



Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Escola de Minas – EM
Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada - CTGA



Roteiro e Normas Gerais para

Ensaio de Esclerômetro

(Martelo de Schmidt)

Ouro Preto, Junho / 2020

SUMÁRIO

1. Introdução.....	3
2. Instrumentação.....	3
3. Preparação das Amostras.....	4
4. Execução dos Ensaios.....	5
5. Cálculos.....	5
6. Cuidados com o Equipamento.....	9
7. Considerações Finais.....	9
Referências Bibliográficas.....	10

1. INTRODUÇÃO

O presente documento foi elaborado pelo Técnico Administrativo em Educação (TAE) Luiz Henrique Cardoso, responsável pelo Laboratório de Mecânica das Rochas do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada (CTGA) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Trata-se de um roteiro técnico prático que apresenta as orientações necessárias para o Ensaio de Esclerômetro, de forma objetiva aos usuários do laboratório. O referencial técnico aqui é baseado em recomendações da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM). É ressaltado também que as informações aqui apresentadas são para uso restrito na UFOP.

O Esclerômetro e, também denominado Martelo de Schmidt, é um aparelho que permite estimar a resistência à compressão uniaxial e o módulo de elasticidade. Por ser um equipamento portátil, além de ser utilizado em mensurações de laboratório, pode ser utilizado em maciços rochosos *in situ*.

No último caso, o esclerômetro é uma alternativa justificável pela economia de tempo e redução de custos na classificação geomecânica de maciços rochosos, pelo fato de não ser necessária a produção corpos de prova (cps) para análise laboratorial, bem como, a orientação da superfície analisada é observada *in situ*, logo, os erros quanto à consideração da orientação da rocha no ensaio, são minimizados.

A ISRM (2009) elaborou e recomenda a metodologia utilizada para a realização do ensaio de esclerômetro. E, em suma, eis duas definições importantes: compressão uniaxial é a compressão produzida pela aplicação de uma carga normal à direção axial do cp. Módulo de Elasticidade, ou Módulo de Young descreve a resposta de deformação da rocha ao carregamento axial linear.

2. INSTRUMENTAÇÃO

O esclerômetro consiste em um sistema de pistão nucleado por uma mola, de forma que, ao ser pressionado contra a superfície do bloco de rocha ensaiado, transfere energia à rocha, deformando a mola. A recuperação do comprimento da mola, ou seja, a relação

entre o estado final e inicial do comprimento traz implicações sobre a resistência da rocha de acordo com sua dureza.

O esclerômetro é classificado, de acordo com a energia de impacto, em dois tipos: L e N, com as respectivas energias de 0,735 e 2,207 Nm. O tipo L é o que apresenta maior sensibilidade e é indicado, inclusive, para rochas intemperizadas. Na figura 1, é esquematizado um esclerômetro antes, durante e após o impacto (“fire”) do pistão contra a superfície da rocha.

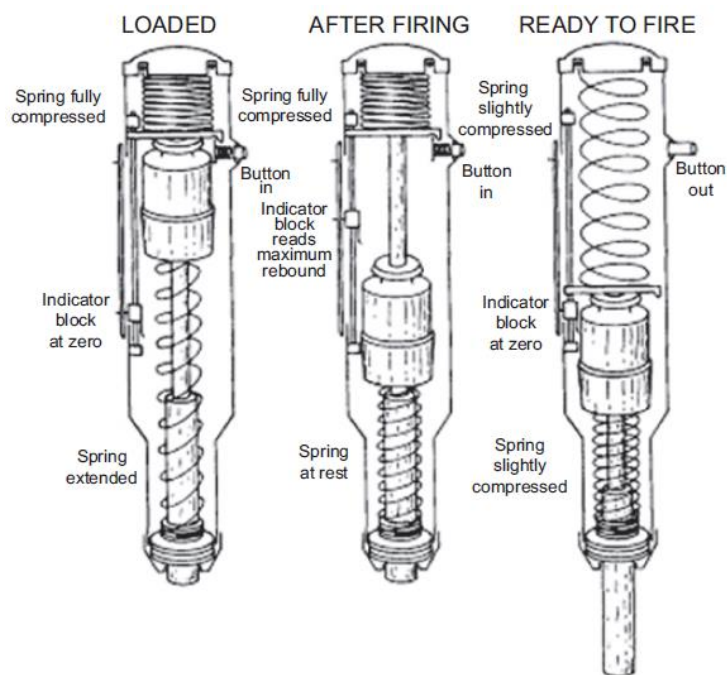


Figura 1 – Esquema de esclerômetro antes, durante e após o impacto (“fire”) do pistão contra a superfície da rocha.

3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

- (1) As amostras/superfícies do maciço rochoso devem estar intactas, livres de descontinuidades, uniformes e representativas do domínio de rocha analisado;
- (2) Em campo é necessário remover e lixar a parte intemperizada da rocha para obter os dados por meio do esclerômetro;
- (3) Em laboratório, o cp deve ser encaixado em um suporte bem rígido para realização do ensaio;

- (4) As amostras devem ter o diâmetro padrão de, no mínimo, 54,7 mm para o ensaio com o esclerômetro do tipo L;
- (5) As amostras devem ter o diâmetro padrão de, no mínimo, 84 mm para o ensaio com o esclerômetro do tipo N;
- (6) As amostras devem ter, no mínimo, a espessura de 100 mm a partir do ponto de aplicação de carga;
- (7) Geralmente, para rochas com dureza moderada (>80 MPa), o ensaio não é destrutivo;
- (8) No caso da presença de planos de anisotropia como foliações, acamamentos etc, orientar a direção de ensaio, ora perpendicular, ora paralelo às direções da anisotropia;
- (9) São recomendados 20 ensaios.

4. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Após preparar as amostras, aplicar o pistão do esclerômetro perpendicularmente à superfície da amostra ou à superfície do maciço rochoso. Os esclerômetros são acompanhados por um tubo que serve como guia padrão para evitar a transferência parcial de energia, fricção com os dedos etc. Posteriormente, tomar a leitura do rebote (R) do esclerômetro e preencher a planilha.

5. CÁLCULOS

5.1 Método do Ábaco de Miller

Por meio deste método, é possível determinar a resistência à compressão uniaxial com os dados aferidos pelo esclerômetro, de forma gráfica. Para isso, recorre-se ao ábaco que é apresentado na figura 2 e considera-se a orientação da superfície que foi golpeada pelo esclerômetro (teto, base e/ou paredes de um túnel, por exemplo), bem como, a densidade média da rocha analisada.

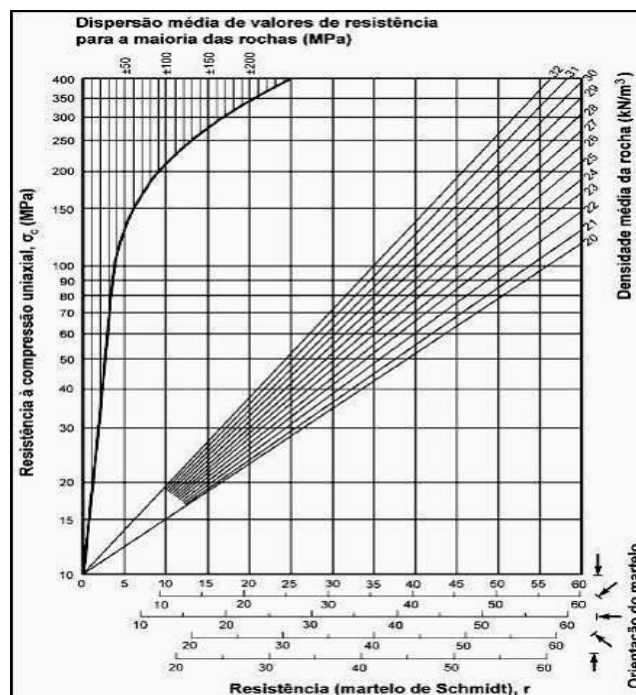


Figura 2 – Apresentação do Ábaco de Miller que relaciona a resistência do esclerômetro com a compressão uniaxial. Fonte: Hoek & Bray (1981).

O Módulo de Elasticidade pode ser determinado a partir de valores de R_L e considerando o peso específico da rocha analisada e o esclerômetro sendo utilizado na vertical, conforme o ábaco da figura 3:

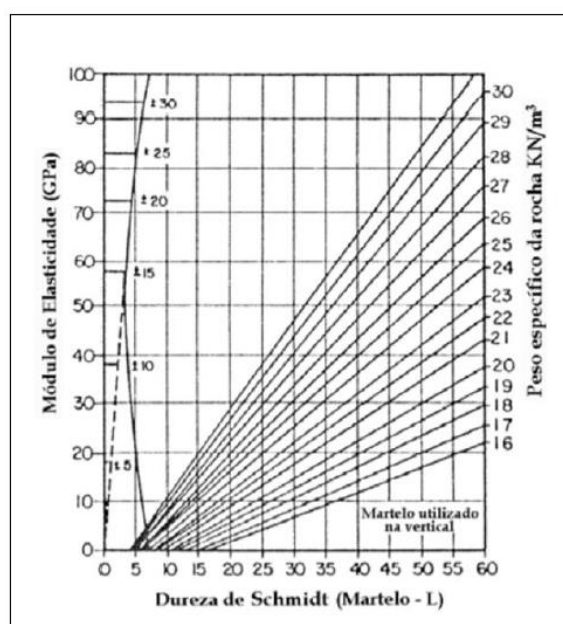


Figura 3 - Apresentação do Ábaco de Miller adaptado que correlaciona R_L e Módulo de Elasticidade. Fonte: Oliveira (2017).

5.2 Método de Aydin & Basu

Por meio de tratamento estatístico de dados e de revisão de literatura, Aydin & Basu (2005) propuseram equações genéricas que relacionam os valores de rebote aferidos pelo esclerômetro com a resistência à compressão uniaxial e com o módulo de elasticidade.

$$RCU = ae^{bR}; \quad E = ce^{dR};$$

$$RCU = aR^b; \quad E = cR^d.$$

Onde,

RCU = resistência à compressão uniaxial;

E = módulo de elasticidade;

R = rebote lido no esclerômetro;

a , b , c e d = constantes positivas dependentes da tipologia e condicionamento de cada rocha. A tabela 1 apresenta correlações propostas por inúmeros autores (cuja compilação encontra-se em Aydin & Basu, 2005), onde são observados os valores das constantes de acordo com a rocha.

Tabela 1 – Apresentação das correlações propostas entre o rebote (R) do Esclerômetro, a Compressão uniaxial e o Módulo de Elasticidade (Aydin & Basu, 2005). OBS: “r” é o coeficiente de regressão (estatística).

CORRELAÇÃO PROPOSTA	r	TIPO DE ROCHA	σ_c (MPa)	R
$\sigma_c = 9,97 * e^{(0,02 * R_L * \rho)}$ $E_t = 0,19 * R_L * \rho^2 - 7,87$	0,94 0,88	28 litologias diferentes	22 - 358	23 - 59
$\sigma_c = 0,33 * (R_L * \rho)^{1,35}$ $E_t = 4911,84 * (R_L * \rho)^{1,06}$	0,80 0,75	25 litologias diferentes	12 - 362	10 - 54
$\sigma_c = 0,00016 * R_L^{3,47}$ $E_t = 1,89 * R_L - 60,55$	- 0,93	Granito (Grau I a IV)	11 - 266	23 - 62
$\sigma_c = 12,74 * e^{(0,02 * R_L * \rho)}$ $E_t = 0,19 * R_L * \rho^2 - 12,71$	-	20 litologias diferentes	38 - 218	-
$\sigma_c = 0,52 * e^{(0,05 * R_L * \rho)}$	-	Carvão, folhelho, lamito, siltito e arenito	-	-

$\sigma_c = 2,00 * R_L$	0,86	Arenito, siltito, lamito e <i>seatearth</i>	12 - 73	10 - 35
$\sigma_c = 0,40 * R_N - 3,60$	0,94	Carvão	3 - 13	15 - 40
$\sigma_c = 0,99 * R_L - 0,38$	0,70	Carvão	7 - 46	12 - 44
$\sigma_c = 0,88 * R_L - 12,11$	0,87	Carvão	13 - 41	28 - 53
$\sigma_c = 4,85 * R_L - 76,18$	0,77	Arenito, siltito, calcário e anidrita	14 - 215	19 - 52
(a) $\sigma_c = 3,32 * e^{(0,04 * R_L * \rho)}$	0,93	Arenitos		
(b) $\sigma_c = 18,17 * e^{(0,02 * R_L * \rho)}$	0,98	Carbonatos	35 - 271	27 - 49
$\sigma_c = 4,29 * R_L - 67,52$	0,96	33 carbonatos		
$E_t = 1,94 * R_L - 33,93$	0,88	diferentes	22 - 311	15 - 60
(a) $\sigma_c = 2,98 * e^{(0,06 * R_L)}$	0,95	Micaxisto	9 - 56	17 - 53
$E_t = 1,77 * e^{(0,07 * R_L)}$	0,96			
(b) $\sigma_c = 2,99 * e^{(0,06 * R_L)}$	0,91	Prasinito	8 - 145	21 - 64
$E_t = 2,71 * e^{(0,04 * R_L)}$	0,91			
	0,94	Serpentinito	-	-
(c) $\sigma_c = 2,98 * e^{(0,063 * R_L)}$	0,88			
$E_t = 2,57 * e^{(0,03 * R_L)}$	0,93	Gabro	-	-
(d) $\sigma_c = 3,78 * e^{(0,05 * R_L)}$	0,95			
$E_t = 1,75 * e^{(0,05 * R_L)}$	0,92	Lamito	-	-
(e) $\sigma_c = 1,26 * e^{(0,52 * R_L * \rho)}$	0,89			
$E_t = 0,07 * e^{(0,31 * R_L * \rho)}$				
$\sigma_c = 0,0001 * R^{3,27}$	0,84	Marga	-	-
$\sigma_c = 0,00045 * (R_N * \rho)^{2,46}$	0,96	10 litologias diferentes	-	-
$\sigma_c = 8,36 * R_L - 416,00$	0,87	Granito	109-193	64 - 72
$\sigma_c = 2,21 * e^{(0,07 * R_N)}$	0,96	Calcário, arenito,		
$E_t = 0,00013 * R_N^{3,09}$	0,99	sienito e granito	11 - 259	24 - 73
$\sigma_c = 2,21 * e^{(0,07 * R_N)}$	0,96	Calcário, arenito,		
$E_t = 0,00013 * R_N^{3,09}$	0,99	sienito e granito	11 - 259	24 - 73
(a) $\sigma_c = 6,97 * e^{(0,01 * R_N * \rho)}$	0,78	Carbonatos	4 - 153	15 - 70
(b) $\sigma_c = 1,45 * e^{(0,07 * R_L)}$	0,92	Granito	6 - 196	20 - 65
$E_t = 1,04 * e^{(0,06 * R_L)}$	0,91	(Classe I a IV)		23 - 76
(c) $\sigma_c = 0,92 * e^{(0,07 * R_N)}$	0,94			
$E_t = 0,72 * e^{(0,05 * R_N)}$	0,92			
$\sigma_c = 2,27 * e^{(0,06 * R_L)}$	0,91	Gipso	15 - 30	30 - 44
$E_t = 3,15 * e^{(0,05 * R_L)}$	0,95			
$\sigma_c = 0,000004 * R_L^{4,29}$	0,89	Carbonatos, arenito e basalto	40 - 112	45 - 55
$\sigma_c = 1,45 * e^{(0,07 * R_L)}$	0,92	Granito		

Trabalhos nacionais (Ávila & Lana, 2013; Rezende et al., 2016 e Oliveira, 2017) apresentam correlações entre o rebote do esclerômetro e a compressão uniaxial, de acordo com a tabela 2, de rochas metamórficas e relativamente comuns (xistos, veios de quartzo e gnaiss).

Tabela 2 – Apresentação de correlações entre o rebote do esclerômetro e a compressão uniaxial em rochas metamórficas.

Rocha	Correlações
Xistos grafitosos, anfibolitos, veios de quartzo	$\sigma_c = 4,98.e^{0,061R}$
Gnaiss	$\sigma_c = 3,8181e^{0,0567R_N}$ $\sigma_c = 3,201 * R_L - 46,59$ $\ln(\sigma_c) = 0,067 * R_N + 0,792$

Os rebotes R_L e R_N dos esclerômetros, respectivamente, dos tipos L e N, se relacionam de acordo com a equação a seguir, satisfazendo as condições: $R_L > 30$ e $R_N > 40$.

$$R_N = 1.0646R_L + 6.3673$$

6. CUIDADOS COM O EQUIPAMENTO

- (1) Cuidados com quedas do esclerômetro ao chão, principalmente, ao se tratar de ensaios em campo;
- (2) Cuidados para não deixar o equipamento cair na água em ensaios de campo;
- (3) Cuidados para não perder o esclerômetro no campo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As recomendações aqui referenciadas foram repassadas do docente coordenador do laboratório de Mecânica das Rochas do CTGA e revisor deste documento, PhD. Pedro Alameda, ao TAE que o elaborou. O laboratório disponibiliza uma planilha para

preenchimento e tratamento dos dados levantados pelos ensaios. Para maiores informações, consultar as recomendações e outras referências a seguir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ávila, C. R. & Lana, M. S. Comportamento geotécnico e classificação geomecânica de maciços rochosos em taludes na região de Belo Horizonte, Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 3, pp. 21-29. 2013.

Aydin, A & Basu, A. The Schmidt hammer in rock material characterization. Eng. Geol. 81:1–14. 2005.

HOEK, E. & BRAY, J. W. Rock slope engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London, 358p. 1981.

ISRM, Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 46:627–634. 2009.

Oliveira, J. R. Classificação e resistência de juntas rochosas sãs e alteradas. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 149 p. 2017.

Rezende, K. S., et al. Correlações entre resistência à compressão uniaxial e dureza de schmidt para alguns anfibolitos e xistos do estado de Minas Gerais, Brasil. VII Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas. Belo Horizonte - MG, Brasil. 2016.

TAE/UFOP MSc. Luiz Henrique Cardoso / SIAPE: 1.340.856
Ouro Preto, 26 de Junho de 2020.