



## VALIDAÇÃO COM NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DA SUBSIDÊNCIA DETECTADA NA CIDADE DE LISBOA COM PSINSAR

Maria João HENRIQUES<sup>1</sup>, José Nuno LIMA<sup>1</sup>, Ana Paula FALCÃO<sup>2</sup> e Sandra I. HELENO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil

<sup>2</sup>ICIST – Instituto Superior Técnico

**Resumo:** Integrado no Projecto SUBSIn (PTDC/CTE-GEX/6521/2006), pretende-se monitorizar, na componente altimétrica, a região de Lisboa com GNSS e com nivelamento geométrico. Tendo sido detectada, através da análise dos resultados PSINSAR, uma área na cidade de Lisboa com elevados valores de subsidência, pretendeu-se validar estes resultados por comparação com resultados obtidos por métodos independentes.

**Palavras-chave:** InSAR/ subsidência/ nivelamento geométrico / GNSS /

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho surge no âmbito do projecto Terrafirma (<http://www.terrafirma.eu.com>), integrado no programa da ESA "Monitorização Global para o Ambiente e a Segurança" (GMES). Estudos realizados com recurso a uma técnica avançada de interferometria de radar, o PSINSAR (Ferretti et al., 2001; Duro et al., 2005), os quais abrangeram a região da grande Lisboa, permitiram detectar assentamentos na ordem de alguns milímetros por ano (Valadão et al., 2005; Heleno et al., 2008). A investigação aqui relatada foi levada a cabo no âmbito do projecto SUBSIn – Utilização do InSAR na detecção e caracterização de subsidência e deslizamentos do solo na região de Lisboa, que inclui como objectivo a validação dos resultados PSINSAR anteriormente fornecidos pelo serviço GMES-Terrafirma. Em algumas das áreas em que foram detectados assentamentos encontram-se instaladas, há alguns anos, marcas de nivelamento e uma estação permanente GNSS que podem ser utilizados para determinar os assentamentos de pontos. Uma destas zonas, abrangendo Laranjeiras / Luz / Cidade Universitária / Campo Grande, foi utilizada para área de estudo, apresentando-se nesta comunicação os primeiros resultados obtidos.

### 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na cidade de Lisboa existem algumas áreas onde através do PSINSAR se detectaram assentamentos médios que podem atingir os 6 mm por ano. Numa destas áreas, limitada a Norte pela "2ª Circular", a Oeste pelo Alto dos Moinhos, a Sul por Sete Rios e a Este pelo Campo Grande, encontram-se zonas que, estando distantes entre si de poucas centenas de metros, apresentam velocidades médias de assentamento bastante diferentes: umas zonas são estáveis enquanto outras apresentam valores elevados de assentamento. Nesta área existem, desde há muitos anos, várias dezenas de marcas pertencentes a linhas de nivelamento estabelecidas na cidade de Lisboa para apoio à produção cartográfica, tendo a sua localização e as altitudes respectivas sido disponibilizadas pela Câmara Municipal de Lisboa (CML) para o presente trabalho. Existem também, embora há menos tempo, estações GNSS permanentes ou semi-permanentes. Ambos os tipos de equipamento permitem estimar assentamentos de pontos e, com base nestes, calcular velocidades médias de assentamento, valores estes que podem ser comparados com os resultados do PSINSAR.



### 3. ASSENTAMENTOS COM BASE EM NIVELAMENTOS GEOMÉTRICOS

De acordo com os resultados PSINSAR obtidos de imagens de radar de abertura sintética captadas pelos satélites ERS e ENVISAT no período 1993-2006, a extremidade Sul da Estrada das Laranjeiras é uma zona da cidade muito estável, em oposição não só à sua extremidade Norte mas também à Estrada da Luz (via que se encontra no prolongamento da Estrada das Laranjeiras, para Norte) as quais registaram, no referido período, velocidades médias de assentamento que atingiram, nalgumas áreas, os 6 mm por ano. Ao longo destas duas vias e nas zonas envolventes, encontram-se diversas marcas de nivelamento da CML, tendo sido localizadas 15 (ver Figura 1), pertencentes às linhas de nivelamento n.º 120, 512, 552, 564, 567 e 136. As marcas são metálicas, têm forma circular e estão chumbadas nos lancis dos passeios. Durante o mês de Julho de 2009, uma equipa do Núcleo de Geodesia Aplicada do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) efectuou o nivelamento geométrico (NG, Figuras 2 e 3), da linha assinalada na Figura 1. Com base nos desníveis medidos, e no pressuposto que o ponto 136L3 não tem variação de altitude, foram calculadas as altitudes dos restantes 14 pontos e comparadas estas com as altitudes fornecidas pela CML, valores estes resultantes de nivelamentos efectuados em 1995. Os resultados (deslocamentos dos pontos relativos a 136L3) estão apresentados na Figura 4.

Por se tratarem de duas técnicas pontuais de medição de deslocamentos, e pelo facto de não existir coincidência geográfica entre as marcas de nivelamento e os pontos PSINSAR, foi necessário proceder à geração de uma superfície de deslocamentos dos dados PSINSAR, de modo a facilitar a comparação directa entre os valores dos deslocamentos obtidos pelas duas técnicas. Foram utilizados 12560 pontos, com valor de coerência acima de 0.5 e com comportamento isotrópico. A técnica de interpolação utilizada foi a *krigagem* e identificado o modelo teórico esférico. O desvio-padrão obtido foi 0.18mm, ao nível da precisão dos dados originais. Posteriormente, foram geradas as correspondentes isolinhas apresentadas na Figura 1.

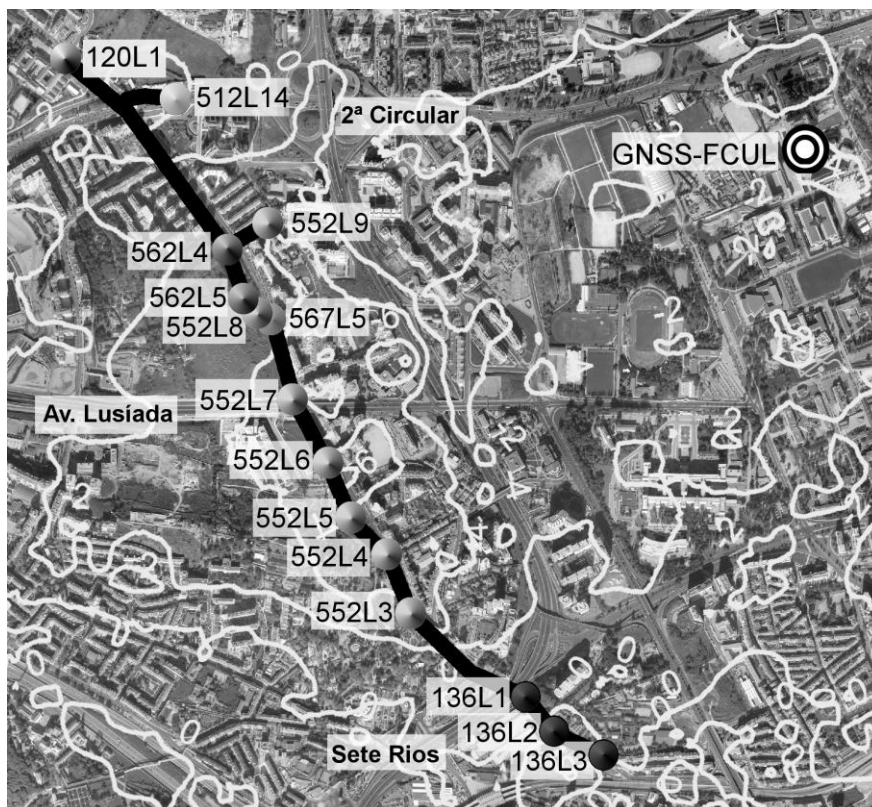


Figura 1 – Localização dos pontos nivelados nas estradas das Laranjeiras e da Luz. As isolinhas assinalam zonas de igual velocidade média de assentamento (mm/ano), de acordo com os dados PSINSAR



Figura 2 – Estacionamento de uma mira de 3 m, com escala em invar, na marca 136L2



Figura 3 – Medição do desnível entre uma marca de passagem e a marca 512L14, situada na 2ª Circular

No nivelamento foi utilizado um nível Leica NA2 com micrómetro e duas miras, aferidas, de três metros com escalas em invar. Na base de cada mira foi fixado um talão com a extremidade inferior convexa, adequado para o tipo de marcas (chapas metálicas planas). Foi efectuado o nivelamento e o contra-nivelamento de todos os troços, tendo-se repetido o nivelamento daqueles cuja diferença entre desníveis não foi considerada aceitável. Quanto aos assentamentos resultantes do nivelamento geométrico, estima-se que estes sejam calculados com uma incerteza de 2mm (no pressuposto que a metodologia e equipamento utilizados nos nivelamentos efectuados em 1995 permitiam uma incerteza de medição semelhante à incerteza estimada pelo LNEC).

A análise do gráfico apresentado na Figura 4 mostra: i) que todos os pontos assentaram em relação à referência, o ponto 136L3; ii) que os pontos 552L8 e 136L1 apresentam deslocamentos anómalos, revelando um assentamento muito superior aos dos pontos mais próximos. Dado que se conhece o intervalo de tempo que decorreu entre os nivelamentos (14 anos) é possível calcular a velocidade média anual de assentamento das marcas, grandeza esta que pode ser directamente comparada com os resultados do PSINSAR (ver gráfico da Figura 5, não se apresentando neste as velocidade dos pontos 552L8 e 136L1 obtidas do nivelamento geométrico).

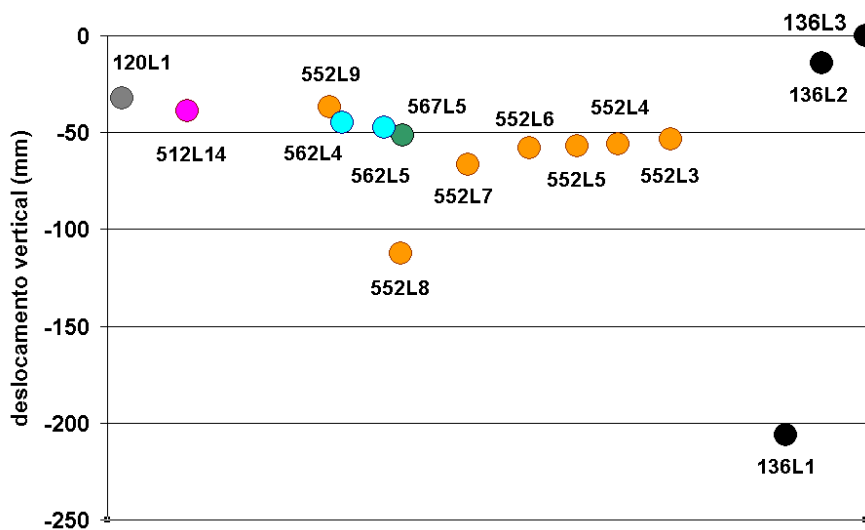


Figura 4 – Nivelamento geométrico: deslocamentos verticais entre 1995 e 2009

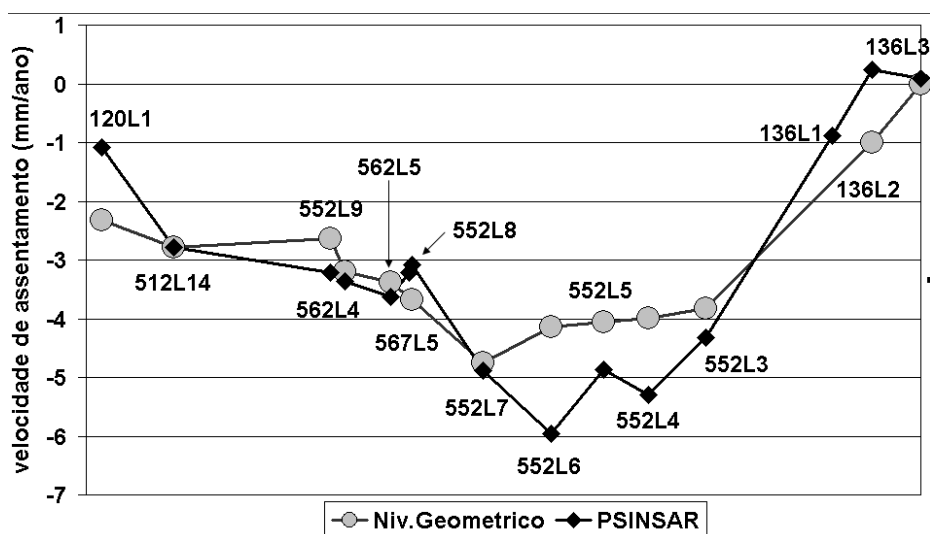


Figura 5 – Velocidade média anual dos deslocamentos (o sinal negativo indica que o deslocamento se efectua no sentido do nadir)

A Figura 5 mostra que existem duas zonas contíguas, com fronteira entre os pontos 552L7 e 552L6 (não muito longe da Av. Lusíada), que apresentam velocidades de assentamento diferentes. Assim, na zona que é limitada a Norte pela 2ª Circular, as velocidades resultantes do NG e do PSINSAR são muito semelhantes, enquanto na zona imediatamente a Sul as velocidades estimadas pelo PSINSAR são superiores: a diferença é, em média, de 1mm/ano. Desconhecem-se as metodologias e o equipamento utilizado nos nivelamentos efectuados para a CML pelo que não se pode descartar a hipótese de haver alguma heterogeneidade na qualidade dos dados da CML, nomeadamente quando são linhas diferentes. No entanto, é importante salientar que uma destas linhas, a 552, se estende pelas duas zonas e que, consoante a zona, os seus pontos ou têm velocidades de assentamento muito semelhantes às do PSINSAR (zona a Norte) ou apresentam velocidades algo diferentes (zona a Sul), sendo que nesta o PSINSAR aponta para uma velocidade de assentamento superior. Como os períodos cobertos pelo processamento PSINSAR (1993-2006) e pelo nivelamento geométrico (1995-2009) não correspondem exactamente, tal pode indiciar um comportamento temporal distinto para o assentamento ocorrido nas duas zonas.

#### 4. ASSENTAMENTOS COM BASE EM RESULTADOS GNSS

Na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), situada a Oeste do Campo Grande, numa zona onde o PSINSAR assinala um assentamento com a velocidade média anual de 4mm/ano, existe, desde de 2005, uma estação permanente GNSS. Não muito longe desta, existem duas estações GNSS em zonas estáveis, mais exactamente no LNEC, desde 2006, e no Instituto Superior Técnico (IST), desde 2001, a primeira semi-permanente; a segunda permanente. De acordo com os resultados INSAR estas duas estações situam-se em zonas estáveis. O processamento dos dados registados nestas estações permite estimar os deslocamentos e a respectiva velocidade, da estação FCUL (Lima et al., 2009). No gráfico da Figura 6 apresenta-se a variação da componente altimétrica do vector IST-FCUL, onde se estima uma velocidade de assentamento de 3mm/ano (ver a variação da média móvel na Figura 6). Refira-se que, de acordo com os resultados PSINSAR, esta zona tem uma velocidade de assentamento estimada de 4mm/ano (ver Figura 1).

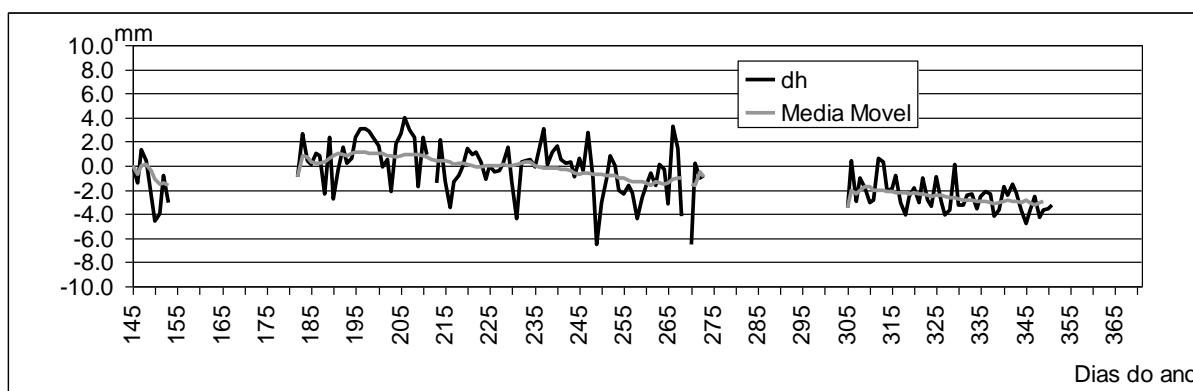


Figura 6 – Variação altimétrica (dh), entre as estações GNSS do IST e da FCUL, durante o ano de 2005, e a respectiva média móvel de ordem 29

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados do nivelamento geométrico e do GNSS confirmam os assentamentos observados com o PSINSAR na zona limitada a Norte pela “2ª Circular”, a Oeste pelo Alto dos Moinhos, a Sul por Sete Rios e a Este pelo Campo Grande, com uma concordância da ordem de 1mm/ano.

De futuro, pretende-se efectuar a validação com nivelamento geométrico quer recorrendo a outras linhas que atravessam a área de Lisboa que foi alvo do estudo aqui apresentado, quer noutras áreas da região de Lisboa, mas já fora da cidade. Pretende-se ainda completar o processamento GNSS, cujos resultados preliminares aqui se apresentam, quer incluindo dados mais recentes quer abrangendo outras estações existentes na região.

## Agradecimentos

Agradece-se à Câmara Municipal de Lisboa a cedência das altitudes das marcas de nivelamento assim como de demais elementos que permitiram a sua localização.

## Referências

- Ferretti,A., Prati,C. e Rocca,F. (2001). Permanent Scatterers in SAR Interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, n.º 1, pp. 8-20.
- Heleno,S., Loureiro,A., Fonseca,J., Matos,J., Carvalho,J., Cooksley,G., Falcão,A.P. e Ferretti,A. (2008). Detection Of Ground Motion In The Lisbon Region With Persistent Scatterer Interferometry (Psi). Comunicação apresentada no 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis e 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Lisboa, Portugal, 12-15 Maio. [http://www.fig.net/commission6/lisbon\\_2008/index.htm](http://www.fig.net/commission6/lisbon_2008/index.htm)
- J. Duro, Inglada,J., Closa,J., Adam,N., Arnaud,A. , HIGH RESOLUTION DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY USING TIME SERIES OF ERS AND ENVISAT SAR DATA. Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium, Salzburg, Austria, 6-10 September 2004 (ESA SP-572, April 2005).
- Lima, J. N., Henriques, M. J., Heleno, S. I., Fonseca, J., Falcão, A. P., A Monitorização Altimétrica da Zona de Lisboa com GNSS e Nivelamento Geométrico. Actas da VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Caldas da Rainha, 7 e 8 de Maio de 2009.



2º Encontro Nacional de Geodesia Aplicada

Lisboa • LNEC • 12 e 13 de Outubro de 2009



Valadão, G., Matos, J., Oliveira, C., Fonseca, J., Santos, M. e Novali, F. (2005). Subsídências Para a Região de Lisboa por PSInSAR: Análise Preliminar de Resultados. Em J. Casaca e J. Matos (ed.) Cartografia e Geodesia 2005: IV Actas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa, Portugal, 10-11 Março, 2005. Edições Lidel, 2005, pp. 378 – 383.

### Contactos

Maria João HENRIQUES

mjoao@lnec.pt

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Núcleo de Geodesia Aplicada

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Portugal