



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

COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ROCHAS

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

A NECESSIDADE DA REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS ROCHAS



Quando se realiza o projeto de uma obra em rocha ou quando se estuda as suas condições de estabilidade é possível utilizar vários métodos, entre eles:

- **Métodos analíticos ou de solução fechada.**
- **Métodos de equilíbrio limite.**
- **Métodos numéricos.**
- **Métodos empíricos.**
- **Analogias fotoelástica e elétrica.**
- **Modelos físicos.**

Para a aplicação destes métodos é necessário um conhecimento do comportamento mecânico da rocha.

Nos "métodos analíticos" e os "métodos numéricos" deve-se representar de uma forma matemática o relacionamento entre tensões, deformações e outras variáveis.

Isto é feito através dos **MODELOS DE MATERIAIS.**



Prensa hidráulica para a realização de ensaios mecânicos em rocha

3



Ensaio de compressão uniaxial em prensa hidráulica

4



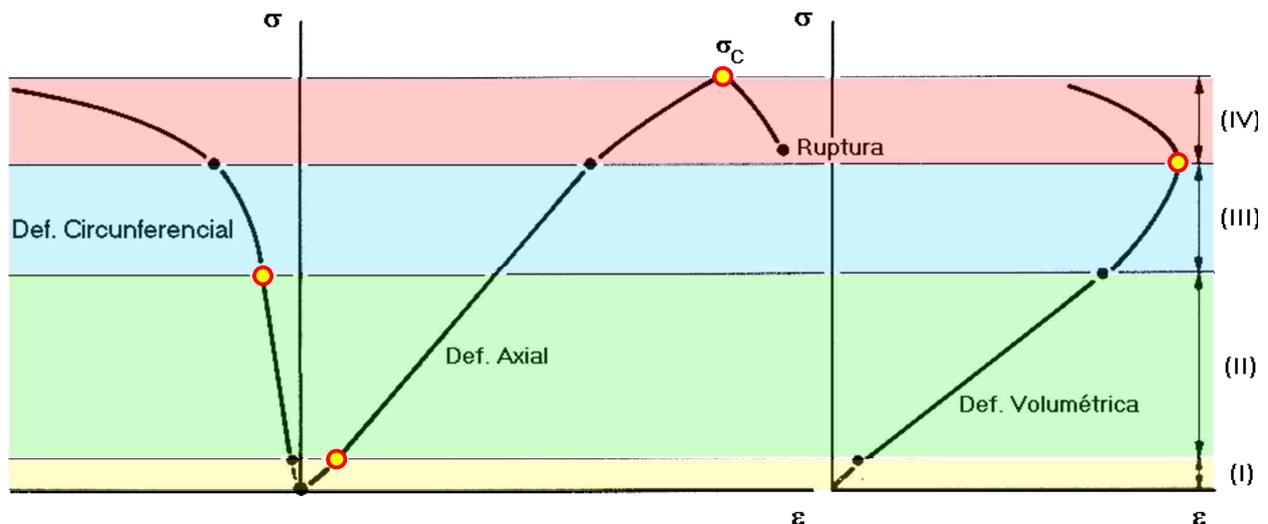
Ensaio de Compressão em Rocha

5

COMPORTAMENTO MECÂNICO TÍPICO DAS ROCHAS

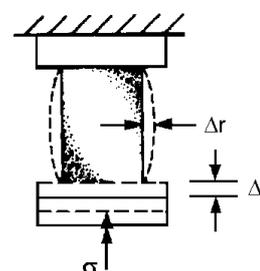


Curvas tensão x deformação para ensaio de compressão:



Quatro fases distintas do comportamento:

- I. Fechamento de poros e fissuras.
- II. Deformação elástica linear.
- III. Propagação estável de fraturas.
- IV. Propagação instável de fraturas.



$$\epsilon_A = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\epsilon_C = \frac{\Delta r}{r_0}$$

$$\epsilon_V = \epsilon_A + 2\epsilon_C$$

6



Durante muitos anos, os engenheiros se basearam na lei de Hooke para explicar o comportamento " $\sigma \times \varepsilon$ " dos materiais.

Métodos baseados no comportamento elástico são comumente aplicadas para o projeto de estruturas e componentes feitos de metais e outros materiais que exibem comportamento linear nas condições de uso.

Infelizmente, a lei de Hooke não representa adequadamente a relação " $\sigma \times \varepsilon$ " para as rochas, pois estas apresentam comportamentos complexos, tais como: fratura frágil, microfissuras, fluência etc.

Existe, assim, a necessidade do desenvolvimento de outros modelos.

7

PARA REPRESENTAR O COMPORTAMENTO MECÂNICO SÃO DESENVOLVIDOS OS MODELOS DE MATERIAIS



Procedimento:

- O material é ensaiado e o seu comportamento é observado.
- Formula-se hipóteses para explicar o comportamento do material.
- É desenvolvido um modelo matemático.
- O modelo é utilizado para prever o comportamento em situações ainda não testadas e confronta-se com resultados de novos ensaios.
- As hipóteses e o modelo matemático são então modificados para incluir os novos comportamentos observados.

Este processo é trabalhoso e demorado, e a dificuldade cresce com a complexidade do comportamento do material que se deseja representar.

8



Estes modelos são chamados de:

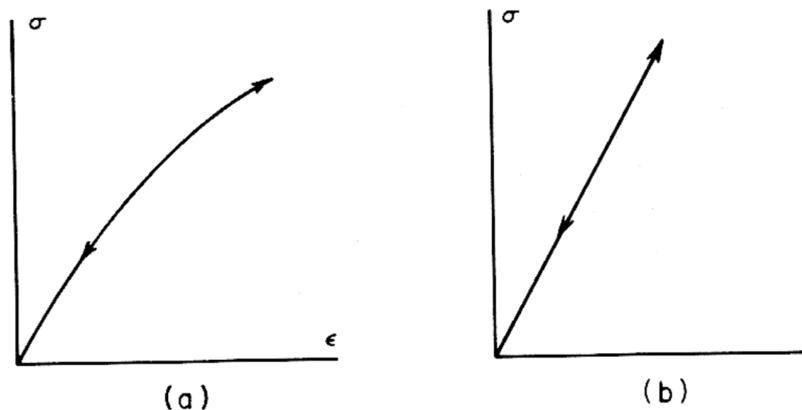
“Modelos Constitutivos de Materiais”
ou
“Modelos Reológicos”.

REOLOGIA

Ramo da mecânica que estuda as deformações e o fluxo da matéria, especialmente o comportamento dos materiais ante seus limites de resistência à deformação.



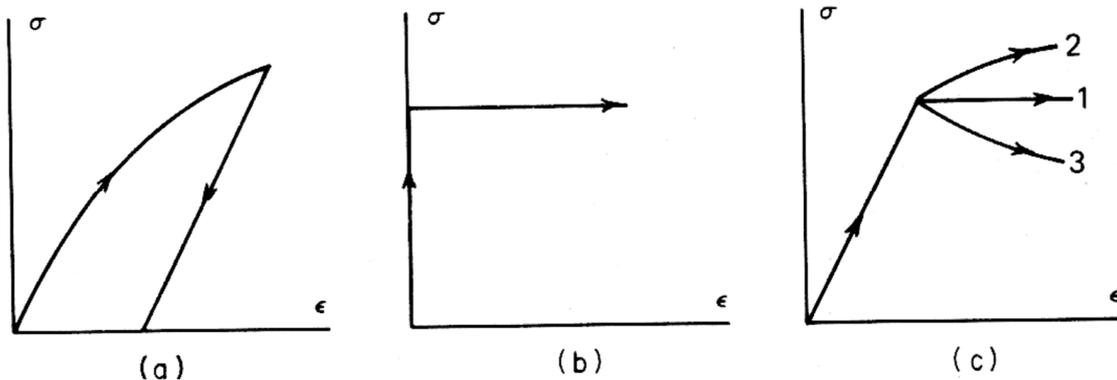
ELEMENTO ELÁSTICO



a) Elástico não-linear e b) Elástico linear



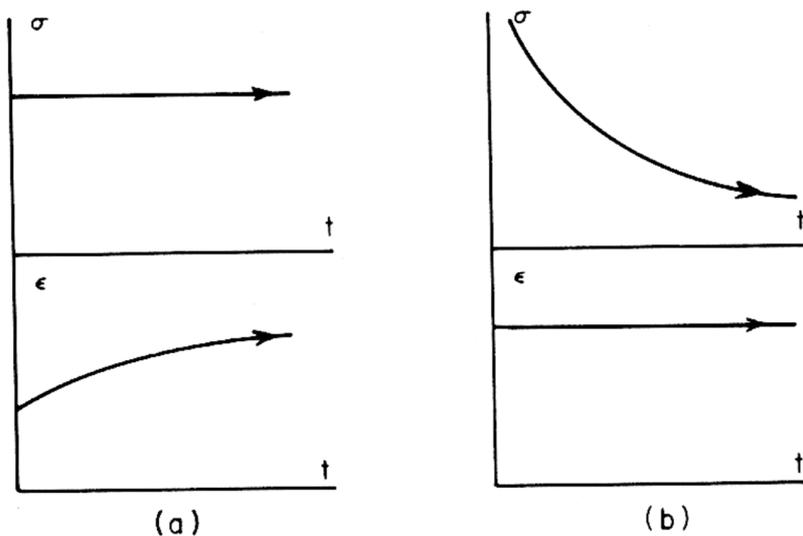
ELEMENTO ELASTOPLÁSTICO



a) Plástico, b) Perfeitamente plástico, c) Elastoplástico, c1) Perfeitamente elastoplástico, c2) Elastoplástico com endurecimento e c3) Elastoplástico com amolecimento



ELEMENTO VISCOELÁSTICO



a) Viscoelástico com fluência e b) Viscoelástico com relaxação



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

DESAI, C. S.; SIRIWARDANE, H. J. Constitutive laws for engineering materials with emphasis on geologic materials. New Jersey, Prentice-Hall, 1984.

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

JAEGER J. C.; COOK, N. G. W. Fundamentals of rock mechanics. Chapman and Hall, 3 ed, London 1976.



OBRIGADO!

**Contato:
Prof. Eduardo César Sansone
esansone@usp.br**