

1 **Identificação de deformações em sedimentos finos não**
2 **consolidados com recurso a georadar (Vale Inferior do Tejo)**

3 **R. J. Oliveira^{1*}, J. Casação², B. Caldeira³ & J. F. Borges⁴**

4 Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora, Rua Romão Ramalho, 59 – 7000-671 Évora, 1 -
5 ruio@uevora.pt; 2 - jcasacao@uevora.pt; 3 - bafcc@uevora.pt; 4 - jborges@uevora.pt

6 * - Autor correspondente

7

8

9 **Resumo**

10 O projeto ATESTA visa avaliar a perigosidade sísmica no Vale Inferior do Tejo. Tem vindo a assumir-se
11 que as falhas ativas na região terão sido a fonte de eventos históricos, como sejam os sismos de 1531 e
12 1909, que afectaram a região de Lisboa. Para melhor compreensão destes processos, realizaram-se
13 ensaios geofísicos nas imediações de Vila Franca de Xira, perto de Lisboa. O objetivo destes ensaios é
14 determinar a localização precisa das falhas, mediante a deteção de deformações sub-superficiais que
15 possam estar associadas às escarpas dessas falhas. Os resultados de georadar evidenciam estruturas
16 verticalizadas que corresponderão a falhas ou a deformações de sedimentos finos não consolidados.

17 **Palavras-chave:** Falhas ativas, Vale Inferior do Tejo, deformação de sedimentos finos não consolidados,
18 processamento de imagem.

19 **Abstract**

20 The main purpose of the project ATESTA is to assess the seismic hazard on the Lower Tagus Valley.
21 Here, regional seismic faults are assumed to be the source of historical events, such as the 1531 and 1909
22 earthquakes which affected the Lisbon area. For a better understanding of these processes, several
23 geophysical surveys were carried out in Vila Franca de Xira (Lisbon). The purpose of these tests is to
24 determine the precise location of faults by detecting sub-superficial deformations that may be associated
25 with the slopes of these structures. The results of ground-penetrating radar emphasize vertical structures
26 that can match faults or soft-sediment deformation structures.

27 **Keywords:** Active faults, Lower Tagus Valley, soft-sediment deformation structures, image processing.

28

29 **Objectivo do estudo**

30 O objetivo deste estudo, desenvolvido no âmbito do projecto ATESTA, é cartografar
31 falhas ativas aflorantes do Vale Inferior do Tejo, na zona de Vila Franca de Xira. A
32 partir dos dados provenientes de ensaios de sísmica de reflexão em diversos locais da
33 região (desenvolvidos também no âmbito do projeto ATESTA) foi possível escolher
34 algumas localizações onde existe forte probabilidade de se encontrarem falhas à
35 superfície, ou muito próximo desta. Nesses locais realizaram-se ensaios de georadar
36 (GPR) de forma a confirmar as suspeitas da presença de falhas aflorantes ou a poucos
37 metros da superfície.

38

39 **Enquadramento da área de estudo**

40 A área de estudo, situada em Vila Franca de Xira, está inserida no sector central da
41 Bacia Cenozóica do Baixo Tejo, no Vale Inferior do Tejo. Na vizinhança desta área
42 foram realizados trabalhos sobre geologia estrutural a nível regional, tendo-se por
43 objectivo principal cartografar falhas e caracterizar a sismicidade da região, dada a
44 enorme preocupação com o risco sísmico da área metropolitana de Lisboa.

45 A Bacia Lusitaniana, formada no Mesozóico durante a abertura do Atlântico Norte,
46 encontra-se na Orla Ocidental do Maciço Ibérico e apresenta carácter distensivo
47 continental. De acordo com Ribeiro *et al.* (1979), a evolução da bacia foi condicionada
48 por episódios de fracturação tardi-variscos, nomeadamente cisalhamentos direitos,
49 responsáveis pelo aparecimento de falhas de desligamento esquerdo com direcção NNE-
50 SSW e NE-SW (Ribeiro, 2002). A Zona de Cisalhamento de Porto-Tomar, com

51 orientação N-S e outras falhas de direção NW-SE foram igualmente importantes na
52 definição da estrutura da Bacia Lusitaniana (Kullberg *et al.*, 2006).

53 É de conhecimento geral, atendendo a evidências expostas em artigos publicados, que o
54 Vale Inferior do Tejo é sismicamente ativo. É lá que se localizam as falhas ativas
55 responsáveis pelos importantes sismos históricos de 1531 e 1909. Uma dessas falhas é a
56 denominada Falha de Vila Franca de Xira, cujo traçado passará na área de estudo
57 (Cabral *et al.*, 2004). Recentemente descobriram-se, em registos sísmicos (Ghose *et al.*,
58 2013), evidências de deformação provocada por falhas que poderão ter expressão a
59 poucos metros da superfície, logo afectando sedimentos recentes. Estes factos
60 motivaram a escolha desta região para local deste trabalho.

61 A litostratigrafia da área de estudo é caracterizada por depósitos aluvionares, cuja
62 espessura pode atingir os 60m. As ocorrências litológicas consistem, essencialmente, de
63 aluviões argilo-arenosos, areias e argilas. Na base da sequência aluvionar ocorrem
64 níveis de cascalho (Zbyszewski *et al.*, 1965).

65 **Deformação de sedimentos finos não consolidados**

66 Os dados de georadar revelaram uma complexa sub-superfície sedimentar deformada,
67 denunciadora de ambiente geotectónico e geodinâmico complexo. De acordo com Owen
68 *et al.* (2011) e Suter *et al.* (2011), a deformação de sedimentos finos não consolidados
69 ocorre em curtos intervalos de tempo, junto à superfície, durante e logo após a
70 deposição, mas antes de se iniciar definitivamente o processo de diagénese. Porém, para
71 que essa deformação ocorra é necessário que se cumpram algumas condições,
72 nomeadamente, a existência de forças que promovam a deformação. Os fenómenos que
73 desencadeiam essas forças responsáveis por deformação podem estar relacionados com
74 eventos sísmicos. Se os sismos são de magnitude superior a 4,5 a deformação resultante

75 em zonas próximas da fonte pode estar associada ao fenómeno de liquefacção, que
76 consiste numa mudança de estado temporária promovida pelos fortes movimentos
77 sísmicos. Nessas situações, as estruturas que daí resultam, designam-se por sismitos.
78 São estruturas que, para além das ondas sísmicas, podem também ser originadas por
79 cheias, percolação, sedimentação rápida e movimentos do nível freático. Tipicamente,
80 este tipo de deformação ocorre em ambientes lacustres, palustres, zonas deltaicas e
81 estuarinas, planícies aluviais e de inundação, em que a presença de água   abundante
82 (Owen *et al.*, 2011a). Moura-Lima *et al.* (2011) realizaram ensaios de georadar no
83 Brasil para comprovar a origem s mica desta deformac o associada a fen menos de
84 liquefac o e movimentos do substrato em ambiente saturado de água, de modo a
85 excluir potenciais *triggers* autog nicos (Owen *et al.*, 2011).

86

87 **Ensaio geofísico**

88 No local do estudo foram realizados ensaios de georadar de forma a inferir a existência
89 de falhas aflorantes ou que tenham expressão próximo da superfície. Usou-se um
90 sistema da marca GSSO, modelo SIR-3000, com antenas de 100 MHz, 200 MHz e 400
91 MHz. Os dados foram adquiridos por arrastamento das antenas sob perfis, na
92 generalidade dos ensaios segundo o modo distância (aquisi o com antena em
93 movimento). Em alguns ensaios optou-se pelo modo ponto (aquisi o com a antena
94 parada) para confirmar suspeitas sobre o efeito das irregularidades do terreno nos dados
95 adquiridos no modo distância. A antena de 100 MHz foi utilizada no modo bi-est tico
96 de baixo alcance com comunica o entre emissor e recetor, promovida por fibra-óptica,
97 de modo a obter resultados mais precisos.

98

99 **Tratamento de dados**

100 Os dados de georadar obtidos nas campanhas geofísicas foram processados com recurso
101 ao programa RADAN (GSSI), para remover o ganho aplicado durante a aquisição, e ao
102 *plugin* MATGPR para Matlab (Mathworks) para o restante processamento
103 (decomposição da amplitude inversa, com atenuação média, filtros FIR e saturação da
104 coloração do radargrama final tratado).

105

106 **Resultados**

107 Da interpretação dos radargramas finais (Figuras 1 a 4) foi possível identificar uma
108 sucessão estratiforme e horizontal de litologias na área estudada, observando-se
109 localmente estruturas com geometria vertical, deformadas, que poderão corresponder a
110 descontinuidades originadas em consequência de movimentos produzidos numa falha
111 ativa durante um episódio sísmico. Nos níveis estratigráficos analisados ocorrem
112 ressaltos compatíveis com fraturas ou falhas prováveis (FP). Observaram-se também
113 fácies sedimentares, nomeadamente estratificações e laminações, cuja continuidade
114 lateral foi comprometida, devido aos horizontes terminarem de forma abrupta, sendo
115 assim cortados por estruturas posteriores. As estruturas descritas poderão corresponder a
116 assentamentos e/ou consolidação de níveis de maior componente argilosa. No
117 radargrama da Figura 3, a partir dos 95 m nota-se uma mudança de padrão no horizonte
118 dos 30 ns que poderá corresponder a uma deformação sem ocorrência de rotura. A
119 confirmar-se esta interpretação, esta reflete o carácter plástico do conjunto de litologias
120 estudadas. Em alguns radargramas, aos 35 m é observada uma reflexão correspondente
121 a um tubo metálico (TM) próximo da superfície.

122

123 **Conclusão**

124 Após a realização deste estudo concluiu-se que as estruturas identificadas nos
125 radargramas cuja organização é sub-vertical poderão corresponder a evidências de
126 deformação de sedimentos finos não consolidados cujo *trigger* pode ter sido um evento
127 sísmico.

128 O ambiente geodinâmico da área de estudo é estuarino, rico de água e aluviões, com
129 movimentações periódicas do nível freático (marés e cheias). O ambiente tectónico
130 caracteriza-se por uma sismicidade ativa com eventos históricos registados, existindo
131 evidências da ocorrência de fenómenos de liquefação na região. De acordo com a teoria
132 em torno das deformações de sedimentos finos não consolidados, e tendo em conta a
133 organização dos elementos sedimentares estudados, as estruturas verticalizadas que se
134 observaram nos radargramas deverão corresponder a sismitos ou mesmo a falhas ativas,
135 aflorantes ou que ocorrem a poucos metros da superfície. Segundo a orientação da Falha
136 de Vila Franca de Xira, esta passará no local de estudo, coincidindo com a falha
137 provável identificada aos 80m no radargrama representado nas Figuras 1 e 2.

138 De modo a comprovar estas evidências, a próxima etapa do projeto ATESTA prevê a
139 abertura de uma trincheira no local onde foram realizados os ensaios geofísicos,
140 podendo-se posteriormente corroborar ou excluir os resultados até agora obtidos e
141 interpretados.

142

143 **Agradecimentos**

144 Os projetos ATESTA (*Active Tectonics and Earthquake Scenarios for the Lower Tagus*
145 *Valley* – PTDC/CTE-GIX/099540/2008) e NEFITAG (*Strong ground motion and near*

146 *field effects in the Lower Tagus Valley Region* – PTDC/CTE-GIX/102245/2008) foram
147 financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Um agradecimento ao
148 colaborador do Centro de Geofísica de Évora, Samuel Neves, pelo auxílio na execução
149 dos ensaios geofísicos e ao responsável pela Unidade de Recursos Minerais e Geofísica
150 do LNEG, João Carvalho, pela sua contribuição com os dados de sísmica de reflexão.

151

152 **Bibliografia**

153 Cabral, J., Ribeiro, P., Figueiredo, P., Pimentel, N. & Martins, A. (2004) - The
154 Azambuja fault: An active structure located in in intraplate basin with significant
155 seismicity (Lowe Tagus Valley, Portugal). *Journal of Seismology*, 8: 347-362.

156 Ghose, R., Carvalho, J. & Loureiro, A. (2013) - Signature of fault zone deformation in
157 near-surface soil visible in shear seismic reflections. *Geophysical Research Letters*, 40:
158 1074-1078.

159 Kullberg, J., Rocha, R., Soares, A., Rey, J., Terrinha, P., Callapes, P. & Martins, L.
160 (2006) - A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleontologia e Tectónica. *In Geologia de*
161 *Portugal no contexto da Ibéria*. Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kulberg, J, (Eds.),
162 Universidade de Évora, Évora, 317-368.

163 Moura-Lima, E., Bezerra, F., Lima-Filho, F., Castro, D., Sousa, M., Fonseca, V. &
164 Aquino, M. (2011) - 3-D geometry and luminescence chronology of Quaternary soft-
165 sediment deformation structures in gravels, northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*,
166 235: 160-171.

167 Owen, G., Moretti, M. & Alfaro, P. (2011) - Recognizing triggers for soft-sediment
168 deformation: Current understanding and future directions. *Sedimentary Geology*, 235:
169 133-140.

170 Suter, F., Martínez, J. & Vélez, M. (2011) - Holocene soft-sediment deformation of the
171 Santa Fe-Sopetrán Basin, northern Colombian Andes: Evidence for pre-Hispanic
172 seismic activity?. *Sedimentary Geology*, 235: 188-199.

173 Zbyszewsky, G. & Assunção, C. (1965) - *Carta Geológica de Portugal, na escala*
174 *1/50000: Notícia Explicativa da Folha 30-D. Alenquer*. Serviços Geológicos de
175 Portugal, Lisboa.

Legendas

Figura 1 - Radargrama obtido com uma antena 100 MHz: modo distância, bi-estático de baixo alcance. A utilização desta antena permite atingir profundidades maiores, no entanto tem a desvantagem de ser susceptível ao ruído. É possível observar falhas prováveis (FP) e o efeito da presença de um tubo metálico (TM) junto à superfície. Aos 80 m poder-se-á estar perante a Falha de Vila Franca de Xira.

Figure 1 - Radargram obtained with a 100 MHz antenna: distance mode, bi-static of low range. Using this antenna achieves greater depths, but it has the disadvantage of being susceptible with the noise. Probable faults (PF) and the effect of the presence of a metal tube (TM) can be observed near the surface. After 80 m, the Vila Franca de Gaia Fault might be present.

Figura 2 - Radargrama obtido com uma antena 200 MHz: modo distância. Com esta antena atinge-se um quinto do alcance da antena de 100 MHz, podendo-se observar pormenores com menos ruído. Neste radargrama observam-se falhas prováveis (FP) e um tubo metálico (TM), assim como variação lateral da espessura dos reflectores, que poderá corresponder a variações da taxa de compactação.

Figure 2 - Radargram obtained with a 200 MHz antenna; distance mode. This antenna's range is one-fifth of the 100 MHz antenna, resulting in detailed acquisitions with less noise. In this radargram probable fault (FP) and a metal tube (TM) were observed, as well as lateral variation of the reflectors' thicknesses, which may correspond to variations in the rate of compaction.

Figura 3 - Radargrama obtido com uma antena 400 MHz: modo distância. Localização das falhas prováveis (FP). A partir dos 95 m observa-se uma deformação horizontal aos 30 ns, que poderá corresponder a uma deformação sem ocorrência de ruptura.

Figure 3 - Radargram obtained with a 400 MHz antenna: distance mode. Location of probable faults (PF). Lower than 95 m there is a horizontal deflection at 30 ns, which corresponds to a deformation that can occur without rupture.

Figura 4 - Radargrama obtido com uma antena 200 MHz: modo ponto. Localização das falhas prováveis (FP). Com o modo ponto confirmam-se os efeitos provocados pela irregularidade do terreno durante a aquisição pelo modo distância.

Figure 4 - Radargram obtained with a 200 MHz antenna: point mode. Location of probable faults (PF). With point mode it is possible to confirm the effects of the terrain irregularity during distance mode acquisition.

Tabela 1

Frequência da antena (MHz)	100	200	400
Alcance (ns)	500	100	50
Filtro vertical passa-alto (MHz)	25	50	100
Filtro vertical passa-baixo (MHz)	300	600	800
Medidas por segundo	16	64	120
Taxa de transmissão (KHz)	50	100	100

Figura 1

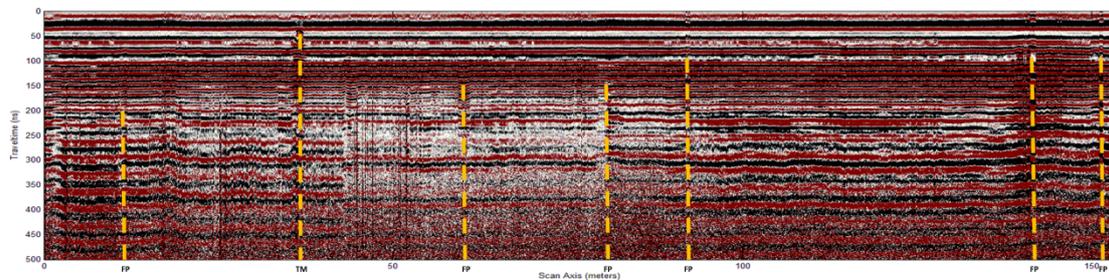


Figura 2

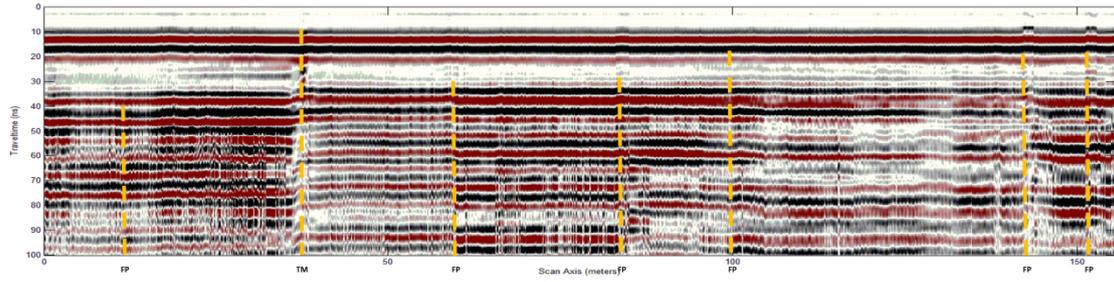


Figure 3

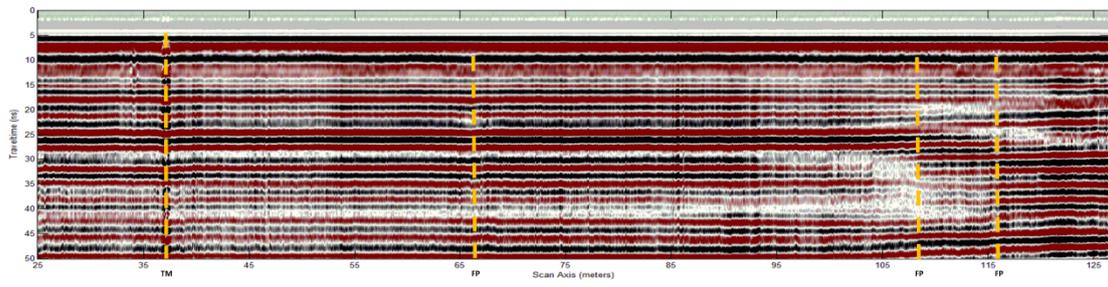


Figure 4

