



SISTEMAS PARA MEDIÇÃO DE INCLINAÇÕES. RESULTADOS DE UM TESTE DE REPETIBILIDADE EFECTUADO EM AMBIENTE TERMICAMENTE ESTÁVEL

Maria João HENRIQUES

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Resumo: Apresenta-se o resultado de um estudo da estabilidade das medições efectuadas por um clinómetro e pelo compensador de um taqueómetro electrónico em ambiente termicamente estável.

Palavras-chave: clinómetro / inclinómetro / inclinação / sistema inercial /taqueómetro

1. INTRODUÇÃO

Diversas obras incluem, nos seus sistemas de observação, equipamento de medição da variação de inclinação, de um plano ou de um eixo. De entre este equipamento encontram-se os clinómetros, instrumentos destinados a medir a variação de inclinação do plano onde o instrumento é assente.

Outra área totalmente independente, a da Geodesia e da Topografia, requer também o conhecimento do valor da inclinação de um eixo em relação à vertical, neste caso especificamente do eixo principal de teodolitos e taqueómetros, de modo a corrigir as medições angulares efectuadas por este equipamento. Para efectuar a medição da inclinação há equipamento que integra um compensador da inclinação do eixo principal que inclui um sistema optoelectrónico que mede a inclinação do eixo principal, de modo permitir a correcção dos valores angulares medidos. A elevada exactidão do sistema de medição da inclinação fez com que esta componente tivesse sido integrada noutro tipo de instrumentos – sensores de inclinação – destinados a medir, exclusivamente, a inclinação da superfície onde estes estão apoiados.

Na presente comunicação são apresentados os resultados de um estudo de repetibilidade em ambiente termicamente estável, estudo este envolvendo um clinómetro e um compensador de um taqueómetro electrónico durante um período de tempo prolongado.

2. EQUIPAMENTO UTILIZADO

No estudo foram utilizados um clinómetro Schaevitz T233-0001-003 (Figuras 1 e 2), da Sherborne Sensors, e o compensador do taqueómetro Leica TCA2003 (Figura 3). O clinómetro Schaevitz T233 é biaxial, capaz de medir inclinações até 3.3 gon (3°) com uma incerteza de medição de 0.4 mgon (1.3") e uma resolução de 0.06 mgon (0.2"). Cada componente da inclinação (componente longitudinal e componente transversal) é medida de forma independente. Este equipamento destina-se a ser aplicado em monitorizações em contínuo. Os dados eram transferidos para uma unidade de registo de dados exterior ("data logger") DataTaker DT515 (Fig. 1). Junto ao clinómetro foi colocado um termómetro de resistência de platina. Quanto ao compensador do TCA2003 é também biaxial, tem um alcance de 0.07 gon e a incerteza de medição é de 0.1 mgon (Leica, 2000).



Figura 1 – Clinómetro Schaevitz e unidade de registo DataTaker



Figura 2 – Clinómetro colocado numa poleia



Figura 3 – Taqueómetro Leica TCA2003

2.1. O Sensor de Inclinação do Clinómetro Schaevitz T233

Para medir cada uma das componentes da inclinação o clinómetro possui duas unidades de medição, independentes. Cada uma destas inclui (ver Figura 4), como elementos principais, uma massa pendular (A), uma armadura (D), um sensor de proximidade (C) e um servoamplificador (F) para controlo.

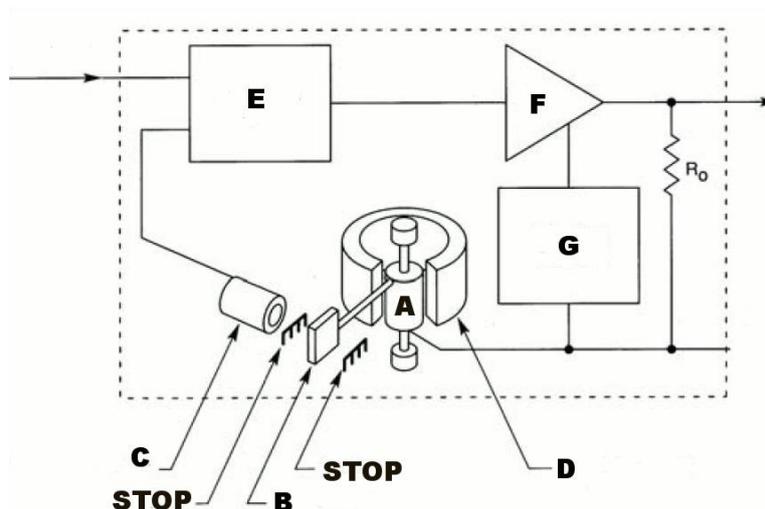


Figura 4 – Esquema dos principais elementos de cada sensor de inclinação

Quando o clinómetro está perfeitamente horizontal, a massa pendular (A) está vertical e, por construção, no centro do motor (D). Quando ocorre uma inclinação do clinómetro, a mudança de direcção da força gravítica força a massa A a rodar em torno de um eixo e, por lhe estar ligada, também a placa B. O sensor de proximidade (C) detecta a rotação, pois a placa ou se aproxima ou se afasta deste, e emite um sinal de erro. Este sinal leva a que seja aplicada uma corrente contínua na armadura que envolve o motor. É gerado um binário que força a massa a rodar até à sua posição original. Este binário anula, portanto, a componente da força gravítica que originou a rotação inicial. Existindo uma relação directa entre a tensão da corrente que é necessário aplicar no motor e a força que é necessário anular, torna-se possível calcular o ângulo da inclinação. Do circuito descrito fazem ainda parte um módulo electrónico (E), o servo amplificador (F), um filtro electrónico de ruído (G) e duas peças (STOP) destinadas a limitar os movimentos de A. O clinómetro possui ainda uma porta para fornecimento de energia, entrada de informação e saída de dados.

A unidade exterior de registo de dados, que é também a unidade que fornece energia ao clinómetro, foi programada antes do início dos registos, através de uma aplicação existente num computador. Foi programada uma recolha de um conjunto de dados (do inclinómetro e do termómetro) cada 10 minutos, registando-os na memória interna/cartão de memória. No final das observações os dados foram transferidos para um computador.



2.2. O Compensador do Taqueómetro TCA2003

O compensador do TCA2003 está integrado num dos suportes da luneta, mais exactamente o do lado oposto à bateria (evita-se assim que a bateria provoque o aquecimento do compensador). O compensador é basicamente composto por uma fonte luminosa, um sistema óptico compreendendo prisma lente e superfícies reflectoras, um depósito de óleo (Figura 5, de Leica 2006) e um sensor.



Figura 5 – Interior do TCA com indicação da localização do depósito de óleo

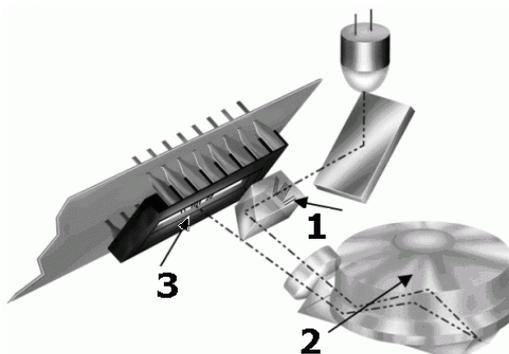


Figura 6 – Esquema do compensador



Figura 7 – Pormenor do prisma

De acordo com Zogg *et al.* (2009)¹, a forma de medir a inclinação do eixo principal do TCA é a seguinte (Figura 6): um raio de luz emitido por uma fonte de LED, raio este paralelo à direcção do eixo principal do instrumento, é reflectido na direcção de um prisma (Figura 6, seta 1). Este tem impresso, numa das faces, um padrão formado por vários segmentos de recta (ver pormenor na Figura 7). A luz é refractada na direcção de um depósito que contém óleo de silicone (Figura 6, seta 2), um óleo termicamente e quimicamente estável e muito pouco tóxico. É também um transmissor eficiente da luz na banda do visível. A superfície deste, como a de qualquer líquido em equilíbrio, está horizontal. Um espelho situado na base do líquido e a superfície do óleo fazem com que a luz seja reflectida duas vezes na superfície deste sendo, por fim, projectada na direcção de um conjunto de sensores acoplados (Figura 6, seta 3) dispostos linearmente que convertem a luz em energia através da transformação de fótons em carga eléctrica (CCD array – *charged coupled device array*). Um sistema de leitura determina a posição das zonas não iluminadas (ou seja, das imagens dos traços (Figura 6, seta 1) existentes no prisma).

Sempre que o taqueómetro TCA efectua medições dos valores angulares das direcções azimutal e zenital da luneta efectua também a medição da inclinação do eixo principal. Para determinar esta inclinação é necessário que o compensador determine a posição das imagens dos traços e compare esta posição com uma posição considerada de referência. Esta posição de referência é a determinada durante os procedimentos de determinação do erro do compensador, e são valores que traduzem a posição dos segmentos quando o eixo principal está vertical.

A inclinação do eixo principal do taqueómetro é medida segundo duas componentes: na direcção da luneta (componente longitudinal) e na direcção transversal a esta (componente transversal). A componente longitudinal da inclinação é determinada a partir do afastamento da zona central do padrão em relação ao valor de referência (Figura 8); a componente transversal é determinada a partir do afastamento entre as linhas inclinadas (ver Figura 9). A Figura 10 indica a forma como, na realidade, é efectuada a medição pois, a forma como foi concebido o sensor da inclinação permite medir, num único sensor e em simultâneo, as duas componentes da inclinação do eixo principal. Em cada uma das figuras mencionadas, o esquema superior representa a posição de referência dos segmentos, enquanto o esquema inferior representa a posição destes quando o taqueómetro não está vertical. Nas Figuras a barra horizontal representa o vector de sensores CCD; os círculos menores representam os pontos de intersecção entre os segmentos e o vector CCD; os círculos maiores, o centro de cada um dos três conjuntos de segmentos.

¹ O sistema de medição de inclinação do TCA2003 é semelhante à do taqueómetro TS30, pelo que se consultou documentação e se apresentam esquemas relativos ao compensador deste último instrumento. Este sistema está também integrado nos inclinómetros Nivel da Leica

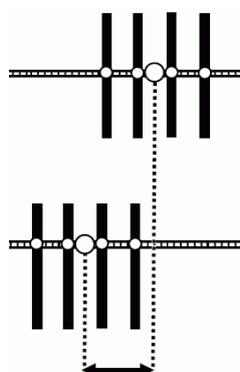


Figura 8 – Medição da componente longitudinal

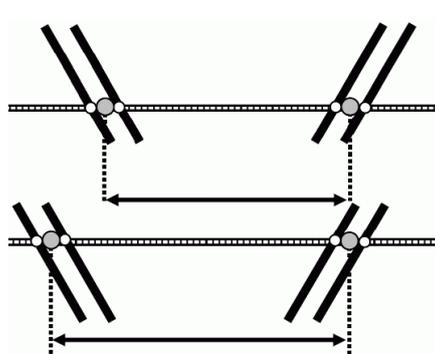


Figura 9 – Medição da componente transversal

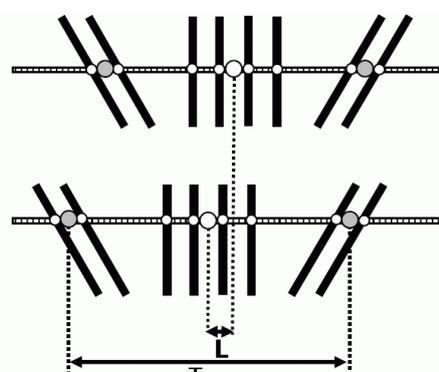


Figura 10 – Medição conjunta das duas componentes da inclinação

3. LOCAL E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

As medições realizaram-se numa sala do NGA situada num piso térreo de um dos edifícios do LNEC. Esta sala, chamada comparador, apresenta uma grande estabilidade térmica (enquanto a amplitude exterior máxima foi 17°C a do comparador não ultrapassou 3°C embora, na maioria dos dias, esta não tivesse excedido 1°C. O taqueómetro possui, internamente, um sensor de temperatura. A variação da temperatura interna do TCA foi muito semelhante à variação da temperatura da sala: as amplitudes diárias das duas temperaturas não ultrapassaram 1°C. A diferença entre as duas temperaturas foi praticamente constante e igual a 6°C.

O clinómetro foi colocado, em 30 de Julho, sobre uma poleia colada na face lateral (Sul) de um dos pilares do comparador. O clinómetro foi aproximadamente horizontalizado e a poleia serviu também de suporte ao termómetro. Nas primeiras horas após a colocação do inclinómetro verificou-se uma variação acentuada da inclinação, em resultado do processo de secagem da cola de fixação da poleia. Para se assegurar que o estudo não seria afectado por este tipo de efeito, os dados analisados são relativos a um período que se iniciou cerca de dois dias depois, no dia 1 de Agosto às 0:00, e terminou a 15 de Outubro. Entre 22 de Agosto e 10 de Setembro esteve estacionado, no topo do pilar, o TCA2003. Todos os dados estavam a ser recolhidos com a mesma cadência (um conjunto de observações cada 10 minutos).

4. RESULTADOS

Nos gráficos das Figuras 11 e 12 apresentam-se as variações das componentes da inclinação e da temperatura registadas de 22 de Agosto até 10 de Setembro, período em que os dois equipamentos estiveram a registar em simultâneo.

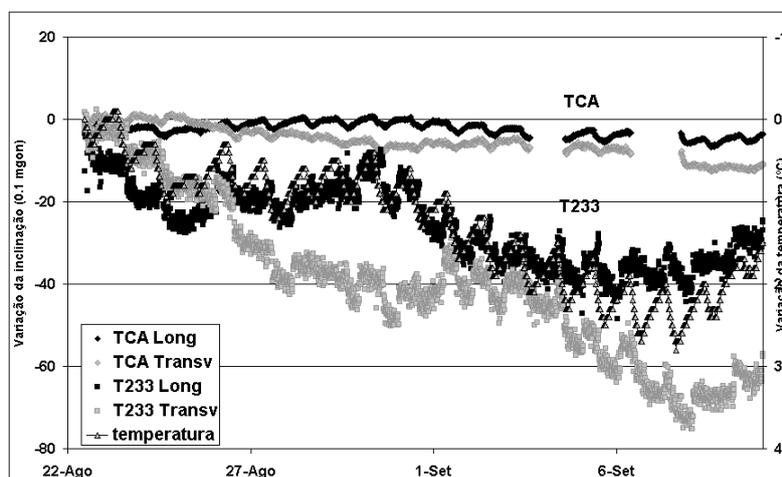


Figura 11 – Variação das duas componentes da inclinação e da temperatura ambiente

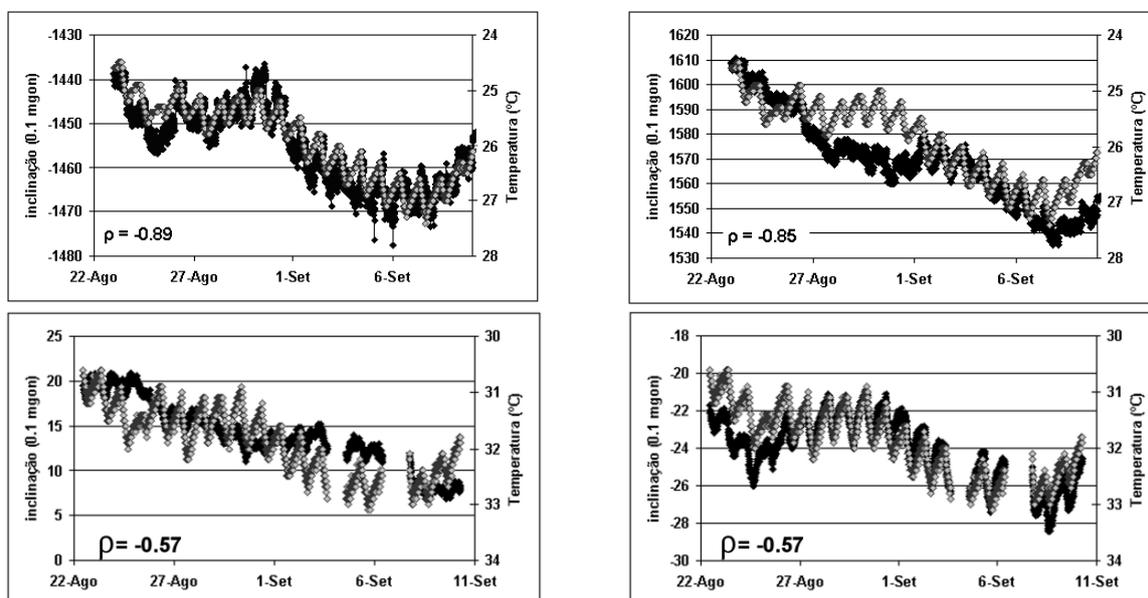


Figura 12 – Clinómetro (1ª linha) e taqueómetro (2ª linha): componentes da inclinação e da temperatura. Primeira coluna: componente longitudinal; segunda coluna: componente transversal. Símbolo escuro: inclinação; símbolo claro: temperatura; ρ : valor do coeficiente de correlação.

Nos restantes dois períodos em que o clinómetro esteve a efectuar observações, verifica-se que os valores do coeficiente de correlação são inferiores, mas continuando o da componente longitudinal (aproximadamente na direcção E-O, direcção longitudinal da sala) a ser superior: i) 1 a 21 de Agosto: $\rho_L = -0.65$, $\rho_T = -0.56$; ii) 30 de Setembro a 15 de Outubro: $\rho_L = -0.85$, $\rho_T = -0.28$.

5. PERTURBAÇÕES

Nos resultados obtidos pelo clinómetro verificou-se a ocorrência de dois tipos de perturbações – designadas neste estudo por A e B. Assim a perturbação do tipo A (Figura 13) surge como uma variação isolada, sendo que os valores da inclinação após a sua ocorrência são semelhantes aos valores anteriores ao da ocorrência (ocorre um “salto”). Quando ocorre uma perturbação do tipo B (Figura 14) verifica-se que depois da ocorrência desta a inclinação apresenta valores um pouco superiores ou inferiores mas homogéneos entre si. Por sua vez, no TCA, só ocorreram as perturbações do tipo A, sendo que a amplitude do “salto” é inferior: no TCA o valor máximo desta foi de 0.11 mgon; no T233 0.9 mgon. Refira-se que a incerteza de medição dos dois instrumentos é diferente: 0.1 mgon (TCA) 0.4 mgon (T233). Na análise de todos os dados (no caso do clinómetro tal correspondeu a 2.5 meses) constatou-se que as perturbações do tipo A nunca ocorreram em simultâneo nas duas direcções de inclinação. As Figuras 13 e 14 são extractos de gráficos dos valores registados pelo clinómetro.

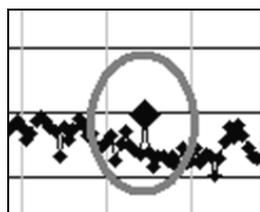


Figura 13 – Perturbação do tipo A

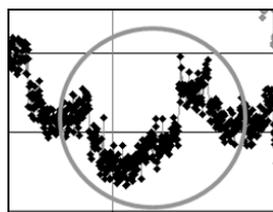


Figura 14 – Perturbação do tipo B

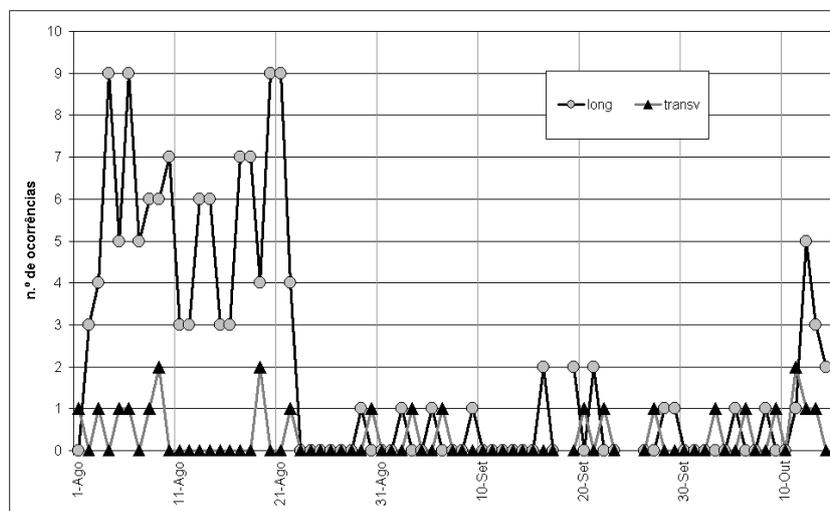


Figura 15 – Clinómetro: número de ocorrências diárias de perturbações do tipo A ao longo de 2.5 meses

Analisando o gráfico da Figura 15 (número de ocorrências da perturbação A detectadas no clinómetro) é notório que existem dois períodos distintos, limitados pela data de 22 de Agosto. No primeiro período, ocorreu diariamente um elevado número de perturbações na direcção longitudinal. Após esta data e, de um modo geral, as duas componentes têm um comportamento semelhante, com um número reduzido de ocorrências. Na data referida foi estacionado o TCA (massa de 7.5 Kg) no topo do pilar (Figura 3). Mais tarde, quando foi retirado o taqueómetro, não se verificou nenhuma alteração significativa. Até à data de 22 de Agosto, não só se verificaram as perturbações atrás descritas como havia uma grande dispersão diária das observações, em especial na direcção longitudinal.

6. CONCLUSÕES

As medições efectuadas em ambiente estável permitem verificar que existe uma influência da temperatura nos valores de inclinação medidos pelo clinómetro e pelo compensador do TCA2003. É impossível, no entanto e em resultado dos estudos efectuados, determinar se as variações verificadas são consequência unicamente do efeito da temperatura interna nos diferentes componentes dos equipamentos ou se a expansão/contractão dos elementos de suporte não contribuem acentuadamente para os valores obtidos. Quanto às perturbações registadas, poderão, em parte, estar relacionadas com as fontes de alimentação utilizadas e, no caso do clinómetro, também com alguns componentes mecânicos.

Agradecimentos

Agradece-se à Leica Geosystems, Portugal, a autorização para a reprodução das Figuras 5 a 7.

Referências

- Leica (2000) TPS- System 1000. Electronic theodolites and total stations. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.
- Leica Geosystems (2006) Recycling Passport TPS2000. Leica Geosystems AG. Heerbrugg, Switzerland.
- Zogg, H.M., Lienhart, W., Nindl, D. (2009) Leica TS30. White Paper. Leica Geosystems AG. Heerbrugg, Switzerland.

Contactos

Maria João Henriques; mjoao@lnec.pt
 Núcleo de Geodesia Aplicada – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
 www.lnec.pt
 Portugal