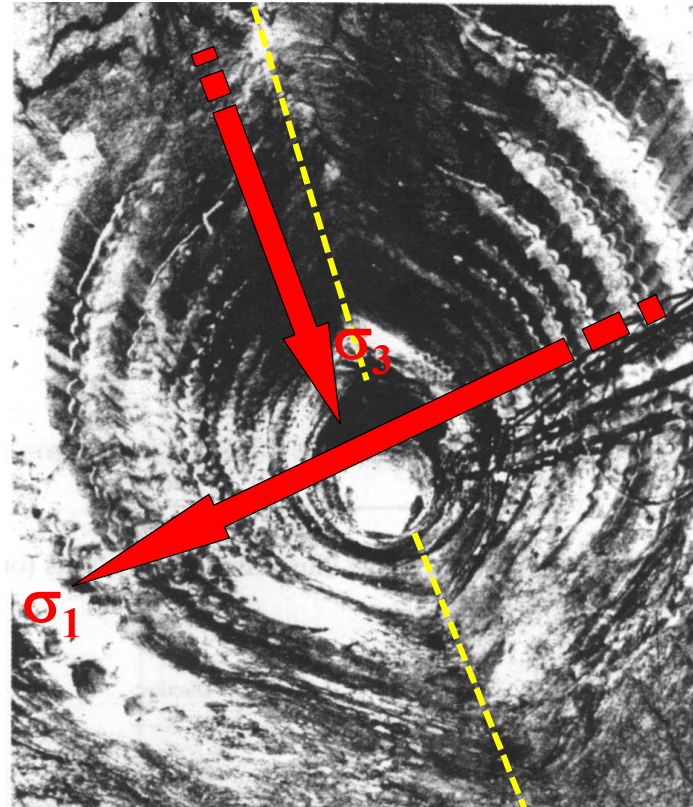
5



$\sigma_1$   
+  
 $\sigma_2$

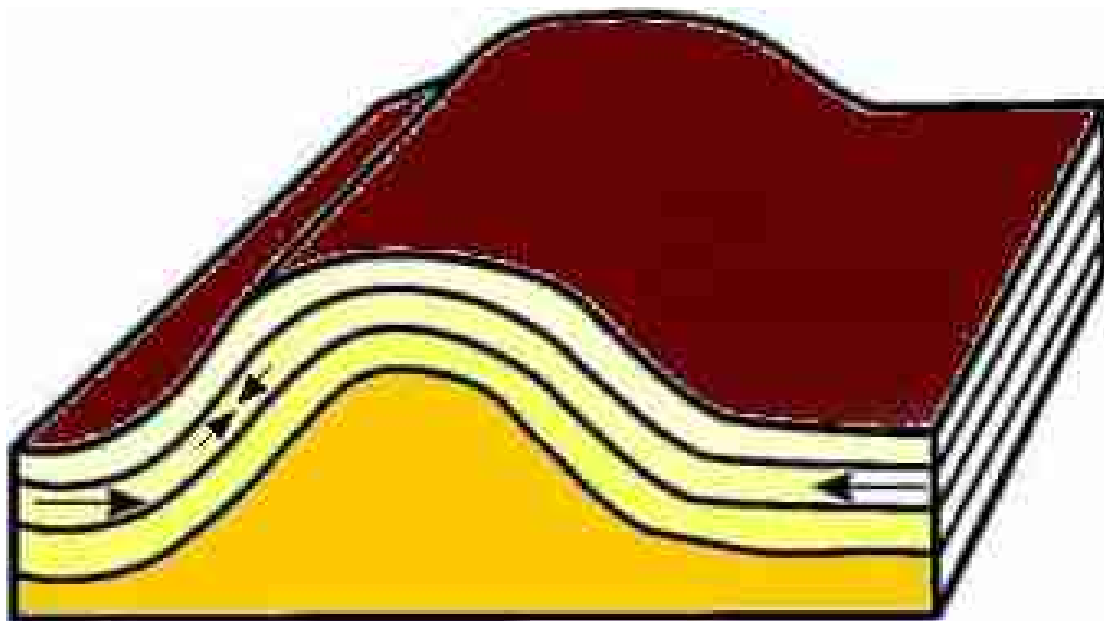
**Linhas de tensão mostrando a sua redistribuição  
no entorno de escavações subterrâneas  
(vista em seção do maciço rochoso depois da escavação)**

6



$\sigma_1$ : Tensão Principal Maior  
 $\sigma_3$ : Tensão Principal Menor

Deformações sofridas por uma galeria em razão do estado de tensões atuante no maciço rochoso



Tensões naturais se propagando ao longo de uma dobra



## **TENSÕES GRAVITACIONAIS**

9

## **TENSÕES GRAVITACIONAIS**



### **CARACTERÍSTICAS**

**São decorrentes do peso das camadas sobrejacentes à região em estudo.**

**Embora os efeitos gravitacionais nem sempre correspondam a todos os casos reais, se constituem na principal causa natural de tensões nas rochas.**

**Tensões de outra natureza serão consideradas "anômalas".**



A "Tensão Gravitacional Vertical" ou "Tensão de Sobrecarga" será dada por:

$$\sigma_v = \sigma_z = \int_0^z \rho \mathbf{g} dz = \int_0^z \gamma dz$$

Caso  $\rho$  e  $\gamma$  não variem com a profundidade:

$$\sigma_v = \sigma_z = \rho \mathbf{g} z = \gamma z$$

11

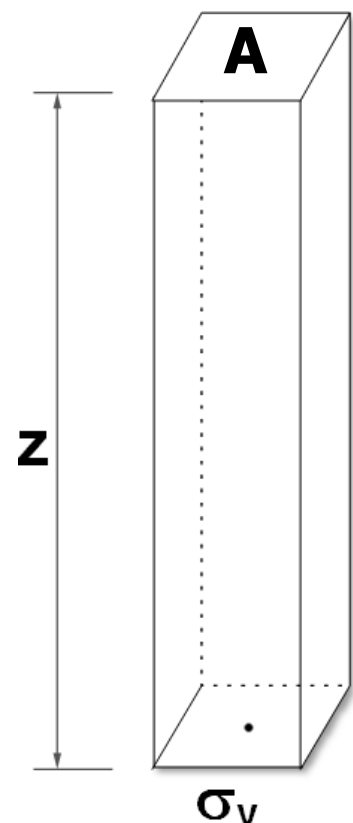


$F = \text{Peso Específico da Rocha} \times \text{Volume} = \gamma A z$

Assim:

$$\sigma = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$$

$$\sigma_v = \frac{\gamma A z}{A} = \gamma z$$



12

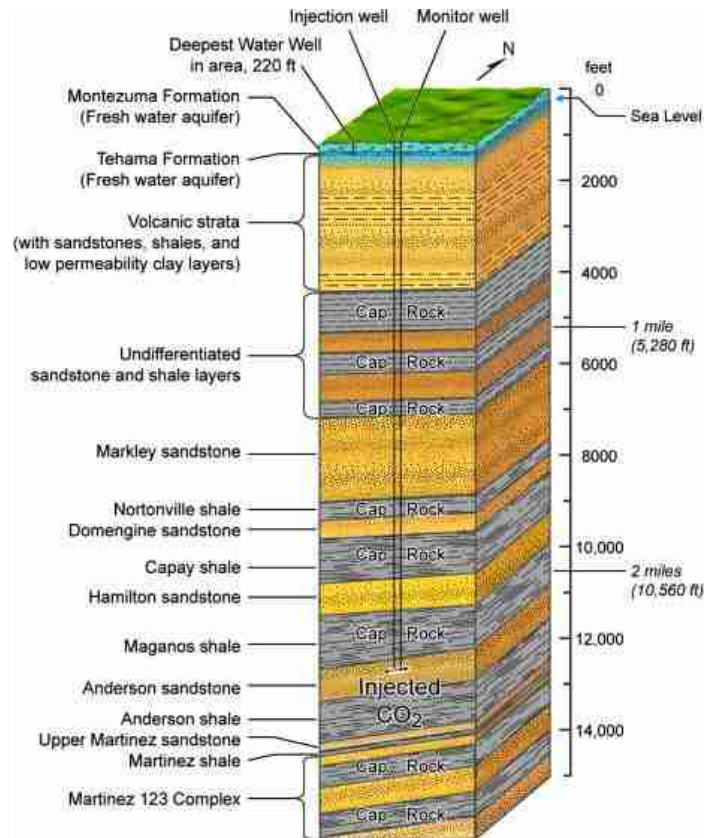




Para uma série de camadas horizontais  $\sigma_v$  será dada por:

$$\sigma_v = \sigma_z = \sum \gamma_i \Delta z_i$$

Com  $\gamma_i$  e  $z_i$  de cada camada.



13

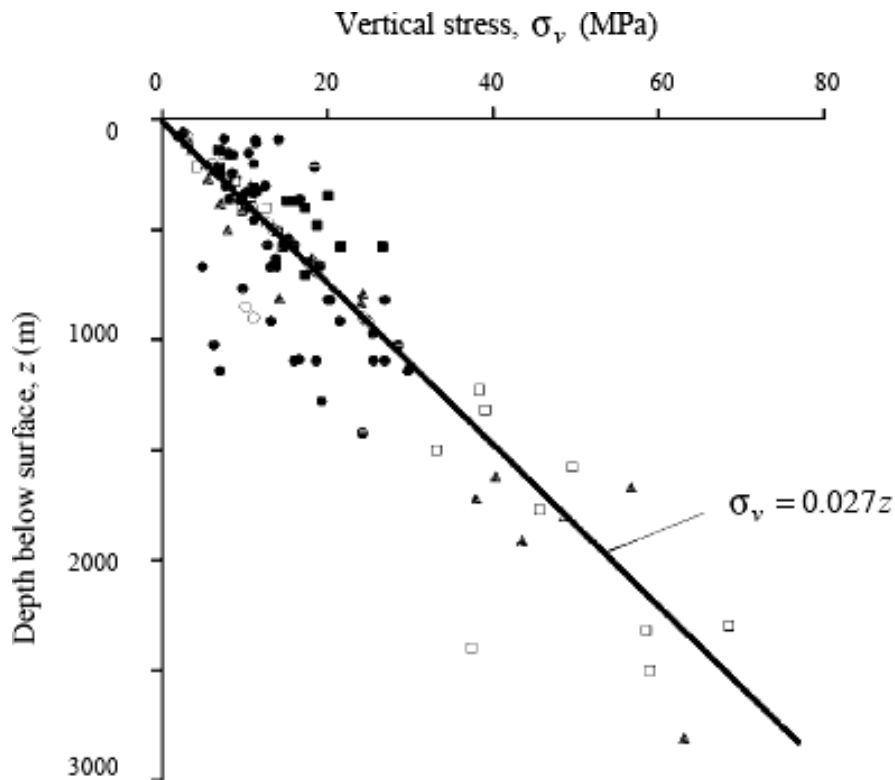


**Alguns Pesos Específicos:**

- Carvão:  $\gamma = 0,012 \text{ MN/m}^3$
- Folhelhos:  $\gamma = 0,023 \text{ MN/m}^3$
- Rochas Silicatadas:  $\gamma = 0,028 \text{ MN/m}^3$
- Gabros:  $\gamma = 0,03 \text{ MN/m}^3$

**Peso específico médio para rochas:  $\gamma = 0,027 \text{ MN/m}^3$**

**Regra prática: a cada 40 m a tensão vertical aumenta em 1 MPa.**



**Varição da tensão vertical com a profundidade**

15

## REFERÊNCIAS



**BRADY, B. H. G.; BROWN, E. T. Rock mechanics for underground mining. London, Chapman & Hall, 1994.**

**GOODMAN, R. E. Introduction to rock mechanics. New York, Wiley, 1980.**

**HARRISON, J. P. Engineering rock mechanics. Oxford, Pergamon, 2006.**





**OBRIGADO!**

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

---