

INSTITUTO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS  
FACULDADE DE LETRAS — UNIVERSIDADE DE COIMBRA



# Cadernos de Geografia

A UTILIZAÇÃO DA EXTENSOMETRIA PARA O ESTUDO DO  
«CREEPING» EM DOMÍNIO TEMPERADO (Serras da Estrela e  
da Freita — Portugal)

JOSÉ MARIA O. SOUSA CIRNE \*  
A. M. ROCHETTE CORDEIRO \*\*

SUMMARY

Of all the processes of solid particle transference in slopes, «creeping» is the one which presents the greatest difficulties of study in temperate areas, due to the slow motion of the particles. The classic measurements («test pilars» and «Selby cones») which have been carried out in the Western Mountains of Portugal have met with some contrarities.

In order to get a precise measurement of creeping as well as an attempt of the correlation with ice-melt cycles and soil hydric conditions, a flexible captor was built. The measure principle is the transformation into electric signs of the the strains produced in a metal-plate inserted in the soil, using 5 reading stations placed, at 20, 45, 70, 95 and 120 mm from the surface. Each station has 2 pairs of electric strain gages, located on each side of the metal-plate and connected with a circuit of the «Wheatstone bridge» type in such a way the signal detected is quadruplicated increasing the sensibility.

1 — INTRODUÇÃO

Num país em que as vertentes em média montanha são consideradas, devido à fraca potencialidade agrícola, áreas de elevada capacidade silvícola, um processo morfogenético encontra-se na génese de uma movimentação de materiais pouco perceptível aos olhos humanos, mas facilmente identificável pela queda ou arqueamento de muros de divisão de propriedades e, em especial, pela curvatura no sentido do movimento dos troncos das árvores.

---

\* Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

\*\* Bolseiro do I.N.I.C. — Instituto de Estudos Geográficos da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

As vertentes, são na generalidade cobertas de materiais com diferentes graus de plasticidade e granulometria originados nos períodos frios do Quaternário. Estes, aliados aos fortes declives, aos elevados quantitativos de precipitação (quer sob a forma de chuva, quer de neve) e ao número elevado de ciclos de alternância diurna de temperaturas positivas e negativas, vão ser responsáveis, nas Montanhas Ocidentais de Portugal, pela existência de um dos vários processos de desnudação de vertentes: o «creeping».

Genericamente definido pelos geomorfólogos como um movimento lento das formações superficiais e dos solos (unicamente perceptível ao fim de longos períodos), dirigida para jusante nas vertentes (GILBERT, 1909 e TERZAGHI, 1950 — cfr. A. V. AUZET et al, 1986), o «creeping» é dos processos da transferência de materiais sólidos sobre vertentes que compõem o “balanço morfogenético” de A. JAHN (1963), o que apresenta maiores dificuldades ao seu registo.

Com a acção da gravidade a apresentar-se como principal factor desencadeador do movimento (actuando em função do declive e dos materiais subjacentes em qualquer ponto da vertente), este vai ser mais ou menos condicionado por outros factores. As variações de humidade nas camadas superficiais dos solos (por exemplo em função das variações das propriedades mecânicas que provocam as mudanças de volume por hidratação ou dessecação das argilas) e as variações do estado da água no solo (a mudança da fase líquida à sólida é acompanhado por um aumento do seu volume no mínimo igual a 9% — A. YOUNG, 1978), são os de maior significado nas nossas regiões. No entanto, outros factores de menor importância poderão ser responsáveis pelo movimento, apresentando-se os de origem animal (pisoteio provocado pelos rebanhos) como os que parecem ser mais aceitáveis nas Montanhas Ocidentais, visto ser diminuto quer o efeito das raízes, quer o das variações de temperatura.

O presente texto, que se insere no estudo, mais vasto, da dinâmica de vertentes em média montanha do Portugal Central (Serras da Estrela, Carapulo e Freita), pretende apresentar um dos métodos mais precisos da medição do creeping<sup>1</sup>, bem como da relação com os principais factores do seu desencadeamento (variações de humidade e variações do estado da água no solo). Com esse objectivo, foi idealizado um instrumento capaz de quan-

---

<sup>1</sup> O método de medição apresentado, está ligado numa fase inicial, a P. J. WILLIAMS (1957) e foi descrito substancialmente em 1973 quer por ELLIS, quer por SUDGER (cfr. E. W. ANDERSON e B. FINLAYSON-1975). No entanto, foi com base neste último trabalho e em especial nos de A. V. AUZET e A. V. AUZET et al. (obs. cit.) que foi desenvolvido este estudo.

tificar os movimentos do terreno. Basicamente, é composto de uma placa metálica de espessura igual a 0,5 mm, onde foram posicionados uma série de extensómetros que transformam as deformações em sinais eléctricos facilmente quantificáveis, permitindo medições periódicas precisas dos movimentos.

Paralelamente, é instalado um registador de temperaturas Grant com uma sonda termopar para cada nível de extensómetros (com registos efectuados hora a hora) e um aparelho para observação das humidades do solo, de modo a que seja possível verificar quais as relações entre as principais causas e a amplitude desse movimento <sup>1</sup>.

## 2 — PRINCÍPIOS BÁSICOS DO CAPTOR DOS DESLOCAMENTOS

Quando um corpo elástico em equilíbrio é solicitado por um sistema de forças, as posições relativas das partículas que o compõem altera-se. Os seus deslocamentos cessam quando a acção das forças exteriores é equilibrada pela reacção das forças intermoleculares. Diz-se então que o corpo está no estado de deformação. O corpo retomará a situação de equilíbrio inicial, uma vez desaparecida a solicitação exterior, se a deformação não tiver ultrapassado o limite elástico do material que o compõe.

O estado de deformação a que o corpo fica sujeito pode ser comprovado, e mesmo quantificado, mediante a utilização de técnicas adequadas. É baseado nesta possibilidade que foi idealizado um instrumento que pudesse captar e quantificar as deformações nele produzidas pelos movimentos do terreno adjacente. Basicamente este consiste de uma placa de cobre de 500 mm de comprimento por 250 mm de largura e 0,5 mm de espessura, inserida perpendicularmente à superfície no lugar onde se pretende fazer a medição. Esta placa será forçada a flectir sob a acção dos deslocamentos do terreno que a rodeia, uma vez que se, admitem serem, os movimentos dos materiais maiores à superfície que nas camadas mais profundas, onde aqueles serão nulos. A medição das deformações a que a placa fica sujeita, permite então calcular os deslocamentos das camadas que lhe estão adjacentes.

Como forma de quantificar as deformações da placa, recorreu-se à utilização de extensómetros eléctricos, dispostos de modo a permitirem a leitura

---

<sup>1</sup> O estudo do creeping está ainda a ser realizado, no presente momento, através dos métodos dos «Cones de Selby» e dos «Test Pilars». No entanto, a sua medição somente é realizada duas vezes por ano, pelo que a precisão e a relação entre o movimento e as causas é pouco elucidativo.

da variação dos movimentos a diferentes níveis do terreno. A finalidade destes extensómetros é permitir transformar um fenómeno físico, a flexão da lâmina de cobre, num sinal eléctrico produzido pela variação da resistência do extensómetro à passagem de uma corrente.

Um extensómetro eléctrico é basicamente constituído por um filamento metálico, geralmente de cobre, com um comprimento inicial  $L$  e diâmetro  $\phi$  dependentes da resistência pretendida, disposto em forma de grelha e montado sobre uma base de papel ou de um material compósito. Toda a variação relativa do comprimento do filamento (chamada deformação do filamento)  $\epsilon = \Delta L/L$ , vai produzir uma variação proporcional da sua resistência relativa, isto é,

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K \epsilon \quad (1)$$

onde  $R$  é a resistência eléctrica do filamento e  $K$  é o chamado factor de sonda do extensómetro. Uma vez que estes valores são fornecidos pelo fabricante dos extensómetros, é então possível calcular a deformação da placa sempre que se consiga registar a avariação da resistência  $\Delta R$ .

O conhecimento da deformação nos pontos onde foram colocados os extensómetros, permite, recorrendo aos conhecimentos de Resistência de Materiais, calcular a deflexão da lâmina metálica na direcção perpendicular à sua posição inicial. Com efeito, considere-se a placa representada na Fig. 1 e admita-se que a partir de determinado ponto do seu eixo esta não

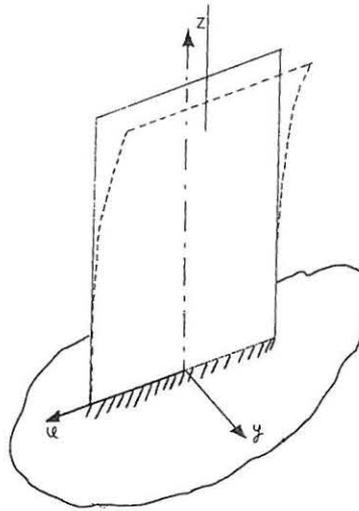


FIG. 1 — Placa encastrada.

sofre qualquer deslocamento. Está-se então a admitir que a placa está encastrada. Pela Resistência de Materiais prova-se que a deformação lida pelos extensómetros pode ser dada por

$$\varepsilon = \frac{R}{2\rho} \quad (2)$$

onde  $\rho$  é o raio de curvatura da lâmina deformada e  $h$  a sua espessura. Do mesmo modo, prova-se também que a curvatura  $1/\rho$  é igual a

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dz^2} \quad (3)$$

o que permite reescrever a equação (2) na forma

$$\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{2\varepsilon}{h} \quad (4)$$

Integrando 2 vezes esta equação, obtém-se a função que define os deslocamentos da placa ao longo do eixo dos  $zz$ . Para que esta integração seja possível é necessário conhecer a função de variação da deformação  $\varepsilon$  ao longo do eixo dos  $zz$ . Contudo, através dos extensómetros é apenas possível conhecer a deformação nos pontos onde aqueles foram colocados, pelo que, há necessidade de se recorrer a um qualquer dos métodos numéricos conhecidos (por exemplo o método das diferenças finitas) de forma a permitir o cálculo aproximado da deformada.

Da análise do que acabou de ser exposto, deve concluir-se que foram admitidas condições ideais de funcionamento para o aparelho de medida idealizado. Admitiu-se por exemplo que, na zona de implantação da placa, cada camada de terreno paralela à superfície sofria o mesmo deslocamento. A verificar-se o contrário, a placa ficaria sujeita a torções que não foram consideradas e que iriam alterar os resultados obtidos. Considerou-se ainda que as camadas mais profundas atingidas pela lâmina não sofrem qualquer deslocamento, o que permite admitir que esta se encontra encastrada. Por último, admitiu-se que a lâmina acompanha os movimentos do terreno sem influenciar o meio que a rodeia.

### 3 — DESCRIÇÃO DO CAPTOR DE DESLOCAMENTOS

Como já foi referido, o captor consta essencialmente de uma lâmina de cobre, na qual foram colados os extensómetros. Optou-se pelo cobre, por ser um metal resistente à oxidação produzida pela água, abundante em grande parte do ano nos locais escolhidos para a montagem do captor.

Uma vez que se pretendiam comprovar os movimentos superficiais dos terrenos, foram consideradas 5 estações de medição colocadas a 20, 45, 70, 95 e 120 mm da superfície. Estas posições foram escolhidas por terem parecido as mais adequadas para comprovar o fenómeno em estudo. Cada estação de leitura é constituída por 4 extensómetros, colocados 2 em cada uma das face da placa em pontos da vizinhança do eixo dos  $zz$ , Fig. 2.

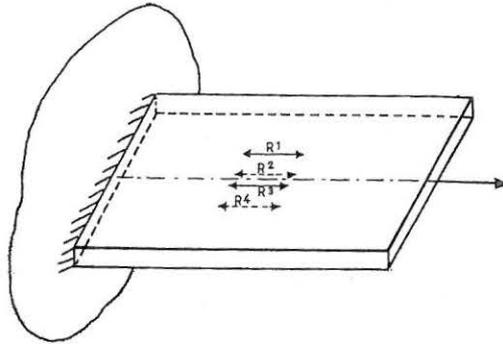


FIG. 2 — Posição dos extensómetros de uma estação

A utilização de 4 extensómetros numa estação permite a leitura de deformações de menor amplitude, uma vez que é possível, através de uma combinação adequada desses extensómetros, uma sensibilidade 4 vezes superior à que se obteria utilizando apenas 1 extensómetro. Nesta montagem foram utilizados extensómetros eléctricos de  $350 \Omega$  de resistência, marca Micromasurements (Vishay), ref. EA — 09 — 250 PD — 350 de aproximadamente 6 mm de comprimento e com um factor de sonda igual a  $2.095 \pm 0,5\%$ . Estes extensómetros são fornecidos pelo fabricante montados aos pares numa base flexível de poliamido, com os seus eixos centrais longitudinais distantes entre si 3,3 mm.

Antes de se efectuar a colagem dos extensómetros, preparou-se a superfície da lâmina de forma a eliminar imperfeições e impurezas que iriam dificultar ou distorcer os resultados. Para a colagem dos extensómetros foi utilizada uma cola epoxy, ref. M-bond AE — 15 da Vishay, por ser a recomendada pelo fabricante para ensaios de longa duração. O tempo de cura deste tipo de cola é prolongado, cerca de 12 horas a uma temperatura próxima dos  $18^\circ \text{C}$ , o que exige cuidados especiais no posicionamento dos extensómetros.

Concluída a operação de colagem, procedeu-se à ligação dos extensómetros de cada estação a um circuito tipo ponte de Wheastone, da forma

indicada na Fig. 3. Esta disposição permite que os sinais captados pelos extensómetros sejam somados, quadruplicando deste modo a sensibilidade do sistema. Sempre que se pretenda fazer uma leitura de resultados, cada uma das pontes da placa assim constituídas é ligada a um conjunto de leitura da marca Vishay constituído por uma unidade de comutação SB — 12 e por uma unidade P3500 que permite a leitura directa das deformações.

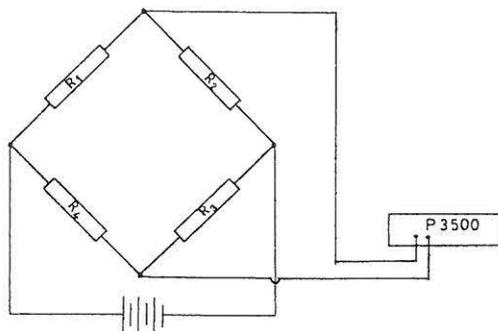


FIG. 3 — Esquema da montagem dos extensómetros de cada estação de leitura

Os principais factores que podem perturbar as medições a efectuar são os gradientes de temperatura e a humidade a que vai ficar sujeito o captor. As variações de temperatura actuam sobre a resistividade e comprimento do filamento dos extensómetros, fazendo portanto variar as suas resistências específicas. Contudo, para a montagem descrita este problema não deve ser considerado, já que cada ponte de Wheaststone é formada por 4 extensómetros com as mesmas características, o que permite a auto-compensação do circuito pelo facto de o efeito térmico ser idêntico em todas as suas componentes.

Por outro lado, a humidade actua sobre os cabos e ligações, oxidando-os, para além de provocar curto-circuitos que adulteram por completo os sinais obtidos pelos extensómetros. Para eliminar este problema, recorreu-se a uma protecção sugerida pela Micromasurements (Vishay) constituída por uma sobreposição de vernizes, Fig. 4. O primeiro verniz protector utilizado,

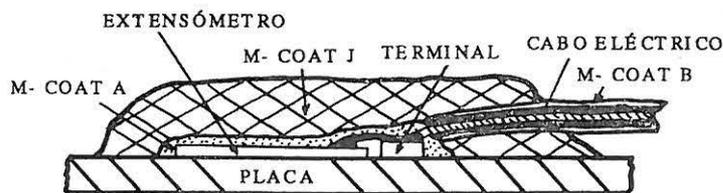


FIG. 4 — Revestimentos protectores dos circuitos do captor.

é um poliuretano com a ref. M-Coat A, cuja principal função é proteger os extensómetros e os terminais eléctricos da humidade e evitar assim o contacto destes com a placa de cobre. Sobre este verniz foi colocada uma segunda protecção constituída por uma camada de um polissulfito com a ref M-Coat J-3, com que se pretende proteger os circuitos não só da água como também de eventuais choques mecânicos. Uma vez que este último revestimento não adere muito bem ao revestimento de borracha dos cabos de ligação, teve que se recorrer a um outro verniz, de ref. M-Coat B, como agente de ligação entre o polissulfito e a borracha.

Concluída a instrumentação da placa, procedeu-se a testes de verificação do seu funcionamento. Para tal foram feitos uma série de medições em cada uma das estações, correspondentes a outras tantas diferentes solicitações, sendo os resultados assim obtidos comparados com outros obtidos analiticamente.

O primeiro dos captos descritos, acaba de ser montado na serra da Estrela (área da Torre), pelo que ainda é muito cedo para apresentar quaisquer resultados que premitam comprovar e quantificar os movimentos, objecto deste estudo.

#### 4 — BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, E. W. e FINLAYSON, B. (1975) — «Instruments for measuring soil creep» B.G.R.G., *Tech Bulletin*, 16, London, 51 p.
- AUZET, A. V. (1985) — La reptation: mesure in situ en relation avec les conditions hydriques et thermiques du sol (site forestier dans les Volgues granitiques). *These de doctorat en Geographie Physique*, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 185 p.
- AUZET, A. V.; AMBROISE, B. et MERCIER, J. L. (1986) — «Realisation et test d'un capteur flexible à jauges d'extensometrie pour la mesure des profils de reptation et le suivi de leur évolution». *Z. Geomorph. N. F., Suppl Bd. 60*, Berlim, pp. 71-82.
- BRANCO, C. M. (1985) — *Mecânica dos Materiais*. Fundação Calouste Gulbenkian Lisboa. 1098 p.
- DALLY, J. W. e RILEY, W. (1978) — *Experimental stress analysis*. McGraw-Hill 300 K Company London. 576 p.
- FÉODOSSIEV, V. (1971) — *Resistance des matériaux*. Edit. Mir, Moscou, 582 p.
- JANN, A. (1963) — «Importance of soil erosion for the evolution of slopes in Poland». *Neue Beitrage zur Internationalen Hangforschung Nachrichten der Tcademie der Wissenschaften*, Gottingen, pp. 229-237.
- WILLIAMS, P. J. (1957) — «Direct readings of solifluction movements», *American Journal of Science*, 255, pp. 705-714.
- YOUNG, A. (1978) — *Slopes*. Longman, London, 288 p.

# A UTILIZAÇÃO DA EXTENSOMETRIA PARA O ESTUDO DO "CREEPING" EM DOMÍNIO TEMPERADO

— *Princípios e concepção*

(Serras da Estrela e da Freita)

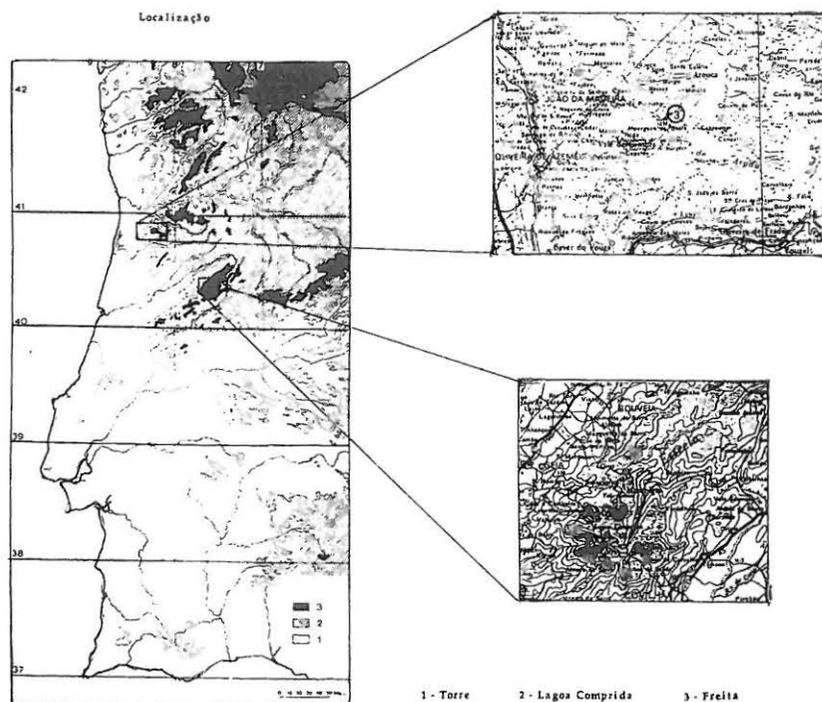
## RESUMO

Dos processos de transferência de partículas sólidas em vertentes, o "creeping" é aquele cujo estudo apresenta maiores dificuldades no domínio temperado. Devido à lenta movimentação das partículas, as medições que se têm realizado nas Montanhas Ocidentais de Portugal através de métodos clássicos ("test pillars" e cones de Selby), apresentaram algumas contrariedades.

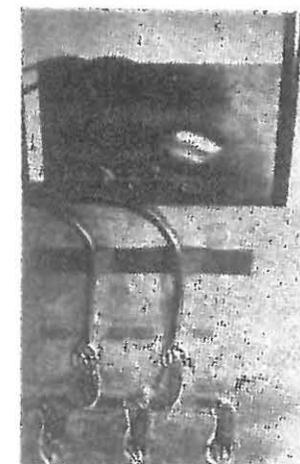
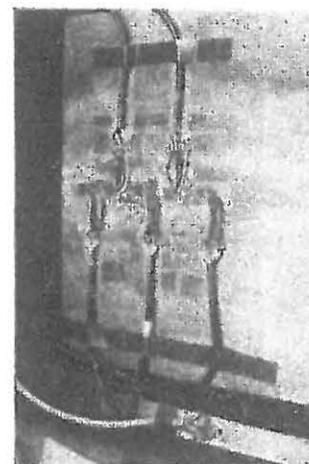
— Como o objectivo da medição precisa do "creeping", bem como da tentativa de correlação com os ciclos gelo-degelo e das condições hídricas do solo, construiu-se um captor flexível e instalou-se um registador "Grant" para temperatura (8 canais) e humidade (4 canais).

— O princípio básico do seu funcionamento, consiste na transformação das deformações produzidas pela flexão de uma lâmina inserida no solo, em sinais eléctricos, utilizando para o efeito 5 estações de leitura colocadas a 20, 45, 70, 95 e 120 mm da superfície.

— Cada estação é constituída por 2 partes de extensómetros eléctricos em pontos opostos de cada face de placa e ligados em ponte de Wheatstone de modo a que o sinal detectado seja quadruplicado, aumentando assim a sensibilidade do captor.



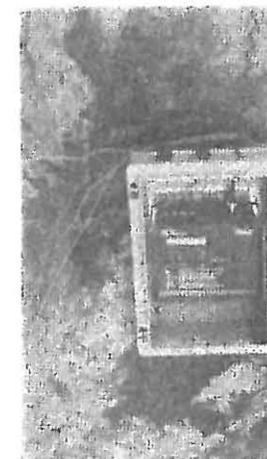
Efeitos do *creeping*



Realização do captor flexível.



Captor flexível com cinco estações de leitura



Registador de temperaturas e humidades — «Grant»

\* Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências da Univ. de Coimbra

\*\* Instituto de Estudos Geográficos da Faculdade de Letras da Univ. de Coimbra