

Módulos estáticos de deformação e módulos dinâmicos de elasticidade das massas rochosas

1. INTRODUÇÃO

Há já talvez algumas dezenas de anos que se tem procurado determinar características de deformabilidade das massas rochosas destinadas a servir de apoio ou de fundação a obras de engenharia civil, nomeadamente de barragens, pela aplicação a elas de pressões normais, obtidas por processos vários e actuando em superfícies igualmente variadas, e consequente medição dos deslocamentos resultantes.

É mais recente a preocupação de por meio da determinação da velocidade de propagação de ondas, produzidas por pancada brusca de uma massa ou mais frequentemente por detonação de pequenas cargas explosivas, se obterem também características de deformabilidade das mesmas massas rochosas.

Sucedem entretanto que a aplicação de pressões normais a superfícies rochosas pode fornecer um panorama relativamente minucioso das deformações sofridas pela superfície ensaiada, desde que o número de ciclos de carga e as pressões alcançadas sejam adequadas. Por outro lado a determinação de velocidades de propagação de ondas fornece praticamente apenas uma medida da elasticidade pura, instantânea, da massa rochosa, embora esta, com maior ou menor minúcia, se possa estender a grandes volumes da massa rochosa.

Ambas as situações têm os seus aspectos positivos e negativos, não só quanto à utilidade dos elementos a que con-

duzem, como também quanto à representatividade que significam em relação às massas rochosas que se pretende conhecer.

2. DISPARIDADE DE RESULTADOS

Depois de durante algum tempo estas duas tendências se terem contraposto, tentando até certo ponto excluírem-se mutuamente, chegou-se à sua aplicação simultânea a determinadas massas rochosas. Mas os resultados e conclusões a que se chegava eram apresentados isoladamente quando não na ignorância ou no desprezo de uns em relação aos outros.

Das primeiras comparações de resultados fornecidos por ambos os procedimentos resultava claramente uma disparidade notória, já que as características de deformabilidade traduzidas por uns e outros eram também diferentes. As primeiras tentativas no sentido de os tornar comparáveis tiveram logicamente a preocupação de reduzir os resultados dos ensaios sísmicos ou dinâmicos a valores idênticos aos dos resultados dos ensaios estáticos, já que são as deformações totais, de natureza estática, aquelas que maior interesse têm para os projectistas, embora possa ter também utilidade o conhecimento das parcelas elásticas e não elásticas que perfazem essas deformações totais.

Com esta preocupação vieram a ser aplicados coeficientes, quer arbitrariamente escolhidos, quer deduzidos de comparações efectuadas por alguns autores, por vezes extrapoladas para locais com tipos de rocha semelhantes, quer ainda resultantes de considerações teóricas alheadas do comportamento real das massas rochosas.

Por outro lado, o mecanismo de deformação das massas rochosas e as influências que factores mais ou menos alheios, a essas massas, tinham na determinação das deformações totais, de superfícies ensaiadas por intermédio de pressões normais, foram sendo conhecidos cada vez com maior profundidade [1], [2], [3], [4].

3. DEFORMAÇÃO E ELASTICIDADE. RELAÇÕES

Este melhor conhecimento do comportamento da massa rochosa e da sua deformabilidade levou-nos, quando encarregados de contribuir para o estudo desta sua característica em locais destinados a servir de fundação ou apoio a obras de engenharia civil, a estabelecer ou a precisar, de entre as deformações totais obtidas pela aplicação de pressões normais, quais as que melhor poderão corresponder à elasticidade pura, instantânea, traduzida pela determinação de velocidades de propagação de ondas. Este critério permitiria, uma vez estabelecido, localmente, para cada tipo de rocha, uma correlação estatística entre a deformação total, para pressão normal e um período de tempo adequados, e a deformação instantânea de natureza puramente elástica, concluir da relação que seria de esperar existir entre os módulos de elasticidade dinâmicos e os módulos de deformação total, correspondentes estes às pressões normais e períodos de tempo considerados. É evidente que, para um mesmo tipo de rocha e com os conhecimentos hoje vulgarizados, esta correlação poderá conduzir a resultados muito diversificados, por virtude das influências que a idade, o estado de alteração, o estado de fissuração, etc., etc., têm na deformabilidade das massas rochosas.

Essa mesma correlação permitirá que os módulos dinâmicos de elasticidade, mais ou menos estendidos a uma massa rochosa em estudo, e mais ou menos pormenorizados, consoante a planificação dos ensaios sísmicos efectuados, possam ser reduzidos a módulos de deformação, comparáveis aos fornecidos em determinados locais por ensaios estáticos, mas sem alguns dos condicionalismos próprios destes.

O autor em 1960 e 1961, como técnico do Laboratório Na-

cional de Engenharia Civil, superiormente dirigido pelo Eng. Manuel Rocha, e para reconhecimentos sísmicos efectuados nos locais das barragens do Alto Rabagão e da Bemposta, respectivamente, veio a estabelecer um coeficiente, K , entre módulos de deformação total e de elasticidade instantânea ($K = E_{def} / E_{el}$) cuja distribuição estudou no plano de $E_{def} = f(K)$, com os elementos que tinha à sua disposição, resultantes dos ensaios de carga realizados. As fig. 1 e 2 apresentam para os locais citados a distribuição desse coeficiente.

Com agradável surpresa tivemos conhecimento de ter sido divulgada, em reunião internacional, e em algumas publicações, por reputado cientista e investigador nacional, entre variados problemas relativos a mecânica das rochas, a distribuição estudada, para um desses reconhecimentos sísmicos, do coeficiente K [7], [8].

Entretanto, diferentes autores têm estado a estabelecer relações e índices com a mesma finalidade e seguindo caminhos diversos [10], [11], [12], [13].

4. COMENTÁRIOS

Por ter sido chamada a atenção para essa distribuição, o autor não queria, entretanto, deixar de acrescentar que julga como melhor maneira de estudar este tipo de distribuições a promoção, no local, de ensaios estáticos, em pequena escala, em que os efeitos de descompressão, fracturação e fissuração das massas rochosas, junto das superfícies ensaiadas, seriam nulos ou pelo menos mínimos.

Deste modo, obter-se-ia uma melhor definição dos ramos ascendentes das curvas $E_{def} = f(K)$, pois que muitos dos pontos da zona inferior das distribuições apresentadas se

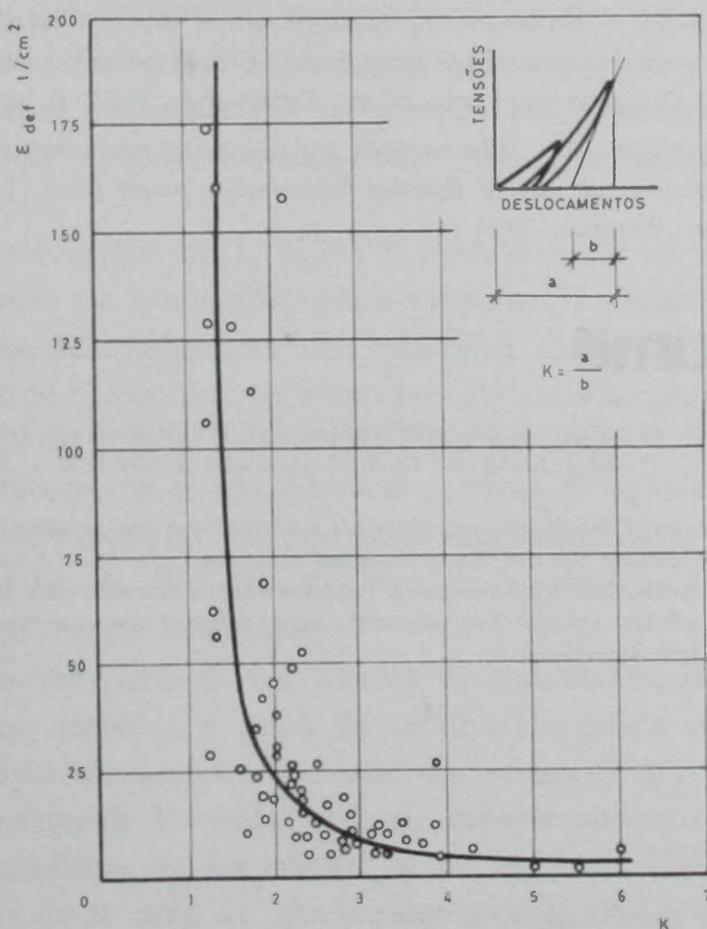


Fig. 1

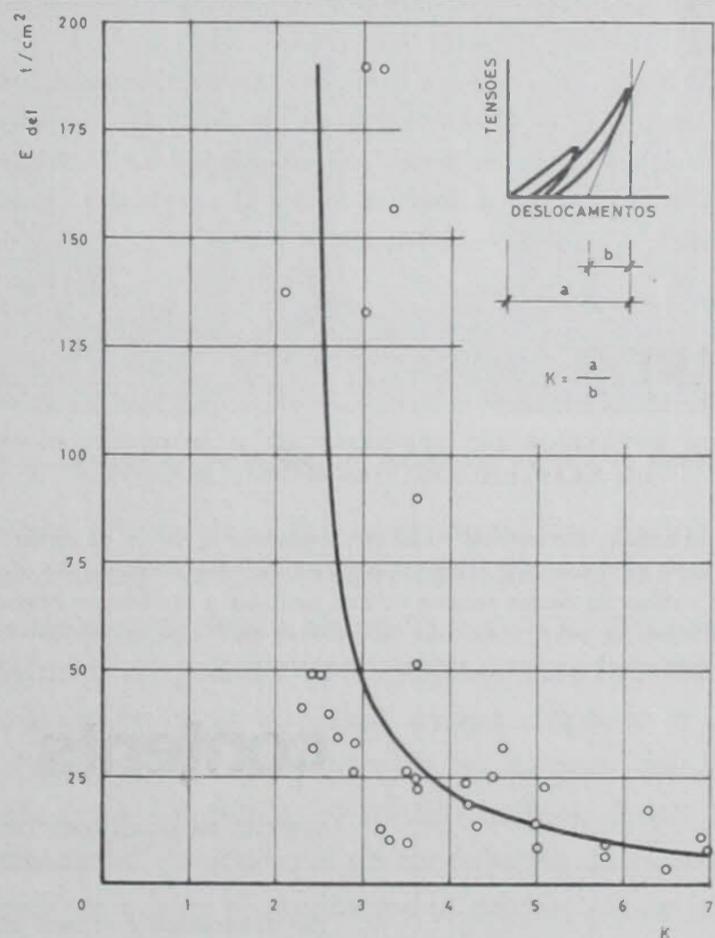


Fig. 2

não fossem aquelas descompressões, fracturações e fissurações, deveriam corresponder a E_{def} mais elevados e a K mais reduzidos.

A realização destes ensaios estáticos, quer utilizando superfícies de carga cilíndricas em furos de sonda apropriados, quer utilizando superfícies planas em fendas estreitas, abertas cuidadosamente a partir de galerias, não eliminaria a conveniência da realização dos ensaios estáticos em grande escala, podendo, da mesma maneira, os resultados destes entrar no estudo daquelas distribuições. Apenas o seu número poderia vir a ser reduzido [5], [6], [13].

A realização destes ensaios estáticos em pequena escala deveria ser estudada em conjunto com os realizados em galeria, proporcionando possíveis correlações interessantes, dentro e fora do âmbito das distribuições cujo estudo se refere. Mais ainda, a implantação desses ensaios estáticos em pequena escala deveria ainda ser enquadrada com a implantação de ensaios microsísmicos abrangendo as mesmas massas, proporcionando-se, assim, um método de comprovação e aferição na determinação dos coeficientes K . Com efeito, a determinação prática destes coeficientes pode, con-

soante os casos, apresentar maior ou menor dificuldade, sendo, como é, baseada na avaliação da deformação no início da descarga dos ensaios estáticos. Por outro lado, destinando-se, fundamentalmente, este coeficiente K a tornar comparáveis os resultados dos ensaios dinâmicos aos dos ensaios estáticos, parece que não se deverá desprezar a possibilidade de esses mesmos ensaios dinâmicos poderem contribuir para uma mais fácil e conveniente determinação dos próprios coeficientes K .

AGRADECIMENTO

O autor agradece ao Eng. Manuel Rocha, ilustre Director do Laboratório Nacional de Engenharia Civil a autorização que lhe foi amavelmente concedida, para publicação das passagens deste artigo relativas à sua actividade nesse organismo público, que serviu entre 1958 e 1961 ■

C. CARDOSO FERREIRA
Engenheiro Civil (I. S. T.)

BIBLIOGRAFIA

- [1] ROCHA, M., J. L. SERAFIM, A. F. SILVEIRA e J. R. NETO — *Deformability of foundation rocks*, V Congress on Large Dams, Paris, 1955, Q. 75.
- [2] TALOBRE, J. — *La mécanique des roches*, Dunod, Paris, 1957.
- [3] KUJUNDZIC, B. — *Mesure des caractéristiques des roches en place*, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Mai 1958.
- [4] OBERTI, G. — *Experimentelle Untersuchungen über die Charakteristika der Verformbarkeit der Felsen*, Geologie und Bauwesen, Vol. 25, n.º 2-3, 1960.
- [5] NÖEL, G. — *Mesure du module d'élasticité en profondeur dans les massifs rocheux*, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Mai 1963.
- [6] MAYER, A. — *Recent work in rock mechanics*, Géotechnique, 1963.
- [7] SERAFIM, J. L. — *Considerações da mecânica das rochas no projecto de barragens de betão*, «Electricidade» n.º 30, Abril-Junho 1964 (Conference on State of Stress in the Earth's Crust, Santa Mónica, Califórnia — USA, 1963.
- [8] SERAFIM, J. L. — *Étude des fondations rocheuses des barrages en béton*, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Mai 1964.
- [9] MÜLLER, L. — *Der Felsbau*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1964.
- [10] MASUDA, H. — *Utilization of elastic longitudinal wave velocity for determining the elastic property of dam foundation rock*, VIII Congress on Large Dams, Edimburgh, R. 13, Q. 28.
- [11] Groupe de Travail Français. *La déformabilité des massifs rocheux, analyse et comparaison des résultats*, VIII Congress on Large Dams, Edimburgh, 1964, R. 15, Q. 28.
- [12] LINK, H. — *Evaluation of elastic moduli of dam foundation rock determined seismically in comparison to those arrived at statically*, VIII Congress on Large Dams, Edimburgh, 1964, R. 45 Q.28.
- [13] KUJUNDZIC, B. — *The methods and results of geotechnical investigation at the site of Djerdap hydroelectric power plant*. Transactions, Beograd, 1964.

resumo

MÓDULOS ESTÁTICOS DE DEFORMAÇÃO E MÓDULOS DINÂMICOS DE ELASTICIDADE DAS MASSAS ROCHOSAS

A deformabilidade das massas rochosas destinadas a servir de apoio a obras de engenharia civil tem sido estudada por meio de ensaios estáticos e dinâmicos. A melhor utilização destes ensaios deverá conduzir à apreciação conjunta dos seus resultados. O autor apresenta um critério para essa apreciação conjunta e alguns comentários sobre a maneira de a abordar.

résumé

MODULES STATIQUES DE DEFORMATION ET MODULES DYNAMIQUES D'ELASTICITE DES MASSIFS ROCHEUX

La déformabilité des massifs rocheux dans les fondations des ouvrages de génie civil a été étudiée par des essais statiques et dynamiques. Pour ces essais la meilleure utilisation doit amener à l'appréciation d'ensemble des résultats. L'auteur présente un critérium pour cette appréciation d'ensemble et quelques commentaires concernant.

contents

STATIC MODULI OF DEFORMATION AND DYNAMIC MODULI OF ELASTICITY OF ROCK MASSES

The deformability of rock masses in the foundation of civil engineering works has been investigated by static and dynamic procedures. The best utilization of those must tend to the whole appreciation of their results. The author presents a criterion for that and some considerations about it.