

PROCESSO DE MONITORIZAÇÃO ADOPTADO NA RECONSTRUÇÃO DO PANO DE MURALHA SE DO BALUARTE DO CAVALEIRO EM CHAVES

J. T. Q. S. Pinto¹, H. S. A. Varum², J. P. M. Guedes³, J. J. L. Morais¹

¹ CETAV/UTAD, Departamento de Engenharias, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

² UA, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. CEC/FEUP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

³ CEC/FEUP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.



RESUMO

Este trabalho de investigação tem como principal objectivo descrever o processo de monitorização adoptado para controlar a estabilidade da muralha do Baluarte do Cavaleiro em Chaves e das construções a ela anexas durante o processo de reconstrução do seu pano SE. Este sistema de construção é formado por: 12 edifícios de habitação/comércio que são na sua maioria do século XVIII e XIX; 3 panos de muralha e respectivos cunhais do século XVII e que apresentam grandes dimensões. Face à grande escala deste sistema de construção a ser monitorizado recorreu-se aos meios topográficos tradicionais. Atendendo a que o processo de monitorização se desenvolveu durante dois anos e a que a recolha de leituras foi processada com a periodicidade de duas leituras por semana, foi possível controlar de forma quase continua a estabilidade e compreender melhor o comportamento estrutural destas construções antigas de alvenaria de pedra e, em particular, de muralhas que são um valioso património nacional a preservar.

1 - INTRODUÇÃO

O Baluarte do Cavaleiro é parte integrante do sistema de muralhas existente na cidade de Chaves e trata-se de uma construção em alvenaria de pedra datada do século XVII. O Baluarte é formado por três panos de muralha (nordeste NE, sueste SE e sudoeste SO) e por dois cunhais.

O pano SE da muralha do Baluarte do Cavaleiro sofreu dois colapsos parciais no passado recente (Março de 2001 e Abril de 2002) que deram origem a dois processos de reconstrução.

O trabalho aqui apresentado reporta-se ao último processo de reconstrução que terminou em Fevereiro de 2007. O

desmonte e a reconstrução do pano SE poderiam colocar em risco a estabilidade dos outros dois panos (NE e SO) e dos edifícios contíguos a estes. As incertezas associadas a este processo justificaram a necessidade de se proceder à monitorização destas construções.

2 - MONITORIZAÇÃO ADOPTADA

Em geral, um processo de monitorização deste tipo de construções consiste no registo de parâmetros tais como deslocamentos relativos, movimentos de juntas ou abertura de fendas, nivelamentos, verticalidade, variações de temperatura, assentamentos de fundação, variações do

nível freático, entre outros [Arêde e Costa (2002)].

No contexto deste trabalho e atendendo ao tipo de estruturas a monitorizar (alvenaria de pedra), à dimensão das construções (ex. pano SO da muralha com 40,0 m de desenvolvimento e altura máxima de 12,5 m), à quantidade de construções a controlar (12 edifícios, o pano SO e o pano NE da muralha, 2 cunhais), ao facto desse controlo se processar essencialmente ao nível do exterior e dessas construções se localizarem no centro da cidade de Chaves (zona muito frequentada por transeuntes e tráfego rodoviário), optou-se por um sistema de monitorização baseado em controlo topográfico em detrimento à instalação de instrumentos de controlo de deformação e de inclinação [Félix et al. (2002)]. Para o efeito, definiu-se um conjunto de pontos de referência onde foram colados reflectores e efectuaram-se leituras periódicas (2 leituras por semana durante 2 anos) das suas coordenadas através de meios topográficos tradicionais (estação total NIKON-350, Pulse Laser Station) [Pinto et al. (2003)] [Pinto et al. (2007)].

Os critérios adoptados para a escolha dos pontos de referência foram: zonas da construção onde era espectável surgirem maiores deslocamentos; definição de uma malha de pontos que em conjunto representassem adequadamente a deformada global da estrutura; pontos que possibilitassem a colagem dos reflectores e que não tivessem obstáculos no campo de visão; o número mínimo de pontos de referência por construção ser igual a dois.

A figura 1 mostra em planta o Baluarte do Cavaleiro, os edifícios (de A a L) e a ele adjacentes e que também foram monitorizados e os pontos de referência (de 1 a 37).

Por sua vez, na figura 2 é possível observar em alçado a localização dos pontos de referência definidos para os panos (NE e SO) e para os cunhais do Baluarte do Cavaleiro.

As coordenadas dos pontos de referência foram inicialmente medidas num referencial

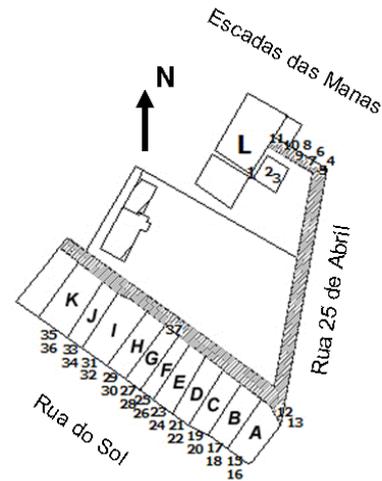


Fig 1 - Baluarte do Cavaleiro. Edifícios (de A a L) monitorizados. Pontos de referência (de 1 a 37)

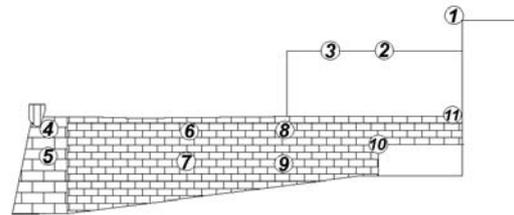


Fig 2a - Localização dos reflectores. Pano NE (Escadas das Manas) e cunhal de ligação dos panos SE/NE

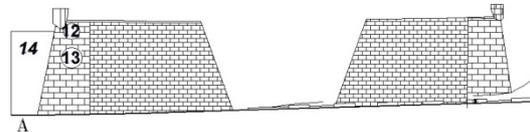


Fig 2b - Localização dos reflectores. Pano SE (Rua 25 de Abril). Cunhais de ligação dos panos SE/NE e SO/SE

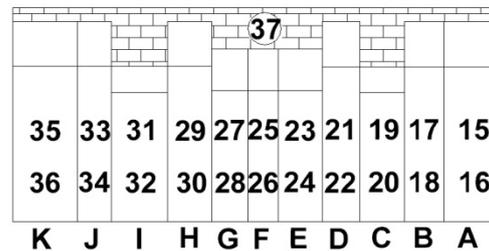


Fig 2c - Localização dos reflectores. Pano SO e edifícios contíguos monitorizados (de A a K) (Rua do Sol)

global (x, y, z) e depois convertidas num referencial local (x' - direcção perpendicular à fachada do edifício ou à parede da muralha, y' - direcção paralela respectiva, z) definido para cada construção monitorizada e tal como representado na figura 3. Esta conversão

simplificou significativamente a interpretação dos resultados.

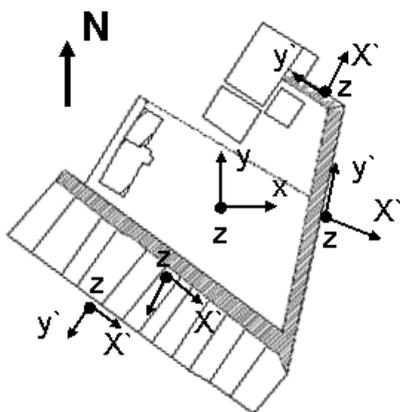


Fig 3 - Referencial global (x, y, z) e referencial local (x', y', z) para cada edifício ou parede da muralha

A variação das coordenadas registadas para um determinado ponto de referência permitiu quantificar o deslocamento sofrido por esse ponto no período de tempo compreendido entre as datas dos respectivos registos. Conhecido o deslocamento de todos os pontos de referência definidos para uma construção é possível avaliar a evolução da sua deformação e, conseqüentemente, detectar potenciais sinais indicadores de instabilidade.

Como coordenadas iniciais de cada ponto de referência usou-se a média aritmética das cinco primeiras registadas, servindo como base para a determinação da evolução do deslocamento sofrido por cada ponto ao longo do tempo. Essas cinco primeiras leituras de coordenadas de cada ponto de referência foram registadas antes de se efectuar qualquer trabalho de desmonte e de reconstrução do pano SE da muralha (data t_0). Estes registos decorreram durante o mês de Abril de 2005.

Deste modo, a diferença entre o valor das coordenadas registadas para um determinado ponto de referência numa determinada data (t_i) e o valor de referência inicial das coordenadas corresponderá ao deslocamento relativo sofrido por esse ponto no período de tempo compreendido entre t_0 e t_i .

As coordenadas medidas também permitiram determinar o ângulo (α) que cada fachada dos edifícios ou parede da

muralha faz com a vertical e atendendo a que se definiu pelo menos dois pontos de referência alinhados aproximadamente na vertical para cada construção.

Tal como foi efectuado para a determinação dos deslocamentos, também foi quantificada uma inclinação inicial de referência para cada construção, usando para o efeito a média aritmética de cinco primeiras leituras registadas. O controlo da verticalidade de cada fachada, numa determinada data t_i , foi efectuado com a variação de α ocorrida no período de tempo compreendido entre t_0 e t_i . Uma variação crescente de α ao longo do tempo corresponderia a uma perda de verticalidade da fachada da construção (correspondente a uma rotação global) e conseqüentemente, seria também um indicador de instabilidade da construção.

Atendendo a que a temperatura, a pressão atmosférica, a humidade relativa e a velocidade do vento poderiam afectar a precisão das leituras das coordenadas dos pontos de referência, estes parâmetros físicos foram quantificados em cada visita à obra assim como, também foi efectuada uma inspecção visual a todas as construções e envolvente, de forma a detectar a eventual ocorrência de outros sinais indicadores de instabilidade tais como: aparecimento de novas fissuras nas construções; ocorrência de assentamentos e/ou fissuras no solo das imediações.

3 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1 - Deslocamentos

Através do procedimento descrito foi possível quantificar a evolução do deslocamento de cada ponto de referência ao longo da empreitada. Neste trabalho, apenas se apresenta, por simplificação, a evolução do deslocamento dos pontos de referência definidos para os panos NE e SO da muralha e para os dois cunhais.

3.1.1 - Pano NE

A figura 4 mostra a evolução das componentes de deslocamento dos pontos

de referência relativos ao pano NE (6, 7, 8 e 9) ao longo da execução da empreitada.

É possível observar que nenhum desses pontos de referência apresentou uma evolução da componente de deslocamento monotonicamente crescente ao longo do tempo. Essa evolução foi oscilatória e os valores máximos absolutos foram para todos os pontos inferiores a 6,0 mm. O valor médio das componentes de deslocamento desses pontos foi inferior a 2,0 mm, com excepção da componente de deslocamento perpendicular do ponto de referência 8 que apresentou um valor médio de 2,7 mm.

Este pano não parece ter sido afectado pelo desenrolar dos trabalhos da empreitada porque, tal como já foi referido, o ponto de referência que apresentou maior valor de componente de deslocamento foi o ponto 8 e, paralelamente, foi um dos pontos que estava mais afastado da zona de intervenção, figura 2a.

Convém salientar que a figura 4d apenas ilustra a evolução do deslocamento do ponto de referência 9 a partir do registo 72. Este facto resultou do reflector relativo a este ponto ter descolado durante o mês de Dezembro de 2005.

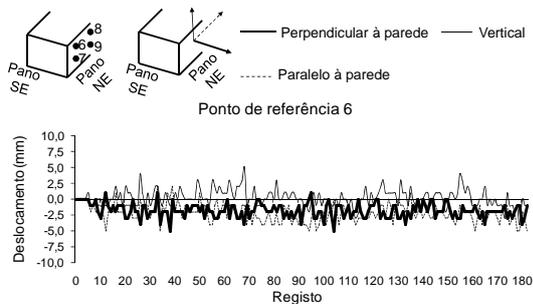


Fig 4a - Evolução do deslocamento do ponto de referência 6 relativo ao pano NE

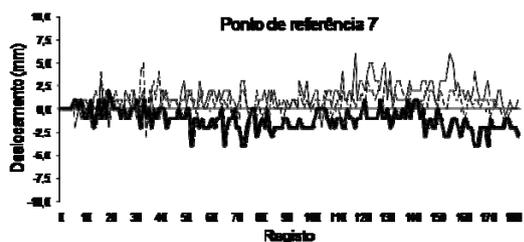


Fig 4b - Evolução do deslocamento do ponto de referência 7 relativo ao pano NE

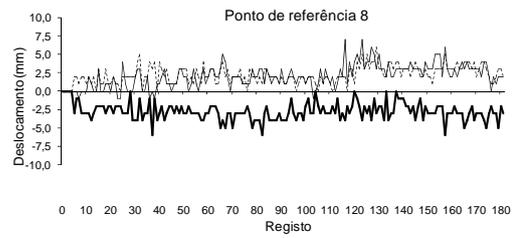


Fig 4c - Evolução do deslocamento do ponto de referência 8 relativo ao pano NE

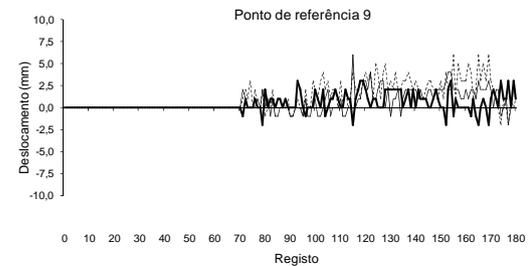
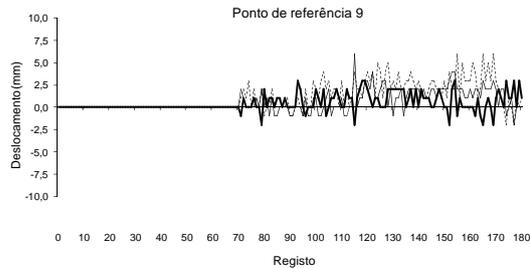


Fig 4d - Evolução do deslocamento do ponto de referência 9 relativo ao pano NE

3.1.2 - Pano SO

Apenas foi possível definir um ponto de referência (ponto 37) no pano SO da muralha porque os edifícios existentes contíguos a este pano dificultaram a colagem de outros reflectores. O ponto de referência 37 foi localizado, sensivelmente a meio do pano SO, figura 2c, ficando assim relativamente distante

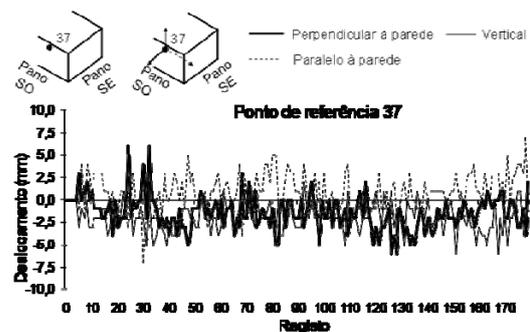


Fig 5 - Evolução do deslocamento do ponto de referência 37 relativo ao pano SO

da zona mais afectada pelos trabalhos de demolição e reconstrução do pano SE da muralha. Essa zona corresponde à zona próxima do cunhal de ligação dos panos SE e SO.

A evolução do deslocamento deste ponto de referência está ilustrada na figura 5, onde é possível constatar que este ponto não sofreu deslocamentos significativos ao longo da execução da empreitada. A evolução das componentes de deslocamento não foram do tipo monotonicamente crescente e a componente de deslocamento que apresentou maior valor médio foi a relativa ao deslocamento vertical, com um valor de 1,8 mm.

3.1.3 - Cunhal de ligação dos panos SO e SE

Os pontos de referência 12 e 13, figura 2b, foram definidos para monitorizar o cunhal de ligação dos panos SO e SE. A evolução do deslocamento destes pontos ao longo da execução da empreitada está representada na figura 6. Também para estes pontos não se verificou uma tendência crescente na generalidade das componentes de deslocamento e o valor médio dessas componentes de deslocamento nunca excedeu os 2,0 mm, o que mostra que este cunhal não foi afectado de forma significativa, em termos de comportamento estrutural, pelo facto do pano SE ter sido quase totalmente demolido e posteriormente reconstruído.

Através da figura 6 também se observa que a componente paralela de deslocamento do ponto 12 sofreu uma evolução tendencialmente crescente entre os registos 141 e 167 (de Setembro a Dezembro de 2006). Este comportamento justifica-se pelo facto do bloco de pedra onde estava colado o reflector que materializou este ponto de referência estar localizado na última fiada de pedra do cunhal (figura 7) e ter sido sucessivamente movimentado ao longo desse período de tempo. Este movimento esteve relacionado com a execução da empreitada. Essa evolução da componente paralela de deslocamento do ponto 12 estabilizou a partir do registo 167.

Este é um exemplo de um sinal de instabilidade detectado através do processo de monitorização adoptado neste trabalho.

Neste caso particular, foi possível detectar: um sinal de instabilidade (evolução crescente de uma componente de deslocamento de um ponto de referência), identificar a causa (movimento de um bloco de pedra resultante dos trabalhos em curso), averiguar a escala desse sinal de instabilidade (circunscrita a um bloco de pedra, a inspecção visual não detectou movimentos significativos da zona do cunhal envolvente a esse bloco de pedra, os pontos de referência próximos do ponto 12 não apresentaram qualquer evolução crescente de deslocamento), tomar decisão em relação à execução dos trabalhos (os trabalhos decorreram normalmente porque o cunhal (ou parte dele) não apresentou sinais de instabilidade que indicassem risco de colapso).

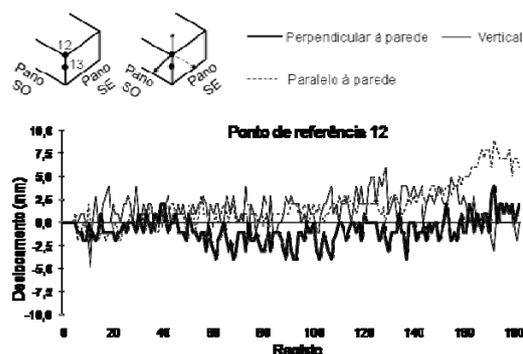


Fig 6a - Evolução do deslocamento do ponto de referência 12 relativo ao cunhal de ligação dos panos SE e SO

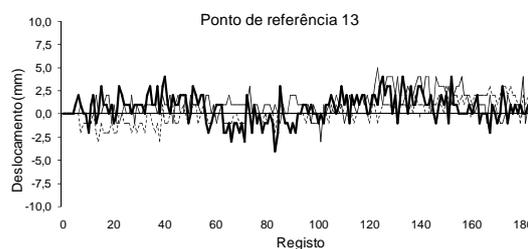


Fig 6b - Evolução do deslocamento do ponto de referência 13 relativo ao cunhal de ligação dos panos SE e SO

3.1.4 - Cunhal de ligação dos panos SE e NE

Um procedimento semelhante foi desenvolvido para o cunhal de ligação dos panos SE e NE da muralha em que os pontos



Fig 7a - Localização dos pontos de referência 12 e 13 relativos ao cunhal de ligação dos panos SE e SO

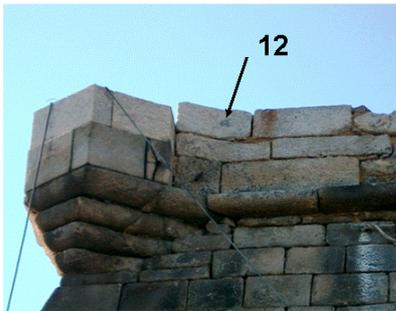


Fig 7b - Localização do ponto de referência 12 relativo ao cunhal de ligação dos panos SE e SO

de referência definidos para o efeito, figura 2a, foram os pontos 4 e 5.

A evolução das componentes de deslocamento destes pontos está representada na figura 8, onde se pode constatar que até ao registo 116 (em Junho de 2006) estes pontos não sofreram movimentos expressivos.

Contudo, a partir desse registo, nota-se que ambos os pontos apresentaram um acréscimo da componente vertical de deslocamento no sentido ascendente. Esta evolução inverteu-se a partir do registo 158 (em Novembro de 2006) tendendo novamente para a posição inicial (0 mm).

Aquando do registo 116 ainda estava em curso o desmonte do pano SE da muralha, mais precisamente, estava em curso o desmonte das zonas deste pano adjacentes aos cunhais. Simultaneamente, também tiveram início os trabalhos relativos à escavação para a execução de drenos horizontais.

Face ao exposto, deduz-se que estes trabalhos tenham sido a causa da referida

evolução crescente de deslocamento. À medida que os trabalhos de reconstrução do pano SE da muralha foram decorrendo os pontos 4 e 5 voltaram a apresentar uma evolução vertical de deslocamento semelhante à ocorrida antes do registo 116.

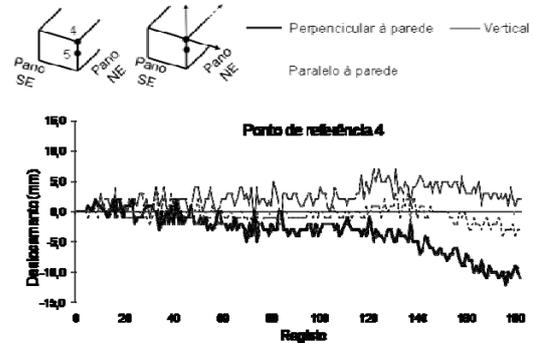


Fig 8a - Evolução do deslocamento do ponto de referência 4 relativo ao cunhal de ligação dos panos SE e NE

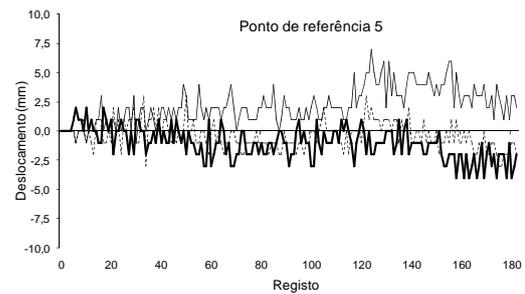


Fig 8b - Evolução do deslocamento do ponto de referência 5 relativo ao cunhal de ligação dos panos SE e NE

Os pontos de referência 12 e 13 também apresentaram uma evolução de componente vertical de deslocamento semelhante à anteriormente descrita para os pontos 4 e 5, embora de forma menos pronunciada (figura 6).

Na figura 8a também se observa que o ponto 4 apresentou uma evolução crescente da componente perpendicular a partir do registo 138 correspondendo ao período de tempo em que decorreram os trabalhos de reconstrução do pano SE. Atendendo a que os valores desta componente são negativos, o bloco de pedra (no qual estava colado o reflector que materializou este ponto) sofreu deslocamentos com componente perpendicular ao pano NE no sentido do talude.

À semelhança do que aconteceu com o ponto 12, a causa da evolução crescente de deslocamento perpendicular do ponto 4 esteve relacionada com os trabalhos de reconstrução em curso nessa fase. A figura 9 mostra que alguns blocos de pedra localizados na vizinhança do ponto 4 apresentavam fissuras.

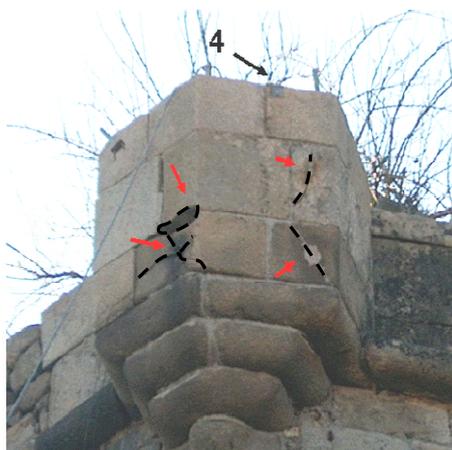


Fig 9 - Ponto de referência 4 e patologias identificadas na zona circundante a esse ponto

3.2 - Inclinações

A evolução do ângulo α ao longo da execução da empreitada, para controlar a “verticalidade” das construções monitorizadas ilustra-se na figura 10, relativamente ao alinhamento definido pelos pontos 6 e 7 do pano NE.

Tal como se pode observar, a zona desse pano envolvente ao alinhamento definido por esses dois pontos manteve uma inclinação praticamente constante ao longo do tempo, o que demonstra que os trabalhos de reconstrução não afectaram o comportamento estrutural da muralha nessa zona.

Resultado semelhante foi obtido para todos os outros alinhamentos verticais definidos nas construções monitorizadas.

4 – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos revelaram que as construções monitorizadas não foram afectadas de forma significativa pelo processo de reconstrução do pano SE, pois apresentaram um comportamento estrutural

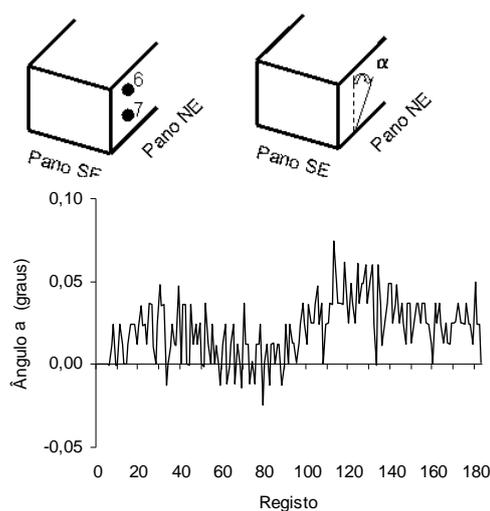


Fig 10 - Evolução do ângulo α ao nível do alinhamento definido pelos pontos de referência 6 e 7 do pano NE

análogo àquele observado antes de se dar início a qualquer trabalho relativo a esse processo de reconstrução. Na generalidade, as construções envolvidas não sofreram deformações expressivas durante os dois anos de duração deste trabalho de monitorização.

O processo de monitorização adoptado foi adequado porque permitiu controlar, de forma quase contínua, rigorosa e simples um vasto número de construções durante o período de tempo necessário à execução de todos os trabalhos relativos à empreitada de reconstrução do pano SE.

Com este processo foi possível registar a evolução das deformações que caso evoluíssem no sentido crítico poderiam servir de alerta para serem tomadas medidas de estabilização das construções, evitando deste modo, a ocorrência de colapsos e de perdas de vidas humanas.

Gerou-se um conjunto de informação que permite perceber o comportamento real deste tipo de estruturas e calibrar modelos numéricos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se o contributo de todos os Colegas que formaram equipa no trabalho de “Observação e acompanhamento das obras de desmonte e de reconstrução do pano SE da muralha do Baluarte do

Cavaleiro”, desenvolvido no âmbito de um protocolo estabelecido entre a Câmara Municipal de Chaves e a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arêde A.; Costa A. – *Inspecção e diagnóstico estrutural de construções históricas (algumas contribuições da FEUP)*, Actas do 1º Seminário “A intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação”, FEUP, Porto, Outubro de 2002.

Félix C. et al. – *Monitorização do Comportamento da Ponte Luiz I durante o Ensaio de Carga*. Estruturas 2002, LNEC, Julho de 2002.

Pinto J.; Faustino J.; Vieira A. - *Avaliação da segurança estrutural da Ponte sobre o rio Sabor*. Relatório técnico. UTAD. 2003.

Pinto J.; Vieira J.; Faustino J.; Teixeira R. - *Observação e Acompanhamento das Obras de Desmonte e de Reconstrução da Muralha SE do Baluarte do Cavaleiro em Chaves*. Relatório técnico final. UTAD. Fevereiro de 2007.