



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

**RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO 09-2**

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

**RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO 09-2**



**EXERCÍCIO 09-2**

**A partir dos resultados de ensaios realizados sobre amostras de rocha intacta exibidos na tabela, determine:**

**a) O critério de ruptura de Hoek & Brown para rocha intacta e faça estimativas para as resistências a compressão uniaxial  $\sigma_{Ci}$  e a tração  $\sigma_{Ti}$ .**

**b) Os parâmetros do critério de ruptura de Hoek & Brown para o caso de um maciço rochoso muito fraturado, com blocos travados e formados pela interseção de 4 famílias de descontinuidades e possuindo superfícies de descontinuidades rugosas e levemente alteradas, onde é escavado um túnel por meio de um desmonte por explosivos de ótima qualidade.**

**c) A resistência à compressão uniaxial do maciço rochoso.**

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)
-5	0
0	120
4	160
8	200
12	240
16	270
20	290



a) O critério de ruptura de Hoek & Brown para rocha intacta e faça estimativas para as resistências a compressão uniaxial  $\sigma_{Ci}$  e a tração  $\sigma_{Ti}$ .

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{Ci} \left( m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{Ci}} + 1 \right)^{0,5}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = \sigma_{Ci} m_i \sigma_3 + \sigma_{Ci}^2$$

$$y = Ax + B \Rightarrow y = \sigma_{Ci} m_i x + \sigma_{Ci}^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y = 3011,18x + 14201,5 \\ r^2 = 0,996 \end{array} \right.$$

$\sigma_3$	$\sigma_1$	$(\sigma_1 - \sigma_3)^2$
-5	0	25
0	120	14.400
4	160	24.336
8	200	36.864
12	240	51.984
16	270	64.516
20	290	72.900

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{Ci} = \sqrt{B} \\ m_i = \frac{A}{\sqrt{B}} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A = 3011,18 \\ B = 14201,5 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{Ci} = 119,7 \text{ MPa} \\ m_i = 25,3 \end{array} \right.$$

3



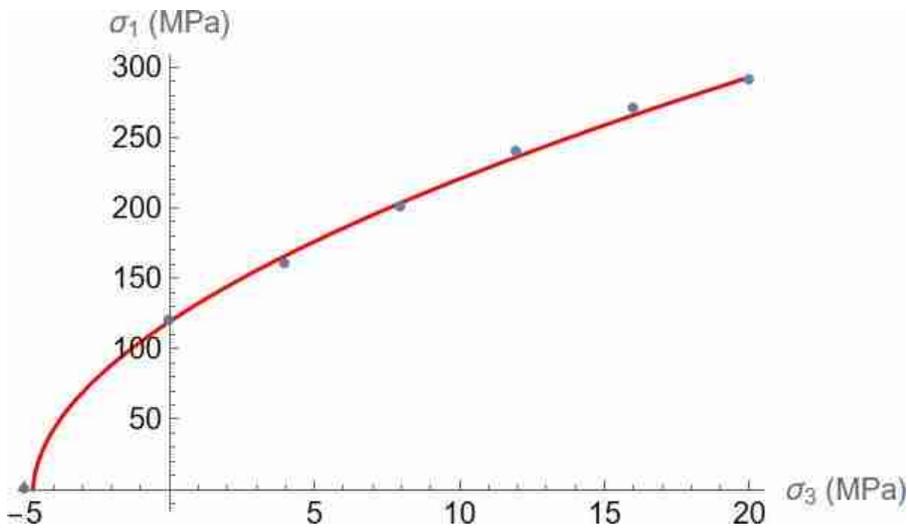
$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 3011,18 \sigma_3 + 14201,5$$

$$\sigma_c = ? \Rightarrow \sigma_3 = 0 \Rightarrow \sigma_{Ci} = 119,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = ? \Rightarrow \sigma_1 = 0 \Rightarrow \sigma_3^2 - 3011,18 \sigma_3 - 14201,5 = 0$$

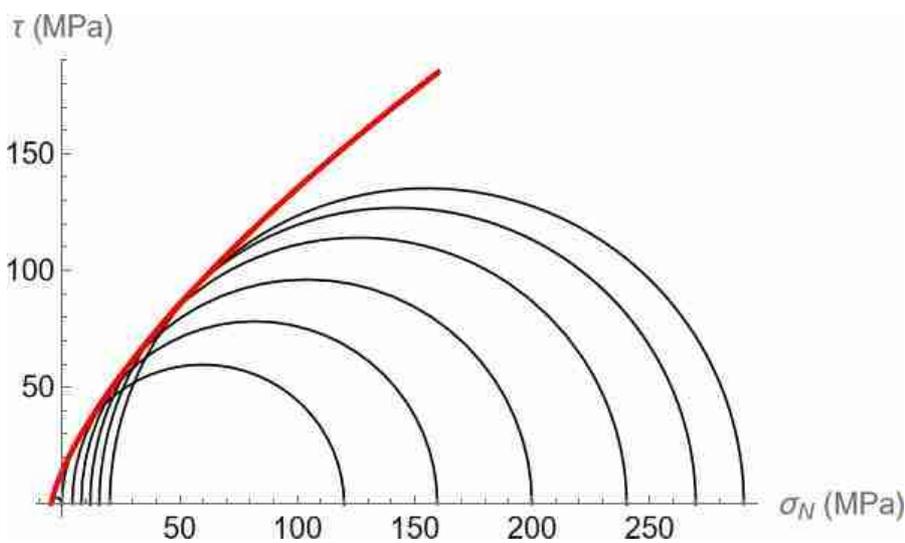
$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_3' = -4,7 \text{ MPa} \\ \sigma_3'' = 3015,89 \end{array} \right.$$

4



$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)
-5	0
0	120
4	160
8	200
12	240
16	270
20	290

5



$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)
-5	0
0	120
4	160
8	200
12	240
16	270
20	290

6



b) Os parâmetros do critério de ruptura de Hoek & Brown para o caso de um maciço rochoso muito fraturado, com blocos travados e formados pela interseção de 4 famílias de descontinuidades e possuindo superfícies de descontinuidades rugosas e levemente alteradas, onde é escavado um túnel por meio de um desmorte por explosivos de ótima qualidade.



“maciço rochoso muito fraturado, com blocos travados e formados pela interseção de 4 famílias de descontinuidades e possuindo superfícies de descontinuidades rugosas e levemente alteradas”

GSI = 55

**GEOLOGICAL STRENGTH INDEX**

From the letter codes describing the structure and surface conditions of the rock mass (from Table 4), pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 38.

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS	
	VERY GOOD Very rough/fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces
BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	80	70
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	60	50
BLOCKY/DISTURBED - folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets	40	30
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces	20	10

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

DECREASING SURFACE QUALITY

FAIR  
Smooth, moderately weathered or altered surfaces

POOR  
Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments

VERY POOR  
Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

# RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO 09-2



**D = 0**

“Onde é escavado um túnel por meio de um desmonte por explosivos de ótima qualidade”

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of <i>D</i>
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	<i>D</i> = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	<i>D</i> = 0 <i>D</i> = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	<i>D</i> = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	<i>D</i> = 0.7 Good blasting <i>D</i> = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	<i>D</i> = 1.0 Production blasting <i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation

Valores para *D*

9

# RESOLUÇÃO DO EXERCÍCIO 09-2



$$m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{\frac{GSI}{15}} - e^{\frac{20}{3}} \right)$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} GSI = 55 \\ D = 0 \\ m_{\bar{\lambda}} = 25,3 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} m_b = 5,07 \\ s = 0,00673 \\ a = 0,504 \end{array} \right.$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{Ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{Ci}} + s \right)^a$$



c) A resistência à compressão uniaxial do maciço rochoso.

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} s^a \quad \rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{ci} = 119,7 \text{ MPa} \\ s = 0,00673 \\ a = 0,504 \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad \sigma_{cm} = 9,6 \text{ MPa}$$

(FATOR DE ESCALA = 12,4)



**OBRIGADO!**

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