

UM MÉTODO DE INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS NA OBSERVAÇÃO DA CARGA DE TIRANTES EM ROCHA*

A quantitative method of analysis in the monitoring of loads in rock anchors

por

JOÃO FRANCISCO A. SILVEIRA**

RESUMO – O presente trabalho vem destacar a importância da observação de carga em tirantes e alertar sobre as grandes vantagens que poderão advir da realização sistemática de programas de instrumentação de tirantes em rocha.

São abordados os vários processos utilizados na auscultação da carga de tirantes, dando-se ênfase à instrumentação através do emprego de células de carga.

O principal objectivo do trabalho está na elaboração de uma análise detalhada dos vários factores responsáveis pela perda de carga de tirantes e na proposição de um método de interpretação quantitativa dos resultados obtidos na observação dessa carga.

Apresenta-se, ao final, as principais conclusões e recomendações resultantes da análise efectuada.

SYNOPSIS – This paper emphasizes the importance of monitoring the loads in rock anchors and points out the advantages that may occur with the systematic planing of rock anchors instrumentation.

Several techniques of measuring the loads in rock anchors are mentioned, emphasizing the instrumentation through load cells.

The mains purpose of this paper is to analyses in detail the various factors responsible for the lossening of rock bolts and to propose a quantitative method of interpretation of results obtained by monitoring techniques.

Conclusions and recommendations based on the analysis of data obtained by the author are also presented.

* Trabalho recebido em Junho 1977. A sua discussão está aberta durante um período de três meses. Trabalho apresentado no Simpósio sobre Instrumentação de Campo em Engenharia de Solos e Fundações, Rio de Janeiro, 1975.

** Mestre pela Escola Politécnica da USP. Engenheiro da Divisão de Barragens, Promon Engenharia S.A. São Paulo. GEOTECNIA 22

1 – INTRODUÇÃO

Face às características que vêm assumindo nos últimos anos as obras rodoviárias e ferroviárias, nas regiões sudeste e sul do Brasil, interligando as metrópoles do planalto e do litoral, inúmeras obras de engenharia têm sido executadas, envolvendo grandes cortes e extensos túneis. Principalmente, em se considerando as características geológicas, topográficas e climáticas das regiões atravessadas, isto é, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, seria redundância pretender enfocar aqui a gravidade dos problemas geotécnicos defrontados em tais projectos. Basta lembrar-se, por exemplo, a complexidade geológica e estrutural de tais maciços pré-cambrianos, onde além da ocorrência de tipos litológicos os mais variados (granitos, gnaisses, xistos, filitos, quartzitos, anfibolitos, etc.), todos eles sendo encontrados desde a rocha sã até o solo de alteração, ocorrem ainda frequentes falhamentos geológicos e enormes corpos de talus; estes já tão amplamente conhecidos, pelos graves problemas e acidentes que tem causado e que são frequentemente agravados pelo elevado índice pluviométrico da região.

Assim sendo, inúmeras são as obras de contenção envolvidas nos projectos supracitados. Como exemplo, destaca-se que, apenas na pista ascendente da Rodovia dos Imigrantes, o número de tirantes necessários às obras de contenção foi da ordem de 4.000.

A observação de carga em tirantes é de extrema importância, em qualquer obra de engenharia, porém, nas regiões mencionadas, face à complexidade dos problemas geológico-geotécnicos locais e ao grande número de tirantes envolvidos nas obras de contenção de cortes e de encostas naturais, especial atenção devem merecer os programas de auscultação dos mesmos, já que os seus resultados poderão reflectir-se em economias significativas para o projecto.

O autor crê, que somente através de programas sistemáticos de instrumentação para a auscultação da carga de tirantes, é que se poderá dispor de informações que possibilitarão um controlo mais racional dos vários factores responsáveis pela perda de carga de tirantes, garantindo-se, ao longo do tempo, cargas de trabalho mais reais e possibilitando a elaboração de projectos cada vez mais seguros e económicos.

2 – A INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Até há pouco tempo, diversos processos e técnicas vinham sendo utilizadas para a determinação da carga de tirantes e chumbadores (Costa Nunes e Vieira Dias, 1975). Dentre estes processos pode-se citar, por exemplo:

- reprotensão de ancoragens;
- verificação da folga de uma aduela elástica sob a cabeça do tirante;
- verificação da elongação da barra de aço, ou de um dos fios do tirante, com o auxílio de um alongâmetro.

Tratavam-se porém de processos, ora muito laboriosos, ora pouco precisos, ora exigindo acesso a uma determinada parte da barra ou dos cabos. Actualmente, com o advento das modernas células de carga para tirantes, instrumentos estes que se caracterizam pela sua precisão e reprodutibilidade de leituras, aquelas técnicas praticamente caíram em desuso.

As células de carga para tirantes apresentam em geral o formato de um anel achatado ou de uma almofada plana perfurada na parte central, sendo instaladas conjuntamente com o tirante, entre a cabeça do mesmo e a placa de distribuição de carga. Poderão ser, quanto ao princípio de funcionamento, mecânicas, fotoelásticas, eléctricas e hidráulicas.

– *Células Mecânicas*

Em geral são constituídas por duas placas rígidas, entre as quais se aloja um sistema de molas prato tipo “Belleville”. Quando carregadas, a deformação do sistema de molas é detectada por relógios comparadores, com precisão de micras. (células I.P.T. e INTERFELS) (Fotos 1 e 2). Existem ainda outros tipos de células mecânicas, em que o sistema deformável é constituído por uma alternância de placas planas e onduladas (célula RESPLAT), ou por cilindros metálicos carregados segundo geratrizes opostas (célula TECNODINA).

– *Células Fotoelásticas*

São constituídas por um anel de aço, no interior do qual se aloja um cilindro de material fotoelástico. Este cilindro, quando carregado diametralmente, transmite a deformação para o cilindro fotoelástico, o qual, uma vez iluminado com luz monocromática polarizada, permite a visualização das franjas fotoelásticas. A carga

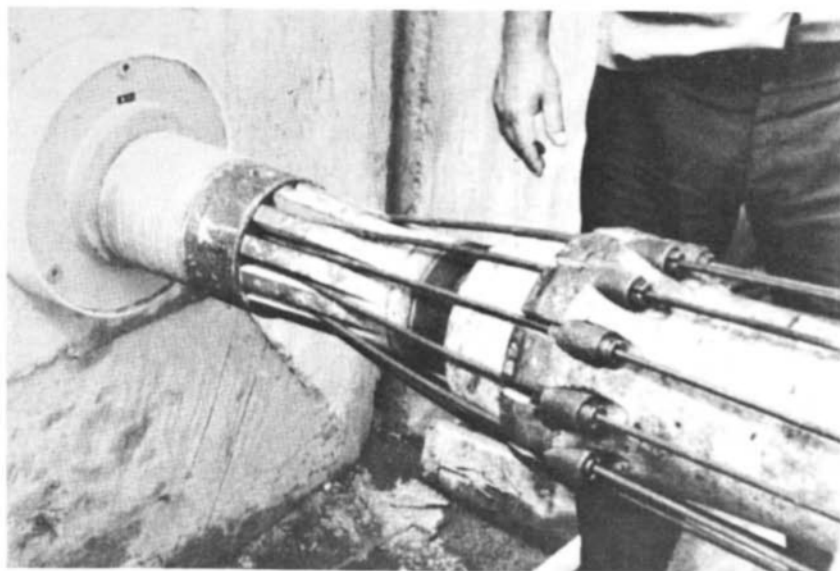


Foto 1 – Detalhe da instalação da célula de carga mecânica tipo I.P.T. em tirante de 12 Ø 8 mm (CT=40ton)

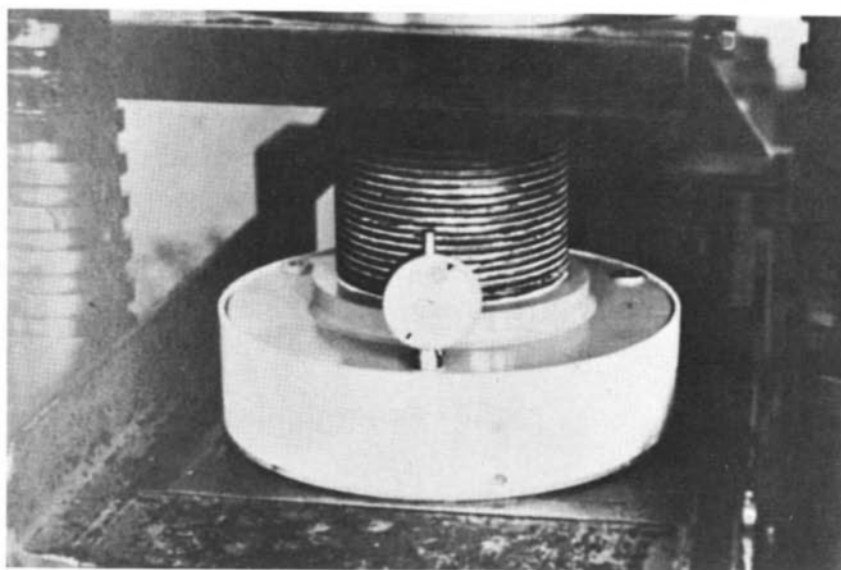


Foto 2 – Detalhe da calibração de uma célula de carga em laboratório

é determinada através de uma calibração, em que se associa a carga com o número de franjas fotoelásticas.

– *Células Eléctricas*

As células eléctricas são em geral constituídas por um cilindro de aço carregado axialmente, cuja deformação é detectada por transdutores eléctricos de deformação. Estes poderão ser constituídos, ou por extensómetros eléctricos de resistência (strain gage), ou por extensómetros de corda vibrante.

Estas células destacam-se das demais pela sua elevada sensibilidade, porém apresentam os inconvenientes do custo elevado e da baixa resistência às condições ambientais externas (vibrações, humidade, etc.).

– *Células Hidráulicas*

São constituídas por uma almofada plana, deformável, em forma de um toróide. Quando carregadas transmitem a pressão aplicada a um manómetro através do sistema hidráulico da célula.

Na Tabela 1 estão relacionados, para as principais células de carga, os seus princípios de funcionamento e as suas características técnicas.

3 – ANÁLISE DA PERDA DE CARGA DE TIRANTES

As considerações que se seguem têm por objectivo a elaboração de uma análise minuciosa dos vários factores que conduzem um tirante a apresentar perda de carga na instalação, ou ao longo do tempo, de modo a alertar sobre os principais aspectos que devem ser considerados nos projectos de atirantamento e, principalmente, fornecer subsídios para a interpretação quantitativa dos resultados fornecidos pela instrumentação de auscultação.

Antes da análise dos vários factores responsáveis pela perda de carga de tirantes, deve-se ressaltar que um dos que têm conduzido a apreciáveis diferenças entre as cargas de trabalho especificadas em projecto e aquelas realmente observadas durante a instalação, é a falta de calibração dos equipamentos (conjunto macaco-manómetro), utilizados na protensão dos tirantes. Esta observação é fruto da auscultação de algumas dezenas de tirantes devidamente instrumentados com

TABELA 1 – CÉLULAS DE CARGA PARA TIRANTE

TIPO	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	CARGA MÁXIMA (ton.)	PRECISÃO (% ESCALA TOTAL)	FABRICANTE
FOTOELÁSTICA	Cilindro fotoelástico carregado diametralmente, leitura visual do número de franjas fotoelásticas.	13,5	0,5	TERRAMETRICS
MECÂNICA	Sistema de molas prato em paralelo. Leitura com relógio comparador.	20/30/60	1,0	IPT-DMGA
MECÂNICA	Sistema de molas prato em série. Leitura com relógio comparador.	40/90/120/170/230	0,4	INTERFELS
CORDA VIBRANTE	A deformação de um anel de aço carregado axialmente é detectada por transdutores de corda vibrante.	20/50/100/200/300	0,2 – 0,03	MAIHAK
CORDA VIBRANTE	A deformação de um cilindro de aço carregado axialmente é detectada por transdutores de corda vibrante.	50/250/500	0,1 – 0,2	TELEMAC
CORDA VIBRANTE	A deformação de um anel de aço carregado axialmente é detectada por transdutores de corda vibrante.	10/25/50/100/150/200	1,0	SOIL INSTRUMENTS
RESISTÊNCIA ELÉCTRICA	Deformação de um anel de aço carregado axialmente é detectada por um transdutor eléctrico.	20/40/60/150/300 600/1250	0,05 0,02	TERRAMETRICS
HIDRÁULICA	A pressão do fluido de uma almofada flexível é detectada por um manómetro	25/50/75/100/200	1,0	GLOETZL

células de carga. Recomenda-se, portanto, que seja dada a máxima importância à calibração dos equipamentos de protensão, calibração esta que deverá ser repetida periodicamente ao longo de toda a fase de instalação dos tirantes.

3.1 – Perda de Carga “Instantânea”

Por perda de carga “instantânea” entende-se a perda de carga que ocorre durante os instantes iniciais da instalação. Difere da perda de carga subsequente pela variação desta no tempo. Observações em tirantes instalados em maciços rochosos de origem pré-cambriana, constituídos por tipos litológicos e estados de alteração os mais variados possíveis, têm revelado que este período vai desde a aplicação da carga de trabalho até duas a três horas após, quando então as perdas de carga aparentemente se estabilizam.

Os principais factores responsáveis por esta parcela da perda de carga são:

- a) Fluência instantânea do maciço rochoso devido a aplicação do estado de tensão impostos pelo atirantamento.
- b) Deformações provocadas pelo escoamento “instantâneo” do aço.
- c) Escorregamentos ou acomodações dos cabos de aço, por ocasião da cravação do sistema de cones “macho” e “fêmea”.
- d) Escorregamentos no interior do maciço rochoso, ao longo do trecho de ancoragem.

Esta última parcela é, em regra, evitada, uma vez que se procede antes da instalação definitiva, à aplicação de uma carga de ensaio, geralmente 60% a 80% superior à carga de trabalho. Deste modo, o escorregamento total do tirante, ou qualquer pequena acomodação do trecho de ancoragem, ocorre durante esta fase, e não, posteriormente, durante a aplicação da carga de trabalho.

Permanecem pois os casos a) e b), o primeiro condicionado às características geotécnicas do maciço e à carga do tirante e, o segundo, condicionado ao tipo de tirante utilizado. Pode-se entretanto, através da observação sistemática de carga em tirantes com a mesma capacidade de carga, instalados em maciços com semelhantes condições geológico-geotécnicas, conhecer precisamente a parcela de perda de carga “instantânea”.

A instrumentação de algumas dezenas de tirantes, instalados em maciços rochosos de origem pré-cambriana, constituídos por granitos-gnaisses e/ou xistos-filitos, tem revelado valores para esta parcela da perda de carga entre 5 e 15% da carga de trabalho.

3.2 – Perda de Carga ao Longo do Tempo

Esta parcela da perda de carga ocorre durante toda a vida útil dos tirantes. As suas principais causas, são:

- a) perda de carga causada pela fluência do maciço rochoso (δ_{FL});
- b) perda de carga causada por alterações das características elásticas, ou escorregamento dos cabos, devido a processos de corrosão (δ_{COR});
- c) perda de carga causada por deformações do maciço rochoso, como consequência de alterações das suas propriedades devido a processos intempéricos, de lixiviação, etc. (δ_{ALT});
- d) perda ou ganho de carga provocado pela contracção ou dilatação do bulbo de rocha, associados ao progresso das escavações vizinhas (δ_{ESC}).

Pode-se expressar a perda de carga ao longo do tempo da seguinte forma:

$$\Delta C_t = \delta_{FL} - \delta_{COR} - \delta_{ALT} \pm \delta_{ESC} \quad (I)$$

Poder-se-ia incluir ainda a parcela de perda de carga provocada pelo escoamento “lento” do aço. Considerou-se, entretanto, que esta parcela poderia ser desprezada para os fins práticos à que esta análise se propõe.

Nesta expressão, sob determinadas condições, pode-se desprezar o termo δ_{COR} , já que praticamente todos os tipos de tirantes são devidamente protegidos contra a corrosão através de técnicas especiais. Fica patente, portanto, a importância de se estudar devidamente a eficiência destas técnicas de protecção, para que se possa garantir a inexistência da parcela δ_{COR} durante a vida útil do tirante. Também a parcela δ_{ALT} poderá, em regra, ser desprezada, já que a mesma só deverá ocorrer em casos muito especiais.

Assim, a expressão (I) se reduz para:

$$\Delta C_t = \delta_{FL} \pm \delta_{ESC} \quad (II)$$

4 – ESTUDO DA FLUÊNCIA DOS MACIÇOS ROCHOSOS E A SUA IMPLICAÇÃO NA PERDA DE CARGA DE TIRANTES

A fluência dos maciços rochosos apresenta uma evolução de deformações no tempo, do tipo geral indicado na Fig. 1, na qual se pode distinguir claramente as fases I, II e III.

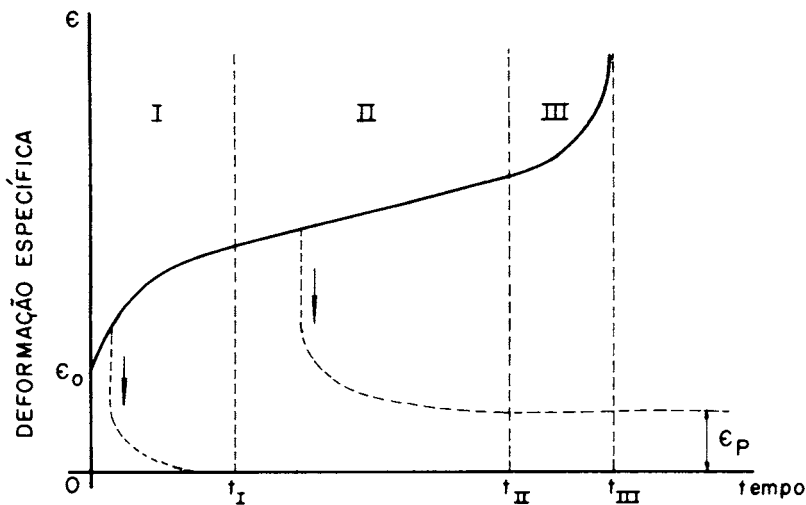


Fig. 1 – Curva geral de fluência dos maciços rochosos

Inicialmente, a compressão aplicada determina uma deformação instantânea ϵ_0 , a qual já foi considerada no item 3.1 a). Seguem-se as fases I, II e III, caracterizadas por diferentes taxas de evolução das deformações no tempo, denominadas respectivamente de, fluência retardada (fase I), fluência estacionária (fase II) e fluência acelerada (fase III). Esta última fase só ocorre para tensões bastante elevadas, conduzindo geralmente a um estágio de ruptura. Para as tensões em jogo num maciço rochoso atirantado, interessam apenas as fases I e II.

Para o tratamento analítico destas fases, considere-se inicialmente o modelo reológico de Burgers, que é, dentre os modelos reológicos mais complexos, aquele que maior interesse apresenta para a Mecânica das Rochas. Este modelo é constituído pela associação, em série, de um modelo de Maxwell e um de Kelvin conforme ilustra a Fig. 2-(a).

A sua equação reológica é:

$$Kk \cdot \ddot{\epsilon} + Ek \cdot \dot{\epsilon} = \frac{Kk}{Em} \ddot{\sigma} + \left(1 + \frac{Kk}{Km} + \frac{Ek}{Em}\right) \dot{\sigma} + \frac{Ek}{Km} \sigma \quad (III)$$

- ϵ – deformação específica
- $\dot{\epsilon}$ – derivada 1a da deformação específica
- $\ddot{\epsilon}$ – derivada 2a da deformação específica

- σ – tensão
 $\dot{\sigma}$ – derivada 1a de tensão
 $\ddot{\sigma}$ – derivada 2a de tensão
 E_m – módulo de elasticidade do modelo de Maxwell
 K_m – constante que caracteriza o amortecedor do modelo de Maxwell
 E_k – módulo de elasticidade do modelo de Kelvin
 K_k – constante que caracteriza o amortecedor do modelo de Kelvin.

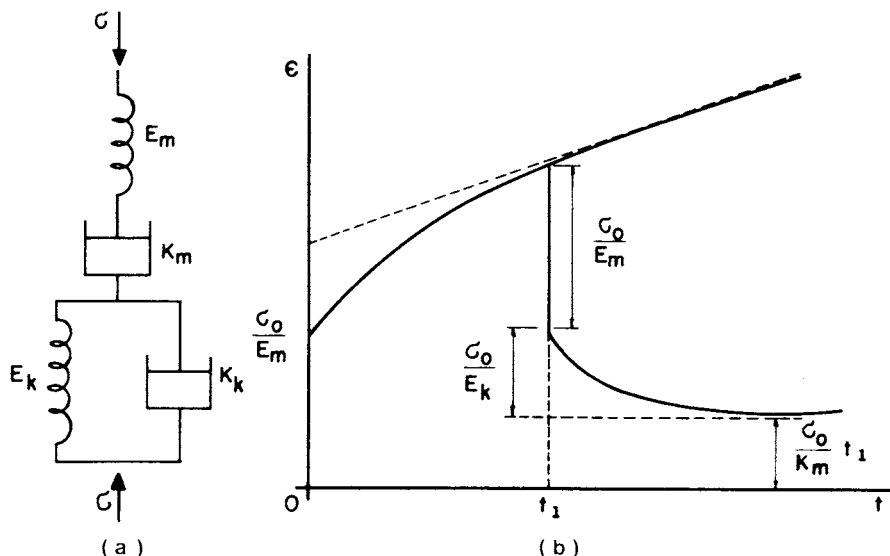


Fig. 2 – Curva representando o comportamento de fluência do material de Burgers

Para o caso da instalação de tirantes, em que se pode considerar a aplicação no instante inicial, $t = 0$, (em que $\epsilon = 0$), de uma tensão inicial σ_0 , a equação acima fornece a seguinte expressão para o estudo das deformações ao longo do tempo:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E_m} + \frac{\sigma_0}{K_m} \cdot t + \frac{\sigma_0}{E_k} \left(1 - e^{-\frac{E_k}{K_k} \cdot t} \right) \quad (IV)$$

A deformação é pois a sobreposição de três componentes: elástica $\frac{\sigma_0}{E_m}$, elástica retardada $\frac{\sigma_0}{E_k} \left(1 - e^{-\frac{E_k}{K_k} t} \right)$, e viscosa, $\frac{\sigma_0}{K_m} \cdot t$.

Conforme se pode depreender das Figs. 1 e 2-(b), o modelo de Burgers adapta-se muito bem à descrição do comportamento de fluência dos maciços rochosos, mediante adequado ajustamento, para cada caso, das constantes E_m , K_m , E_k e K_k .

Será utilizado, entretanto, para a interpretação da perda de carga de tirantes, um caso particular do modelo de Burgers que consiste na associação em série de um elemento reológico de Kelvin com um elemento de Hooke.

Neste modelo o comportamento de fluência dos maciços é dado pela expressão:

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{E_k} \left(1 - e^{-\frac{E_k}{K_k} \cdot t} \right) \quad (V)$$

Nesta equação, a deformação ϵ é pois a sobreposição apenas das componentes elástica e elástica retardada da equação reológica de Burgers. A título de exemplo, ilustra-se com a Fig. 3 os resultados de ensaios de fluência de xistos do local da Barragem de Vadecañás, Espanha, onde se obteve a seguinte expressão para o modelo modificado de Burgers (Fig. 3).

$$\epsilon = 0,172 - 1,7 e^{-0,00745 t} \quad (VI)$$

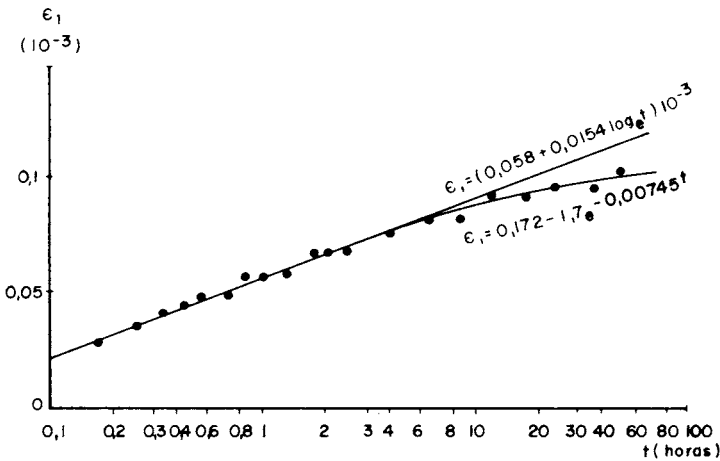


Fig. 3 – Resultados de ensaio de fluência de um xisto do local da Barragem de Vadecañás, Espanha (Rocha 1971)

Procedimento idêntico a este poderá ser utilizado para a determinação do termo δ_{EL} da expressão (I), item 3.2, ou seja, para a determinação da deformação lenta do maciço rochoso quando submetido ao estado de tensão de

compressão, imposto pelo atiramento e, conseqüentemente, a determinação da parcela de perda de protensão, causada por este tipo de deformação. A instrumentação dos tirantes já referidos no item 3.1, tem revelado perdas de carga, devido à fluência do maciço rochoso, entre 5 e 10% da carga de trabalho. O prazo normalmente observado para ocorrer uma aparente estabilização das leituras das células de carga, tem variado de 1 a 3 meses.

Na Fig. 4 são apresentadas algumas curvas típicas da perda de carga de tirantes, onde se pode observar a grande semelhança com a curva da Fig. 1, o que vem confirmar a conclusão de que a perda de carga ao longo do tempo é ditada quase que exclusivamente pela fluência do maciço rochoso.

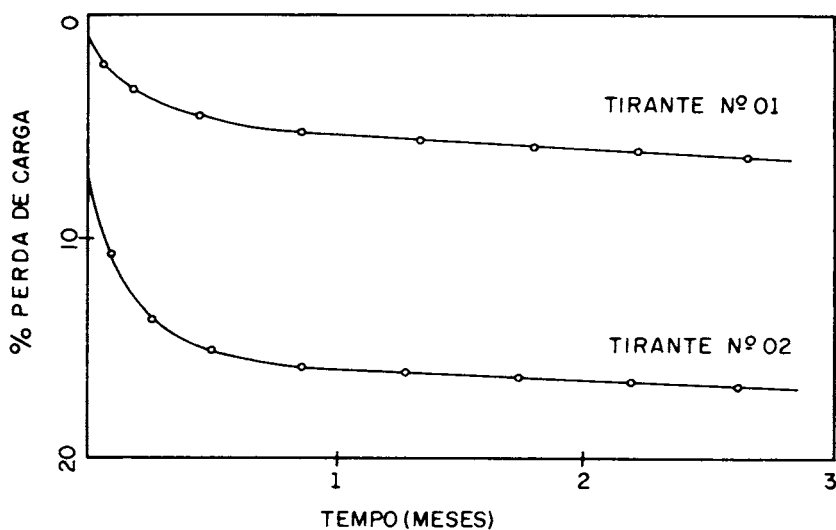


Fig. 4 – Curvas típicas da perda de carga de tirantes com o tempo

Deste modo, após a auscultação de alguns tirantes-testes, por um período de um a dois meses, prazo este que geralmente conduz a uma aparente estabilização das deformações, poder-se-á através de uma análise de regressão, determinar as relações $\frac{\sigma_o}{E}$, $\frac{\sigma_o}{E_k}$, $\frac{E_k}{K_k}$, da expressão (V), o que possibilitará, não apenas a determinação da perda de carga dos tirantes, para um tempo infinito, como também, o estudo das características mecânicas do maciço rochoso, através da determinação dos parâmetros E , E_k e K_k . Para tal, poder-se-á partir da determinação de σ_o , através de procedimentos analíticos ou, então, da determinação de E , através de ensaios *in situ*.

Da expressão (V) segue que:

$$\varepsilon = f(\sigma_0), f(E, E_k \text{ e } K_k) \text{ e } f(t)$$

Necessitar-se-á pois, para a aplicação da análise aqui sugerida, agrupar os tirantes quanto à sua capacidade de carga e quanto às condições geológico-geotécnicas do maciço rochoso.

Finalmente, para o pleno controlo da perda de protensão dos tirantes, é necessária a determinação da parcela afectada pela influência das escavações vizinhas. Essa determinação, *a priori*, é muito problemática, entretanto, a partir da análise das irregularidades das curvas de perda de carga dos tirantes (Fig. 5) poder-se-á verificar qual a sua influência. A prática tem mostrado que esta parcela é, em geral, pouco significativa, raramente aparecendo de forma marcante, como ilustrado na Fig. 5.

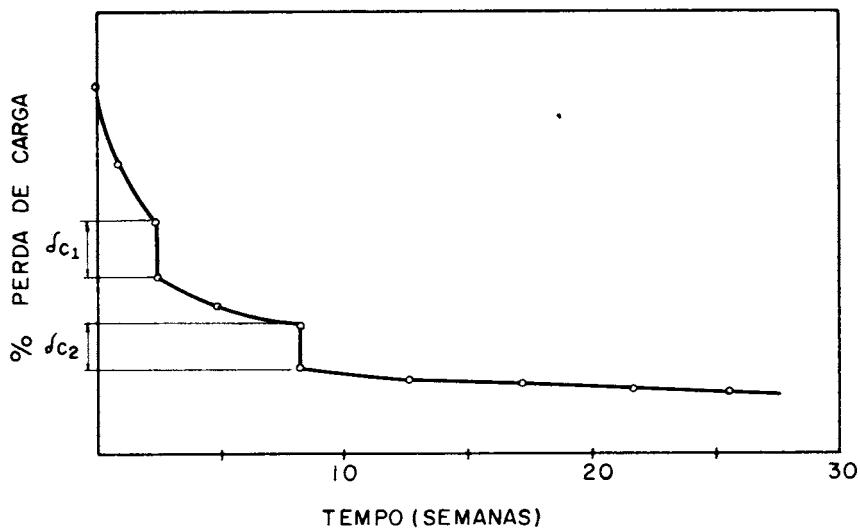


Fig. 5 – Curva da perda de carga de um tirante, onde δ_{c1} e δ_{c2} traduzem a influência das escavações vizinhas

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da análise apresentada resultam as seguintes conclusões principais:

- a) A perda de carga “instantânea” depende essencialmente da fluência instantânea do maciço rochoso e de eventuais escorregamentos, e/ou

acomodações, que ocorrem na cabeça do tirante no instante da cravação do “cone macho”.

A auscultação de tirantes de 40 toneladas de capacidade de carga, instalados em maciços rochosos constituídos por granito-gnaisses e/ou xistos-filitos, tem revelado perdas de carga “instantânea” entre 5 e 15% da carga de trabalho.

- b) Esta parcela da perda de carga pode ser constatada por vários métodos e técnicas apropriadas, entretanto a mais prática é, sem dúvida, realizada através da instrumentação com células de carga. A grande vantagem das células de carga está no facto de que as informações obtidas possibilitarão, não apenas o estudo da perda de carga “instantânea” mas também, e principalmente, da perda de carga ao longo do tempo.
- c) A perda de carga ao longo do tempo é motivada quase que essencialmente pela fluência do maciço rochoso. A auscultação dos tirantes supracitados (item 5.a) revelaram perdas de carga com o tempo da ordem de 5 a 10% da carga de trabalho. O prazo decorrido para uma aparente estabilização das leituras das células tem variado de um a três meses.
- d) Através da análise que se propôs, isto é, de se estudar a fluência dos maciços rochosos através do modelo reológico modificado de Burgers e com base nas leituras das células de carga instaladas em alguns “tirantes testes”, poder-se-á determinar a parcela da perda de carga para um tempo infinito, e estudar o comportamento visco-elástico do maciço rochoso, através da determinação dos parâmetros E , E_k e K_k .
- e) Também a parcela da perda de carga causada pela influência das escavações vizinhas, poderá ser estudada através de análise das leituras das células de carga.
- f) Uma vez que, através da análise das leituras das células de carga, poderão ser determinadas as parcelas “instantânea” e ao longo do tempo, da perda de carga dos tirantes, poder-se-á partir para a instalação das mesmas com uma carga pouco superior à de trabalho, de modo a se compensar aquelas parcelas de perda.
- g) A auscultação sistemática de tirantes e a aplicação da análise aqui sugerida implicará num controlo cada vez mais racional e efectivo da perda de carga em tirantes, o que poderá implicar numa redução gradual dos coeficientes de segurança actualmente empregados.

Como principais recomendações, destacam-se:

- a) Todos os conjuntos “macaco-manómetro” utilizados na protensão dos tirantes devem ser calibrados antes e, periodicamente, durante o desenrolar do programa de atirantamento. Recomenda-se que os manómetros sejam calibrados mais frequentemente.
- b) Antes da aplicação da carga de trabalho, todo o tirante deve ser carregado até uma carga 60% a 80% superior a esta, com o objectivo de se testar a sua capacidade de carga e de se eliminar a possibilidade de eventuais escorregamentos ou acomodações ao longo do trecho de ancoragem, durante a aplicação da carga de trabalho.
- c) Após a auscultação inicial dos “tirantes testes” e a elaboração da análise aqui proposta, os tirantes de mesma capacidade de carga e instalados em maciços com semelhantes condições geológico-geotécnicas, devem ser cravados com uma carga pouco superior à de trabalho, visando compensar as parcelas de perda de carga “instantânea” e ao longo do tempo.
- d) Especial atenção deve ser dada ao estudo da eficiência das técnicas de protensão dos cabos dos tirantes contra problemas de oxidação e ao estudo de eventuais alterações nas condições geológico-geotécnicas do maciço rochoso.
- e) Acompanhamento, em todos os seus detalhes, do progresso das escavações vizinhas, visando-se estudar qualquer influência destas na perda ou ganho de carga dos tirantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA NUNES e VIEIRA DIAS (1975) – “Alguns Resultados da Verificação Sistemática da Capacidade de Carga de Ancoragens”, Anais do X Seminário Nacional de Grandes Barragens, Curitiba, PR.
- DODDS, D. J. (1974) – “Interpretation of Plate Loading Test Results”, Field Testing and Instrumentation of Rock, ASTM STP 554, American Society for Testing and Material, pp 20-34.
- FRANKLIN, J. A. e DENTON, P. E. (1973) – “The Monitoring of Rock Slopes”, The Quarterly, Journal of Engineering Geology, vol. 6, n.º 3 e 4.
- IPT (1975) – “Observação da Carga em Tirantes Instalados no Trecho Serra da Rodovia dos Imigrantes”, Relatório n.º 00 do I.P.T., Divisão de Minas e Geologia Aplicada.

- ISRM (1974) – “Suggested Methods for Rock Bolt Testing”, Committee on Field Test, Documento n.º 2, International Society for Rock Mechanics.
- ISRM (1975) – Catálogos Gerais dos Instrumentos Interfels, Terrametrics, Maihak, Telemac, Gloetzel e Soil Instruments.
- JAEGGER, J. C. e COOK N. G. K. (1971) – “Time Dependent Effects”, Capítulo XI do Livro “Fundamentals of Rock Mechanics”, pg. 292.
- MARTINS, M. C. R., MASSAD, E. e NAVARRO NETO, O. (1974) – “A Permanência de Cargas em Tirantes”, Anais do V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Vol. I Tema 2, pg. 117.
- ROCHA, M. (1971) – “Efeitos do Tempo e da Temperatura” – “Modelos Reológicos”, Capítulos 3.4 e 3.5 do Livro “Mecânica das Rochas”, pgs. 113 e 119.