



## O PAPEL DO QUADRO DE REFERÊNCIA NA MONITORIZAÇÃO DE DESLOCAMENTOS: UM CASO DE ESTUDO

João CASACA<sup>1</sup>, Maria João HENRIQUES<sup>1</sup>, João COELHO<sup>1</sup> e Henrique CANDEIAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Geodesia Aplicada, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**Resumo:** Apresenta-se um caso de estudo ilustrativo da importância do quadro de referência local na monitorização de deslocamentos. Trata-se de uma pequena triangulação usada na monitorização de deslocamentos horizontais de pontos de uma encosta estabilizada com ancoragens. O deslocamento progressivo de uma das estações, suposta fixa, induziu deslocamentos aparentes nos pontos da encosta. A detecção da anomalia só foi possível pela redundância dos elementos observados.

**Palavras-chave:** pontos objecto / pontos de referência / quadro de referência.

### 1. INTRODUÇÃO

Na margem esquerda da albufeira de uma barragem grande barragem de betão (Figura 1), encontra-se instalado, desde o início da década de 1980, um sistema de observação geodésica para a monitorização de deslocamentos horizontais e verticais de meia centena de pontos objecto distribuídos pela encosta, em vigas ancoradas e em maciços de amarração de tubos inclinométricos.



**Figura 1** – A encosta da margem esquerda, vista dos pilares PM (à esquerda) e PJ (à direita)

Os deslocamentos horizontais dos pontos objecto da encosta são determinados por intersecção directa (Casaca *et al*, 2005) a partir de ângulos azimutais medidos com teodolitos de precisão estacionados em dois pilares (PM e PJ) situados na margem direita (cf. Figuras 1 e 2). Os deslocamentos verticais são determinados com uma linha de nivelamento de precisão com início num ponto de referência suposto fixo.

A partir do início da década de 1990, notou-se um comportamento anómalo nas observações azimutais, com incidência nos deslocamentos horizontais determinados para os pontos objecto da encosta. Nesta comunicação apresenta-se uma análise dos valores observados, que fornece uma explicação para os deslocamentos horizontais dos pontos objecto da encosta, aparentemente significativos. Mostraremos que tais deslocamentos, apenas



aparentes, serão devidos ao deslocamento progressivo do pilar de estacionamento PJ (Figura 1), que tem sido considerado fixo.

## 2. O SISTEMA DE OBSERVAÇÃO PLANIMÉTRICO DA ENCOSTA

Como já foi referido, os deslocamentos horizontais dos pontos objecto da encosta da margem esquerda são determinados por intersecção directa a partir de duas estações (PM e PJ) situadas na margem direita (Figura 2). Tomando como origem a referência R4 (Figura 2) são medidos, de cada estação, os ângulos azimutais para a outra estação e para cerca de 50 pontos objecto, pelo método dos giros de horizonte.

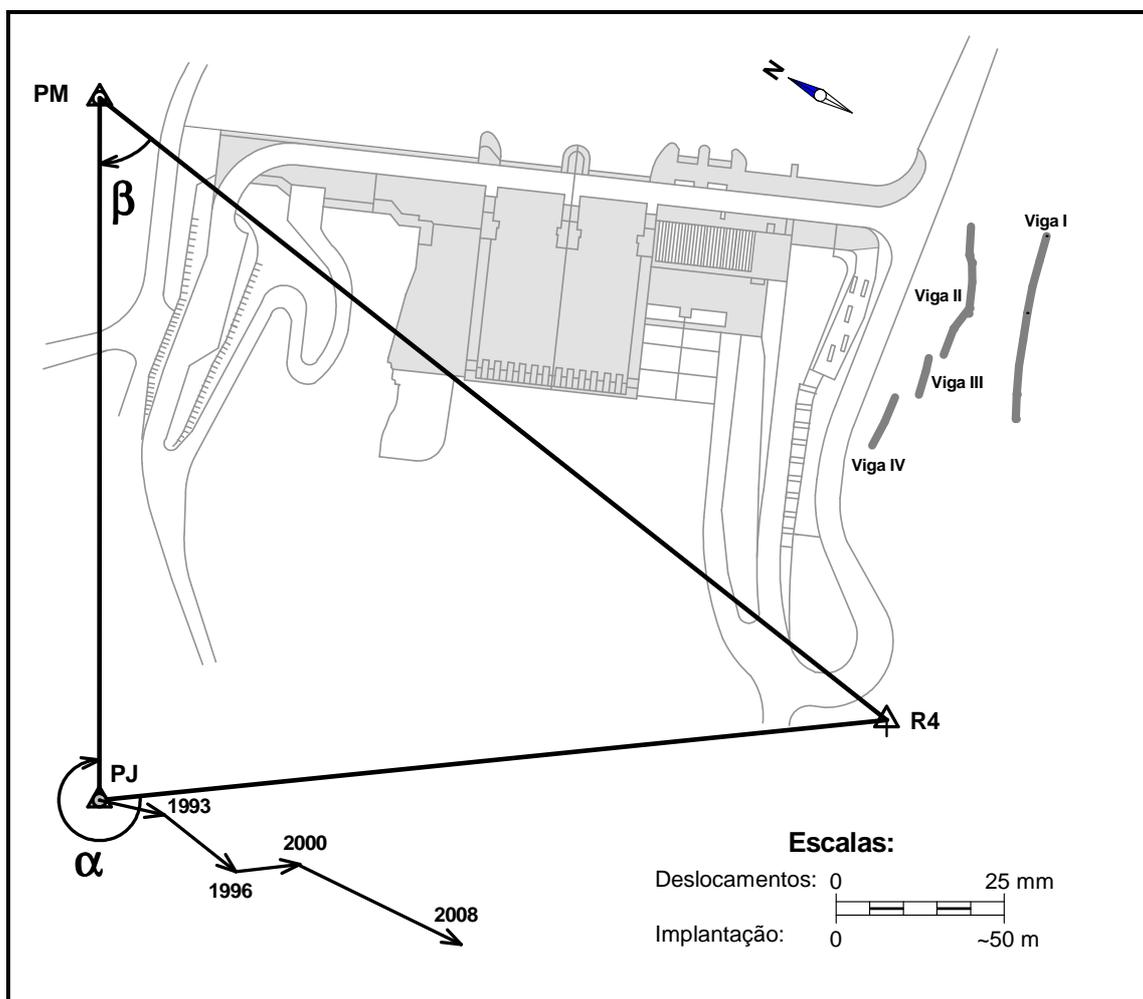


Figura 2 – O sistema planimétrico da encosta.

Os deslocamentos são determinados pelo método da variação de coordenadas (Casaca, 2001), a partir das variações dos ângulos azimutais definidos pela origem (R4), estações (PM e PJ) e pontos visados, entre a época actual e uma época recuada, tomada como origem. Para o cálculo dos deslocamentos, torna-se necessário seleccionar, pelo menos, dois pontos que são considerados fixos entre as duas épocas. No caso presente, têm sido considerados fixos os pilares de estacionamento PM e PJ e a referência R4, que constituem o chamado quadro de referência do sistema de observação planimétrica.



Em 1993, constatou-se que os dois ângulos azimutais  $\alpha$  e  $\beta$  (Figura 2), definidos pelas duas estações PM e PJ e pela referência R4, sofriam variações incompatíveis com a hipótese de PM, PJ e R4 serem pontos fixos. Estas variações angulares ( $d\alpha$  e  $d\beta$ ), observadas em 1993, 1996, 2000, 2004 e 2008, são apresentadas no Quadro 1. Note-se que em 2004, por se encontrar obstruída a linha de visada entre a estação PM e a referência R4, não foi possível observar o ângulo  $\beta$ .

**Quadro 1** – Variação, relativa a 1990, dos ângulos azimutais  $\alpha$  e  $\beta$  (mgon)

	1993 Out 11	1996 Abr 16	2000 Fev 01	2004 Fev 16	2008 Fev 17
$d\alpha$ (mgon)	- 1,91	- 3,10	- 4,98	- 6,94	- 8,97
$d\beta$ (mgon)	- 3,47	- 6,28	- 9,50	"?"	- 16,41

Dada a incerteza de medição angular *a priori* indicada pelos fabricantes dos teodolitos usados nas observações (desvio padrão de 0,15mgon), as variações angulares observadas  $d\alpha$  e  $d\beta$  não deveriam, caso os pontos fossem fixos, ultrapassar três desvios padrão multiplicados por raiz de dois, ou seja cerca de 0,64mgon. Tendo em atenção as distâncias entre as estações e os pontos visados (de 200m a 300m) e o efeito da refração atmosférica, em particular, dos gradientes térmicos horizontais, será aconselhável aumentar a tolerância para o dobro (1,28mgon), por exemplo. A análise dos valores apresentados no Quadro 2, permite constatar que as variações angulares observadas crescem no tempo e ultrapassam muito a tolerância de 1,28mgon para os erros instrumentais e ambientais.

### 3. O DESLOCAMENTO PROGRESSIVO DA ESTAÇÃO PJ

As variações angulares apresentadas no Quadro 1 sugerem a instabilidade do quadro de referência do sistema de observação planimétrico da encosta (PM, PJ e R4). Numa tentativa de identificar a possível instabilidade de um dos pontos do quadro de referência (se existir mais do que um ponto instável, a tarefa torna-se, praticamente impossível) foi definida uma estratégia baseada em quatro hipóteses de cálculo dos deslocamentos:

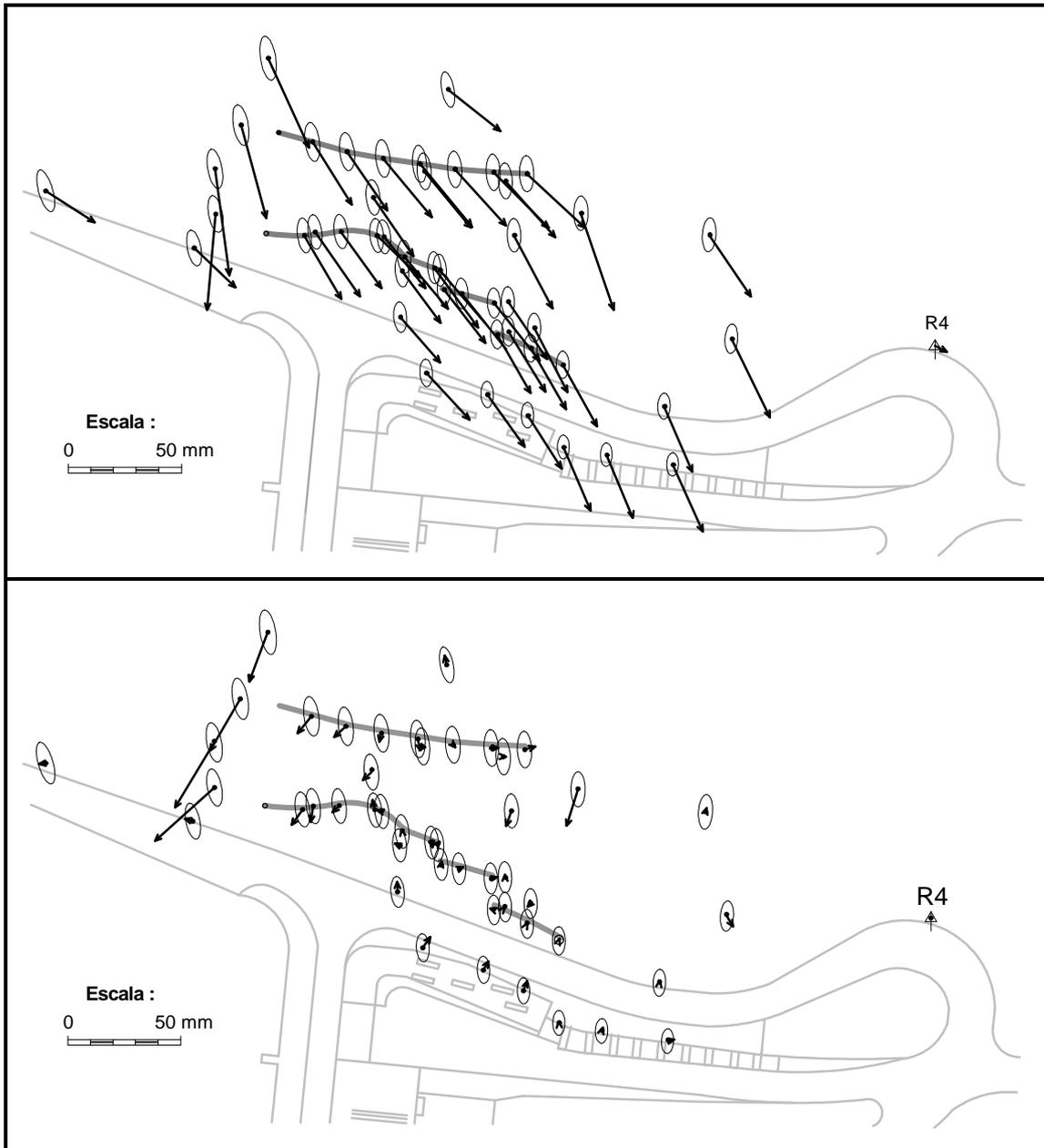
- Hipótese 1: Considerando os pontos PM, PJ e R4 fixos;
- Hipótese 2: Considerando apenas os pontos PM e PJ fixos;
- Hipótese 3: Considerando apenas os pontos PJ e R4 fixos;
- Hipótese 4: Considerando apenas os pontos PM e R4 fixos.

Os deslocamentos calculados sob as hipóteses 2 e 3 são pouco credíveis do ponto de vista estrutural, pois indicam uma progressão dos pontos objecto para o interior da encosta, de modo que estas duas hipóteses foram postas de parte. As hipóteses 1 e 4 suportam deslocamentos mais credíveis: i) Sob a hipótese 1, os deslocamentos dos pontos objecto são significativos, e credíveis, tendo em atenção a direcção da linha de maior declive da encosta; ii) Sob a hipótese 4, os pontos objecto não apresentam deslocamentos significativos, mas o ponto estação PJ sofre um deslocamento progressivo no sentido descendente da linha de maior declive da encosta (cf. Figura 2).

Na Figura 3, são apresentados, a título de exemplo, os deslocamentos resultantes da comparação das observações realizadas em 2008 e 1990, de acordo com as hipóteses 1 e 4. A Figura também apresenta as elipses de erro, para um nível de probabilidade de 0,95, correspondentes às duas hipóteses. A hipótese 4, que é consis-



te com as anomalias dos ângulos azimutais definidos pelos pontos do quadro de referência, é substancialmente mais credível do que a hipótese 1.



**Figura 3** – Deslocamentos horizontais sob a hipótese 1 (em cima) e sob a hipótese 4 (em baixo)

Sob a hipótese 4, apenas cinco pontos apresentam deslocamentos horizontais significativos, que se destacam (Figura 3) das elipses de erro. Estes deslocamentos são confirmados com os resultados do nivelamento geométrico. Os deslocamentos verticais dos restantes pontos são, tal com os horizontais, pouco significativos. Os resultados do nivelamento geométrico estão de acordo com a hipótese 4.



Ainda sob a hipótese 4, é estimado um deslocamento para a estação PJ, dirigido para a margem esquerda (cf. Figura 3) cujo módulo atinge 58 mm. Este deslocamento pode ser explicado por um corte parcial do talude, próximo da estação PJ, destinado ao alargamento de uma estrada.

#### 4. CONCLUSÕES

A monitorização de deslocamentos por métodos geodésicos baseia-se em pontos de referência cujo deslocamento é suposto nulo, com base em considerações de ordem geotécnica, ou é medido por um método independente, com precisão adequada (GNSS, por exemplo). Em qualquer dos casos, deve ser assegurada redundância, não só nas observações para os pontos objecto, como também devem ser introduzidas observações que confirmem as hipóteses de estabilidade, mesmo que bem fundamentadas, sobre o quadro de referência.

A detecção do problema da instabilidade do pilar de estacionamento PJ foi possível devido à pequena redundância de informação proporcionada pela referência R4. Após a detecção deste problema foram sugeridas medidas de reforço da redundância do sistema de observação planimétrica, nomeadamente, a medição sistemática das distâncias entre os dois pilares de estacionamento e entre estes e a referência. Para tal torna-se necessário reconfigurar a referência, convertendo-a num ponto estacionável pelos alvos retrorreflectores dos taqueómetros.

#### Referências

Casaca, J. (2001). O Método da Variação de Coordenadas na Observação Geodésica de Barragens. LNEC: Série ICT, ITB21.

Casaca, J., Matos, J. e Baio, M. (2005). Topografia Geral. Lisboa: Lidel.

#### Contactos

João CASACA

E-mail: [jmmcasaca@gmail.com](mailto:jmmcasaca@gmail.com)

Instituição: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Endereço "web" da Instituição: [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

País: Portugal