



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

## **ESCAVAÇÕES MÚLTIPLAS**

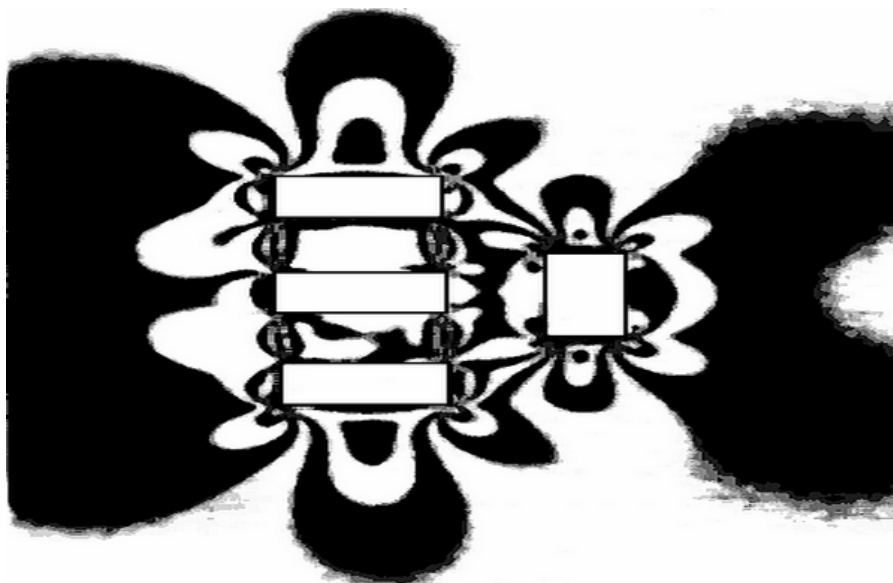
**PMI 3309 - Mecânica de Rochas Aplicada à Mineração II  
Prof. Eduardo César Sansone**

### **COMPORTAMENTO DE ESCAVAÇÕES MÚLTIPLAS**

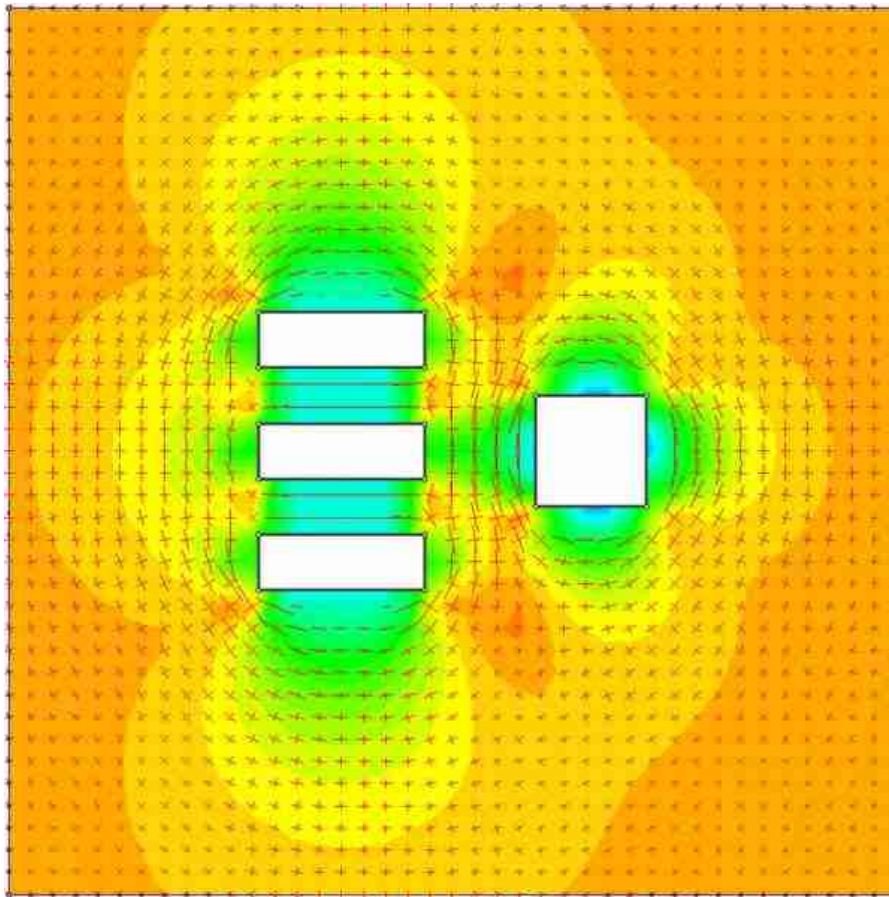


**Quando a distância entre as escavações é menor que três diâmetros, as tensões induzidas por cada uma delas exercerá influência sobre a redistribuição de tensões que ocorre na outra.**

**Dessa forma, o problema da análise da distribuições de tensões aumenta em complexidade.**

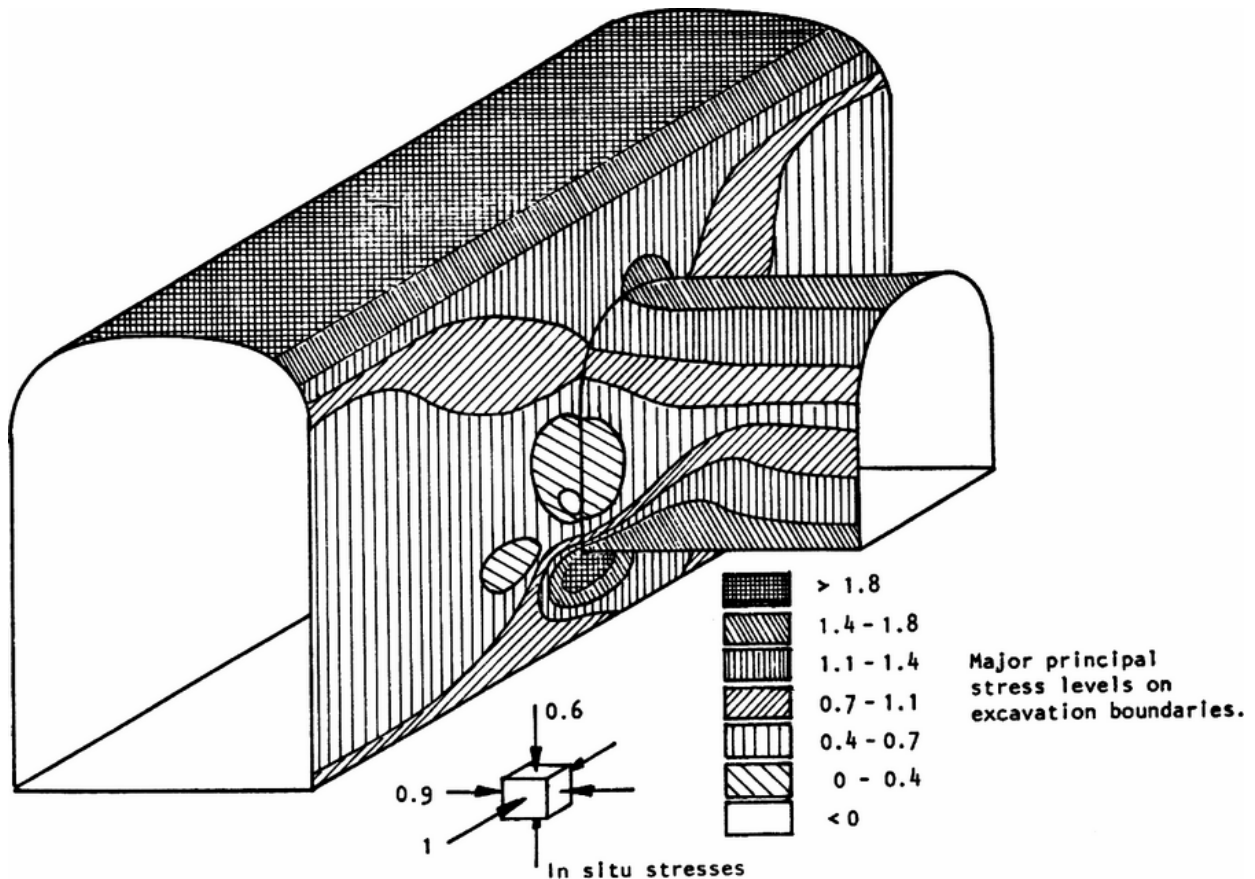


**Redistribuição das tensões no entorno de várias escavações  
(análise pelo método fotoelástico)**



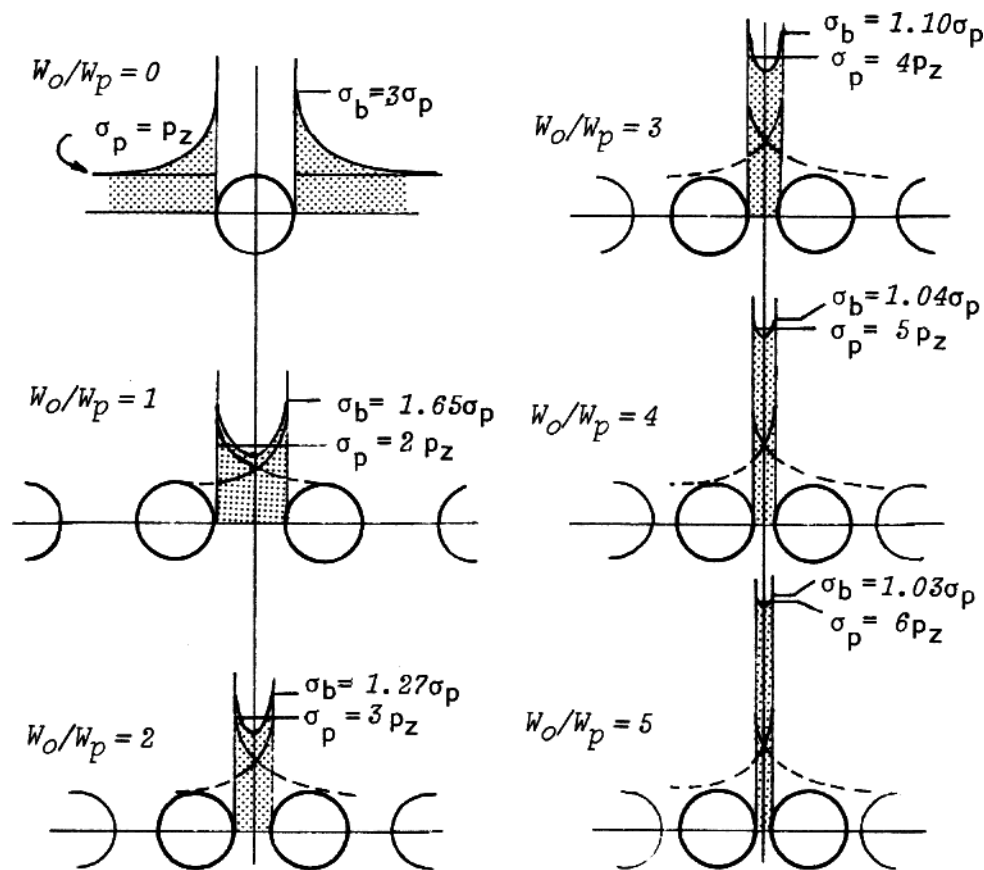
Distribuição de  $\sigma_3$  com indicação das direções de  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$

3



Problemas complexos na interação entre várias escavações

4



Concentração de tensões entre duas escavações circulares

5



## CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES EM PILARES ALONGADOS PARALELOS

$$K = C + 0,09 \left[ \left( \frac{W_0}{W_p} + 1 \right)^2 - 1 \right]$$

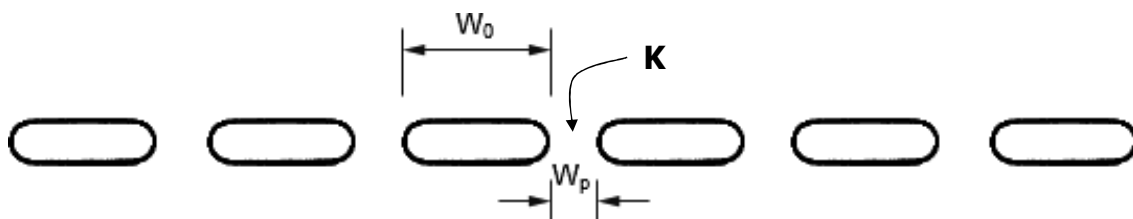
Onde:

**K** = concentração de tensões no pilar

**C** = concentração de tensões na escavação singular de mesmo formato

**W<sub>0</sub>** = largura da escavação

**W<sub>p</sub>** = largura do pilar



6

## EXERCÍCIO 1



Uma série de galerias horizontais paralelas com seção de formato retangular com cantos arredondados será escavada em rocha.

Determinar a largura dos pilares entre as galerias para que se obtenha um fator de segurança igual a 2,5.

Dados:

$z = 250$  m (profundidade)

$\gamma = 0,027$  MN/m<sup>3</sup> (peso específico da rocha)

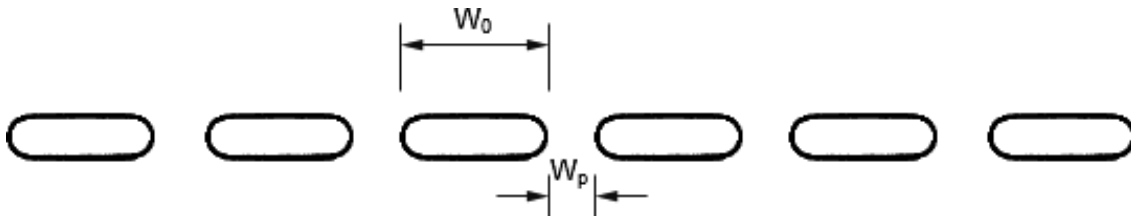
$\nu = 0,25$  (coeficiente de Poisson)

$H = 2,5$  m (altura das galerias)

$\frac{W_0}{H} = 4$  (relação largura/altura)

$\sigma_c = 350$  MPa (resistência à compressão uniaxial da rocha)

Fator de Escala = 4 (fator de redução da resistência da rocha intacta para o maciço rochoso)

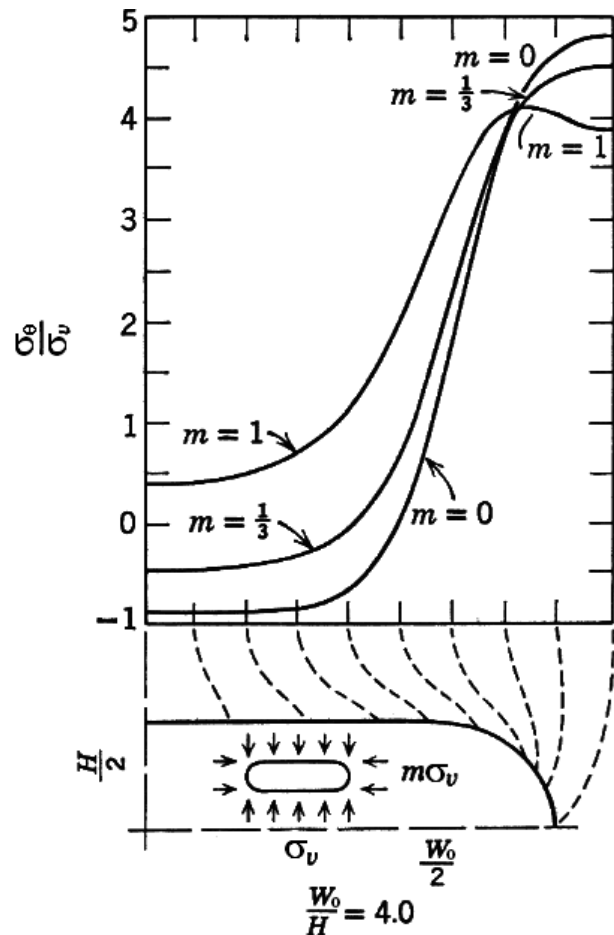


7

## EXERCÍCIO 1



Concentração de tensões para a escavação singular



8

## EXERCÍCIO 1



### CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES EM PILARES LONGADOS PARALELOS

$$K = C + 0,09 \left[ \left( \frac{W_0}{W_p} + 1 \right)^2 - 1 \right]$$

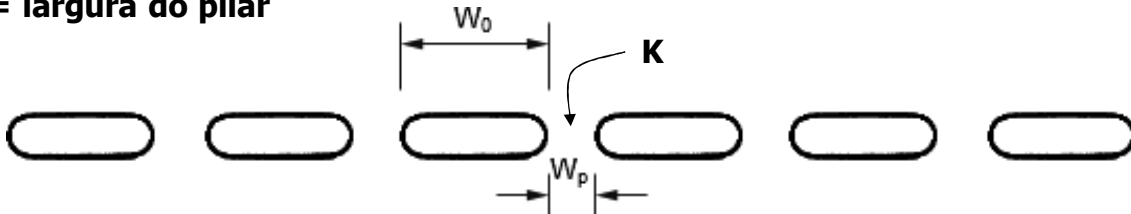
Onde:

**K** = concentração de tensões no pilar

**C** = concentração de tensões na escavação singular de mesmo formato

**$W_0$**  = largura da escavação

**$W_p$**  = largura do pilar



$z = 250 \text{ m}$   
 $\gamma = 0,027 \text{ MN/m}^3$   
 $\nu = 0,25$   
 $H = 2,5 \text{ m}$   
 $\frac{W_0}{H} = 4$   
 $\sigma_c = 350 \text{ MPa}$   
Fator de Escala = 4  
FS = 2,5

$$W_0, C, K \rightarrow W_p = ?$$

9

## EXERCÍCIO 1



$z = 250 \text{ m}$   
 $\gamma = 0,027 \text{ MN/m}^3$   
 $\nu = 0,25$   
 $H = 2,5 \text{ m}$   
 $\frac{W_0}{H} = 4$   
 $\sigma_c = 350 \text{ MPa}$   
Fator de Escala = 4  
FS = 2,5

Largura da escavação ( $W_0$ ):

$$\frac{W_0}{H} = 4 \rightarrow W_0 = 10 \text{ m}$$

## EXERCÍCIO 1

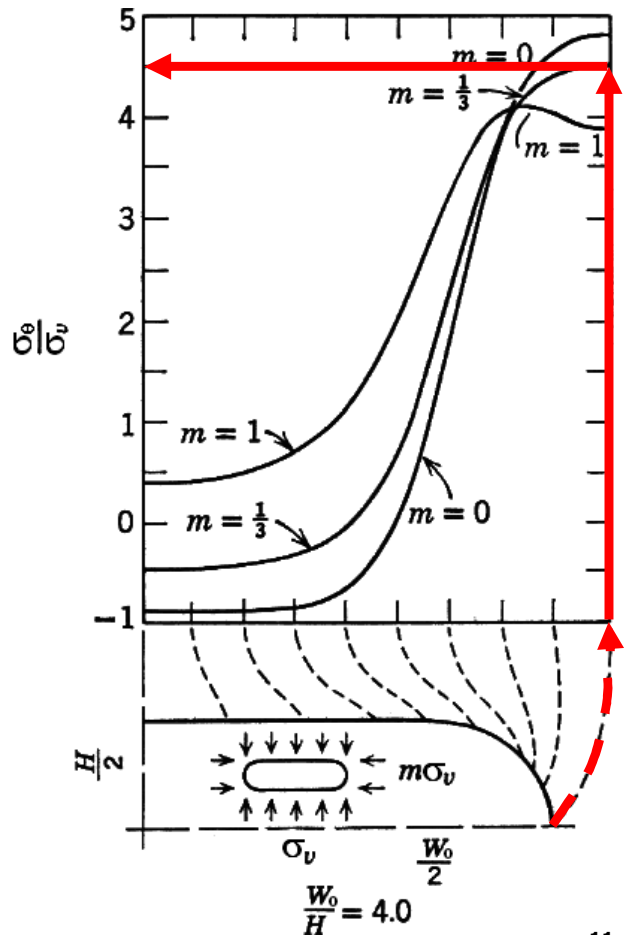


Concentração de tensões na escavação singular (C):

$$\sigma_v = \gamma z \quad \text{e} \quad \sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v$$

$$m = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{0,25}{1-0,25} = \frac{1}{3}$$

$$\rightarrow C = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_v} = 4,5$$



11

## EXERCÍCIO 1



Concentração de tensões na pilar (K):

$$K = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_v} = \frac{\sigma_p, VAR}{\sigma_v} = \frac{\sigma_p}{\sigma_v}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_c}{F.E. \cdot FS} = \frac{350}{4 \cdot 2,5} = 35 \text{ MPa} \quad \begin{array}{l} \text{TENSÃO MAX} \\ \text{ADMÍSSÍVEL} \\ \text{NO PILAR} \end{array}$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot z = 0,027 \cdot 250 = 6,75 \text{ MPa}$$

$$K = \frac{\sigma_p}{\sigma_v} = \frac{35}{6,75} = 5,185$$

$z = 250 \text{ m}$   
 $\gamma = 0,027 \text{ MN/m}^3$   
 $\nu = 0,25$   
 $H = 2,5 \text{ m}$   
 $\frac{W_0}{H} = 4$   
 $\sigma_c = 350 \text{ MPa}$   
 Fator de Escala = 4  
 FS = 2,5

12



Largura do pilar ( $W_p$ ):

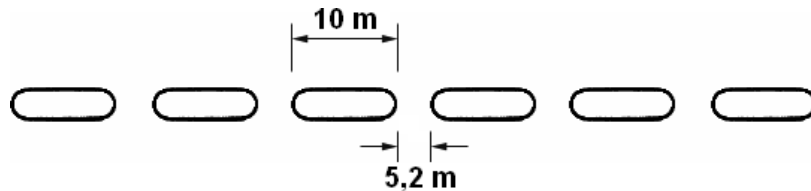
$$K = C + 0,09 \left[ \left( \frac{W_0}{W_p} + 1 \right)^2 - 1 \right]$$

$$5,185 = 4,5 + 0,09 \left[ \left( \frac{10}{W_p} + 1 \right)^2 - 1 \right]$$

$$8,611 = \left( \frac{10}{W_p} + 1 \right)^2$$

$$1,934 = \frac{10}{W_p} \Rightarrow W_p = 5,2 \text{ m}$$

$z = 250 \text{ m}$   
 $\gamma = 0,027 \text{ MN/m}^3$   
 $\nu = 0,25$   
 $H = 2,5 \text{ m}$   
 $\frac{W_0}{H} = 4$   
 $\sigma_c = 350 \text{ MPa}$   
 Fator de Escala = 4  
 FS = 2,5



**OBRIGADO!**

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