

Relatório Científico Final do Projecto

ATESTA

Tectónica Ativa e Cenários de Terramotos no Vale Inferior do Tejo Active Tectonics and Earthquake Scenarios for the Lower Tagus Valley

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJECTO

Referência do Projecto: PTDC/CTE-GIX/099540/2008

Investigador Responsável: Bento António Fialho Caeiro Caldeira

Instituição Proponente: Universidade de Évora (UE)

Data de Início: 01-04-2010 **Data de Fim:** 30-09-2013 **Financiamento Concedido:** €2150.000,00

Índice

1- Introdução	3
2- Os objetivos do projeto e a metodologia para os atingir.....	5
3- Evolução da atividade desenvolvida e resultados obtidos	7
O primeiro ano – Abril 2010 a Março de 2011	7
O segundo ano – Abril 2011 a Março de 2012	8
O terceiro ano – Abril 2012 a Setembro de 2013	10
4-REALIZAÇÃO FINANCEIRA	20
5- PRODUÇÃO/DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA TOTAL	22
5.1- ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS.....	22
5.2-ARTIGOS EM REVISTAS NACIONAIS.....	22
5.3- TESES.....	22
5.4A- PROCEEDINGS EM ENCONTROS INTERNACIONAIS	23
5.4b- PROCEEDINGS EM ENCONTROS NACIONAIS.....	23
5.5- CONFERÊNCIAS CIENTÍFICAS POR CONVITE	24
5.6- COMUNICAÇÕES EM ENCONTROS CIENTÍFICOS INTERNACIONAIS.....	24
5.7- COMUNICAÇÕES EM ENCONTROS CIENTÍFICOS NACIONAIS	25
5.8- RELATÓRIOS	26
5.9- ORGANIZAÇÃO DE WORKSHOP/CONFERÊNCIAS/SEMINÁRIOS/CURSOS	26
6- Anexos.....	27

1- Introdução

Impõe-se um esclarecimento inicial acerca da génese deste projeto. Ele nasceu na sequência de anteriores projetos que procuraram entender a importância do Vale Inferior do Tejo no contexto do risco sísmico numa das zonas mais populosas do país – a zona de Lisboa. Os projetos a que nos referimos foram o “Finite seismic source modelization and strong motion prediction in Portugal (FCT/POCTI/CTE -GIN/55994/2004)” e o “SISMOD/LISMOT - Finite Seismic Source Modeling by Joint Inversion of Seismic and Geodesic Data and Strong ground motion in the Lower Tagus Valey. FCT- PTDC/CTE-GIN/82704/2006”. A investigação que resultou desses projetos deixou em aberto duas importantes questões científicas que consideramos fundamentais para o esclarecimento que procuramos alcançar. Essas duas questões são:

- a) o conhecimento pormenorizado da estrutura da bacia do Vale do Tejo, aspeto fundamental para a simulação dos movimentos fortes e consequentemente ferramenta fundamental para o estabelecimento de cenários de risco;
- b) caracterização das falhas sismogénicas ativas do vale inferior do Tejo responsáveis pelos os terremotos mais destrutivos nessa região e analisar o seu potencial para gerar futuros sismos.

Trazer para o domínio do conhecimento a fonte de sismos como o que destruiu Lisboa em 1531 ou Benavente em 1909 é uma ambição almejada por sucessivas gerações de cientistas mas sem êxito até agora.

É precisamente para tentar dar resposta à questão b) que o presente projeto foi proposto.

Outro aspecto relevante com consequências na evolução do projeto tem a ver com a mudança de coordenação que sofreu sensivelmente a meio do período de execução. O projeto tinha sido programado para funcionar durante 3 anos, entre 01-04-2010 e 31-03-2013, coordenado pelo Doutor Matthieu Ferry, investigador no Centro de Geofísica de Évora, contratado ao abrigo do programa Ciência. Porém no decurso do projeto, pouco depois do primeiro ano de funcionamento, no verão de 2011, o Doutor Matthieu obteve uma posição de professor na Universidade de Montpellier que levou à perda de vínculo contratual com a Universidade de Évora e consequentemente a impossibilidade de

continuar a coordenar o projeto. Na sequência desse afastamento, o Doutor Matthieu pediu a sua substituição na coordenação do projeto pelo Prof. Bento Caldeira. Essa substituição só foi autorizada e efetivada 9 meses depois, em Abril de 2012. Assim, durante esse período, embora alguns trabalhos de geofísica tenham decorrido com normalidade, outros houve, os que requeriam a presença do coordenador, sofreram atrasos.

2- Os objetivos do projeto e a metodologia para os atingir

De acordo com a proposta inicial, como atrás se referiu, os objetivos das duas componentes do projeto, SISMOD e LISMOT eram:

1. Identificar as falhas ativas no Vale do Tejo com potencial para produzir sismos potencialmente destrutivos na área da grande Lisboa;
2. Identificar e caracterizar os sismos recentes, históricos e pré-históricos produzidos por essas falhas, em termos de tempo de data de ocorrência, magnitude e área afetada;
3. Estimar as dimensões das roturas desses sismos e os tempos de retorno;
4. Contribuir para o estabelecimento do modelo 3D da bacia em desenvolvimento pelos projetos atas mencionados e pelo projeto “ NEFITAG- Movimento sísmicos intensos e efeitos locais na Região do Vale Inferior do Tejo Projecto, Ref. PTDC/CTE-GIX/102245/2008 “ que decorreu em simultâneo com o ATESTA.
5. Contribuir para o fim comum em vista por todos os projetos mencionados que é criar o conhecimento e as ferramentas para produzir cenários fiáveis de risco sísmico para a região do Vale do Tejo.

De acordo com o que estava previsto versão inicial submetida o projeto devia desenvolver-se mediante 11 tarefas. Oito delas a desenvolver sobre o Vale Inferior do Tejo e as outras três na Mongólia, numa região com semelhanças morfológicas ao VIT, previamente estudada por alguns membros da equipa de investigação inicial do projeto. Porém, o painel de avaliação recomendou a eliminação das tarefas referentes à Mongólia, pelo que o projeto passou à sua fase de execução com as 8 tarefas confinadas ao estudo do Vale do Tejo:

Tarefa 1.1 – Mapeamento morfotectónico da região do Vale Inferio do Tejo para recolher indícios da existência de falhas a partir da análise morfológica da região da bacia do Tejo

Tarefa 1.2 – Prospecção geofísica I - no Vale Inferior do Tejo (VIT) usando sísmica de reflexão, e Tomografia elétrica para detecção das principais falhas potencialmente ativas e recolha das primeiras evidências sobre a sua distribuição espacial e viabilidade dessas

falhas estarem ao alcance de sondagens, por abertura de trincheiras, para posterior análise mediante as técnicas da paleosismologia.

Tarefa 1.3 – Prospecção Geofísica II – VIT. Nos locais selecionados após os primeiros resultados geofísicos, proceder a estudos de prospecção geofísica mais detalhada, cruzando as técnicas anteriormente usadas e juntar-lhe Georadar (GPR) para selecionar os sitios precisos onde abrir as trincheiras.

Tarefa 1.4 – Abertura de Trincheiras I – VIT – Proceder à abertura de trincheiras para cartografar as deformações e roturas e recolha de testemunho para futura datação.

Tarefa 1.5 – Processamento e análise de dados de Trincheiras I – Análise dos dados provenientes da cartografia feita nas trincheiras e dos resultados da datação para daí se decidir o rumo a dar ao projeto

Tarefa 1.6 – Trincheiras II – VIT – Caso os resultados da anterior análise o justifique, ou pelo incucesso e tentativa de encontrar provas noutro local ou porque os resultados indicarem a pesquisa em locais adjacentes aos já pesquisados, proceder a novas aberturas mediante as técnicas já usadas em Trincheiras I

Tarefa 1.7 – Procesamento e análise de dados de Trincheiras II – Segundo as mesmas metodologias do processamento de trincheiras I

Tarefa 2 – Análise dos eventos sísmicos produzidos nas falhas estudadas. Análise de toda a informação colhida para daí, potencialmente associar sismos históricos conhecidos às falhas descobertas e estimar as suas magnitudes, períodos de retorno.... mediante as técnicas de paleosismologia

3- Evolução da atividade desenvolvida e resultados obtidos

O primeiro ano – Abril 2010 a Março de 2011

(De acordo com o relatório do seu primeiro Investigador responsável)

Tarefa 1.1. Mapeamento morfotectónico da LTV

O trabalho de campo foi realizado como planeado e foi obtido um primeiro mapa morfotectónico do VIT que revela um traço que conduz à suspeita de uma falha que se desenvolve ao longo da borda ocidental da lezíria. Notam-se vários marcadores geomorfológicos com claros deslocamentos laterais esquerdos. Esta primeira indicação foi usada para planificar as tarefas 1.2 e 1.3. Complementarmente, foram identificadas vários lineamentos associados a desvios topográficos que sugerem uma tectónica local mais complexa do que inicialmente se pensava. Estes traços estão localizados na fronteira oriental do VIT e sugerem que está também a ocorrer deformação vertical.

Tarefa 1.2. Prospecção geofísica I - LTV

A partir do mapa morfotectónico foram selecionados vários locais a serem investigados. Porém devido a constrangimentos locais, como urbanização maciça, a dificuldades de acesso às propriedades privadas que predominam na região, inacessibilidade ao traçado ferroviário que coincide muitas vezes com o traço de falha , apenas uma pequena quantidade de sítios puderam ser investigados. Foi aplicada sísmica de alta resolução e radar de penetração no solo (GPR) numa zona propriedade agrícola próxima de Vila Franca de Xira. Os primeiros resultados mostram refletores sub-superficiais fortemente deformadas a sugerir atividade tectónica recente.

Tarefa 1.3. Prospecção geofísica II - LTV

Tarefa não iniciada por falta do equipamento de tomografia elétrica ainda não adquirida.

Tarefa 3

Arranque de trabalho sobre modelos de recorrência, com especial enfoque sobre uma nova e promissora abordagem (Fitzenz et al. , 2010).

Desvios

Execução muito lenta de orçamento imposta por atrasos do trabalho de campo. O equipamento de elétrica não foi adquirido e consequentemente esta técnica não foi ainda implementada como planeado. Este atraso foi parcialmente superada pelo uso dos métodos sísmicos e de GPR já disponíveis na CGE. Contratação do BI adiada; justificação: ser principalmente destinado a trabalhar em elétrica que ainda não foi adquirido.

O segundo ano – Abril 2011 a Março de 2012

(Oficialmente coordenado pelo 1º investigador responsável, mas apoiado pelo 2º a partir de Outubro)

Tarefa 1.3- Prospecção Geofísica II – VIT

Esta tarefa foi iniciada no primeiro semestre de 2011 apenas com GPR numa zona agrícola limitada onde os resultados da prospecção geofísica I revelaram forte fortes evidências do traço da falha atingir profundidades compatíveis com as profundidades possíveis das trincheiras. Não foi usada a tomografia elétrica porque o equipamento não estava ainda disponível, mas as evidências reveladas pela análise conjunta dos perfis de GPR e sísmica de alta resolução foram suficientes para decidirmos o sitio da escavação.

Para analisar com mais pormenor esses dados e se decidir sobre a abertura das trincheiras no local foram feitos trabalhos de modelação sísmica elástica com vista ao reconhecimento da assinatura de uma falha de pequeno rejeito vertical em ambientes aluvionares. Esta foi uma tarefa que surgiu para dar resposta a um problema verificado no decurso do projeto: a noção de haver possibilidade de confundir os efeitos de uma falha de pequenos rejeito com os efeitos superficiais ou anomalias de velocidade.

Como não obtivemos autorização para escavar naquele sítio, foi decidido repetir o trabalho de GPR, coadjuvado por tomografia elétrica e, eventualmente, sísmica de alta resolução, noutros sítios candidatos a selecionar.

Em resumo: esta tarefa bem como a 1.2 teve que ser repetida noutros locais.

Aquisições

a) Aquisição de 1 unidade de 24 canais para o sismógrafo (módulo RAS-24 da Sesitronix), de modo a aumentar a rentabilidade no campo e aumentar a profundidade de investigação, essencial para a deteção e ligação das falhas em profundidade para a superfície

b) Aquisição de cabos e receptores três componentes (3C) de 10 Hz; o equipamento permitiria obter informação redundante em cada local, que facilitará a interpretação dos resultados de sísmica de reflexão com vista à deteção de falhas como pequeno rejeito vertical em sedimentos moles (aluvião saturado), tarefa extremamente complicada; os resultados permitiriam também uma melhor compreensão dos efeitos causados pela presença de uma falha na propagação da energia sísmica, estudos pioneiros à escala mundial

c) manutenção e upgrade do software de processamento de sísmica de reflexão SPW

Desvios

a) aplicação da modelação sísmica elástica para deteção da assinatura de falhas de pequeno rejeito em ambiente sedimentar, atividade não prevista mas de importância enorme, pelo que foi decidido aplicar a todas as falhas a estudar, a conselho de especialistas internacionais.

b) Pedido de transferência de rubricas para Recursos Humanos, de forma a contratar um bolsheiro para apoiar a modelação sísmica elástica decidida.

c) a aquisição do equipamento de tomografia elétrica destinado a ser utilizado nas tarefas 1.2, 1.3, prevista para o início do projeto, ainda não foi efetivada;

d) a contratação do bolsheiro prevista para o início do projeto não foi feita ainda por motivos de atrasos nas restantes tarefas.

e) a abertura das trincheiras e tarefas associadas à interpretação dos dados obtidos das trincheiras não foram efetuadas no prazo previsto pelos mesmos motivos apresentados no preâmbulo.

O terceiro ano – Abril 2012 a Setembro de 2013

(Coordenado pelo 2º Investigador Principal)

A impossibilidade de avançar para a abertura das trincheiras no local selecionado impôs novos trabalhos de prospecção segundo a metodologia proposta. Assim foi necessário repetir alguns trabalhos de geomorfologia e prospecção geofísica I e II;

Depois de feita prospecção em áreas alargadas do Vale do Tejo, (ver figura 1) foi selecionado uma zona entre Castanheira e Vila Franca de Xira onde se reuniram provas de ser o sítio mais propício à abertura das primeiras trincheiras. Na zona a equipa de investigação decidiu procurar outros troços da falha identificada, que apresentasse condições favoráveis à abertura das trincheiras. Para tornar isso possível foi preciso estender a metodologia a vários locais para colher evidências geofísicas sobre o traçado do grande acidente geológico da região: a falha de Vila Franca de Xira. Tendo em conta o volume de trabalho que tal decisão acarretaria e que as trincheiras naquela zona só podem ser abertas em tempo seco (verão) fomos forçados a pedir uma prorrogação do projeto até 2014. Contudo a FCT entendeu conceder o prolongamento até fim de Setembro de 2013.

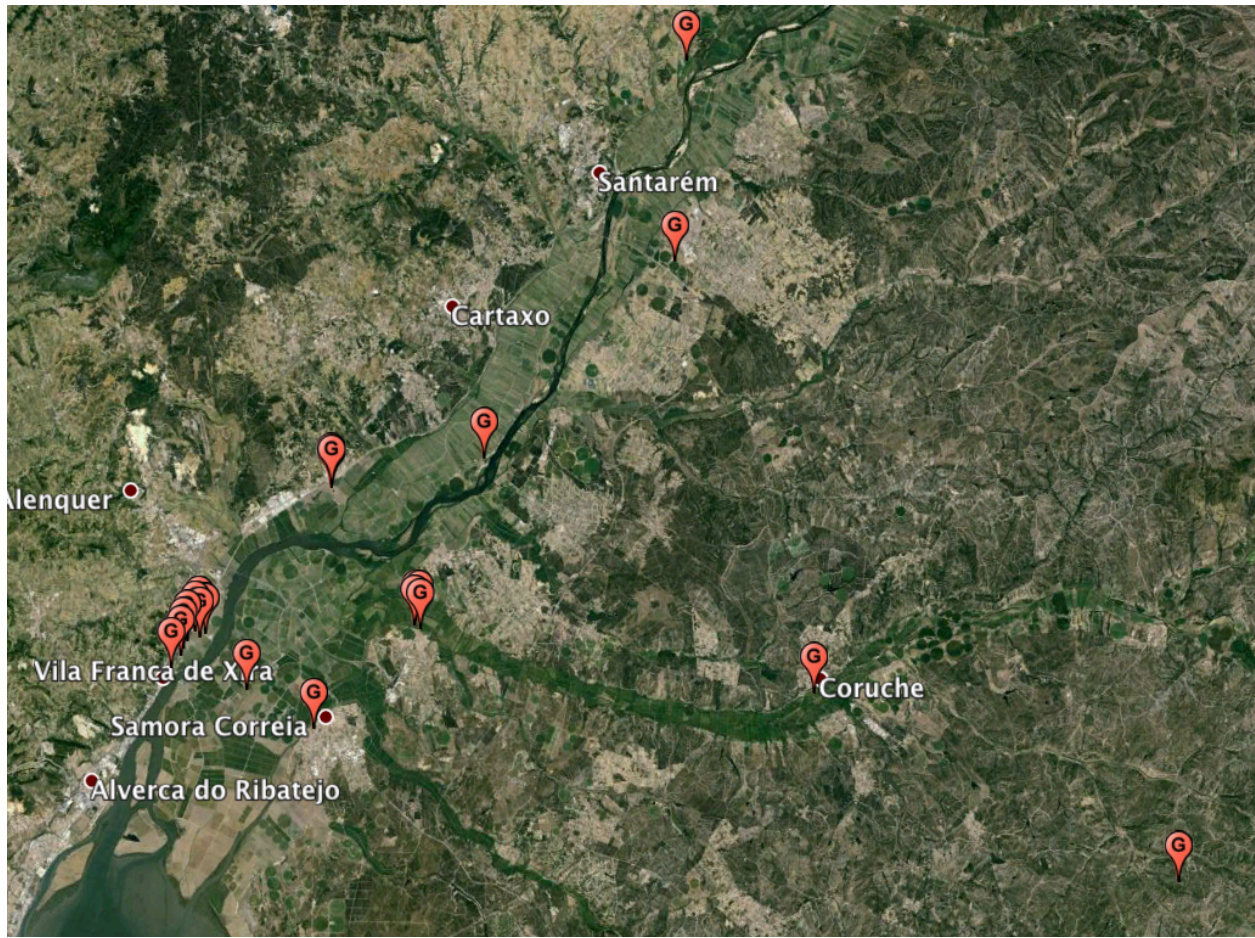


Figura 1- Zona alargada de prospeção

A concretização do plano dentro dos constrangimentos temporais impostos, obrigou a intensificar o trabalho de prospeção. Para aumentar a capacidade de trabalho foi solicitada a contratação de três novos bolsеiros: dois associados a Évora (João Casacão e Rui oliveira) e um ao LNEG (Daniela Alves). É de referir que que até aí o projeto contava apenas com um bolsеiro (Ricardo Torres) contratado em Junho de 2012. Foi uma contrariedade que impôs o estabelecimento de um novo programa de prospeção que conquanto tenha atrasado o projeto, proporcionou um conhecimento mais sólido sobre o traçado da falha. Após a análise dos dados recolhidos por toda a região foram selecionados 5 locais onde as pesquisas deveriam ser intensificadas, que designámos por: Castanheira 1; Castanheira 2; Castanheira 3; Portão do Palha e Azambuza (ver figura 2).



Figura 2 –Zona de implantação dos perfis de Sísmica, Georadar (GPR) e Elétrica na zona de Castanheira do Ribatejo. São perfis na proximidade da falha de V. F. de Xira cuja localização provável está indicada a amarelo.

Os trabalhos de prospeção fina prosseguiram nesses locais, mediante a aplicação do cruzamento das três técnicas que compõem a metodologia desenvolvida: sísmica (refração e 3C); georadar e elétrica. (Para mais pormenores sobre a sísmica ver anexo A)

Finalmente, no início do verão de 2013, após a análise e cruzamento de todos os dados foi encontrado um novo sítio, junto à Castanheira do Ribatejo, com potencial para as sondagens com vista à detecção e estudo da falha de V.F. de Xira com recolha de testemunho para análise dos materiais e datação (Figs 3, 4, 5, 6).

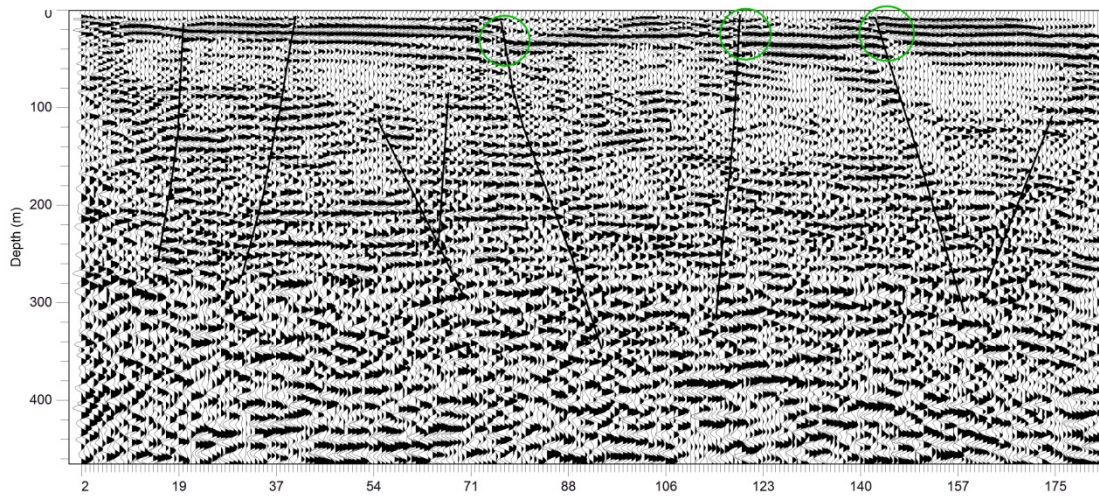


Figura 3 - Perfil de sísmica de reflexão com ondas P efetuado sobre a falha de V. F. de Xira na Castanheira do Ribatejo, convertido para profundidades. Círculos indicam segmentos de falha mais superficiais onde seria aconselhável a abertura de trincheiras.

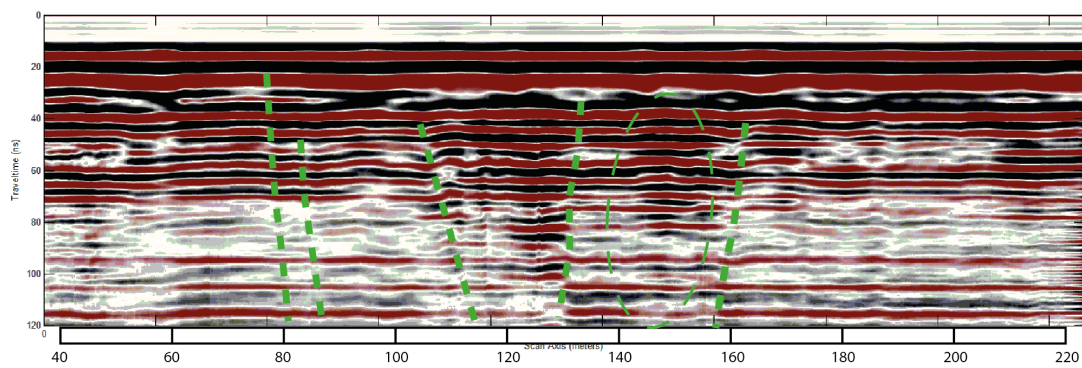


Figura 4 - Perfil de Georadar com antena de 200MHz efetuado sobre a falha de V. F. de Xira na Castanheira do Ribatejo. Os tracejados indicam possíveis segmentos de falha onde seria aconselhável a abertura de trincheiras.

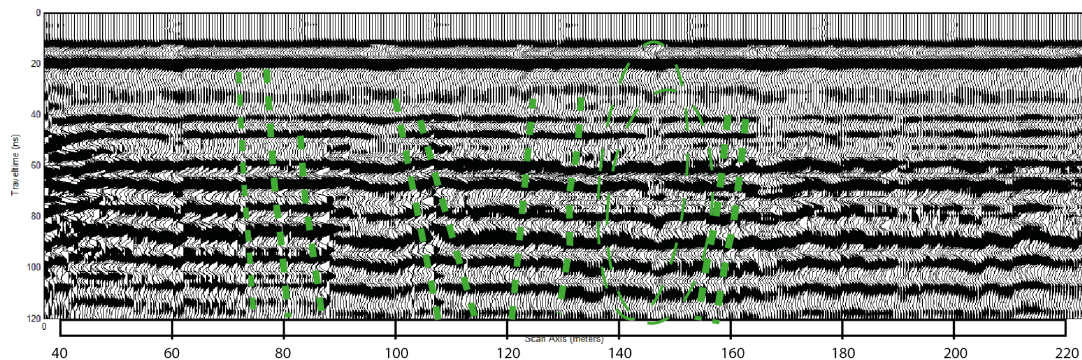


Figura 5 Perfil de Georadar com antena de 200MHz efetuado em modo ponto a ponto, sobre a falha de V. F. de Xira na Castanheira do Ribatejo. Os tracejados indicam possíveis segmentos de falha onde seria aconselhável a abertura de trincheiras.

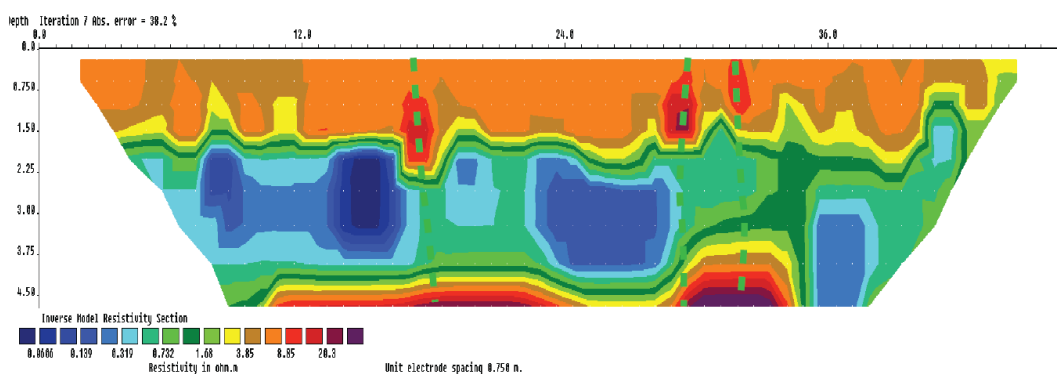


Figura 6 - Perfil de Elétrica efetuado sobre a falha de V. F. de Xira na Castanheira do Ribatejo. Os tracejados indicam zonas de maior resistividade que coincidem com as zonas de deformação detetadas na sísmica e no GPR.

Apraz-nos registar que durante os trabalhos de prospecção geofísica foram investigados vários locais, nomeadamente a Sul da Azambuja, sob a cobertura aluvionar, onde foi detectada a presença da falha da Azambuja, que de acordo com evidências geológicas é a estrutura no Vale Inferior do Tejo que apresenta melhores sinais de atividade neotectónica. A realização de um perfil de reflexão sísmica com ondas P e posteriormente com ondas S revelou pela primeira vez que a falha afeta sedimentos Holocénicos e que está ativa. A superficialidade de um dos segmentos de falha sugere fortemente a realização de sondagens exploratórias também nesta outra falha.

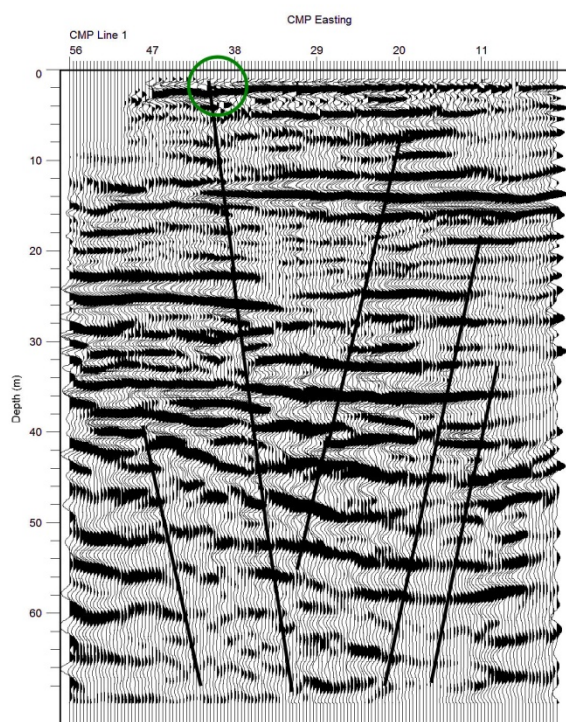


Figura 7 - Perfil de sísmica de reflexão com ondas S efetuado a Sul da Azambuja, convertido para

De forma podermos satisfazer, em cima do prazo, o compromisso com a FCT planificámos a abertura das trincheiras para Setembro. Contudo fomos informados que um dos membros da equipa, indispensável nos trabalhos de paleosismologia, não podia acompanhar os trabalhos. Nessa altura solicitámos à FCT nova prorrogação por três meses que não foi autorizada. As consequências dessa recusa foram solucionadas pela entrada do Prof. João Cabral, para consultor especialista em paleosismologia para substituir o ausente. Foi assim que foi possível avançar para a abertura das trincheiras dentro do prazo.

Embora os trabalhos de geofísica indicassem a presença quase certa de segmentos de falhas a poucos metros de profundidade, previa-se que a superficialidade do nível freático (cerca de 1m) poderia limitar a profundidade máxima de abertura das trincheiras. Porém pela importância da falha em estudo, concordámos que se deveriam empregar todos os esforços para que o estudo fosse feito. No decorrer dos trabalhos de abertura das trincheiras a equipa deparou-se com uma subsuperfície argilosa (tipo lodo) com especificidades incompatíveis com a continuação dos trabalhos (Figs. 8, 9 e 10). As características plásticas e muito homogêneas do meio, até às profundidades a que se conseguiu escavar, selam qualquer vestígio de deformação que possa ter ocorrido em

consequência de roturas em falhas ativas próximas; por outro lado, devido a essas características, não foi possível escavar até às profundidades onde foram detectadas as exuberantes deformações (mediante aplicação de técnicas geofísicas) porque tal acarretaria um elevado risco para os investigadores que trabalhassem nas trincheiras. Foram ainda abertas três trincheiras com cerca de 2m de profundidade, que colapsaram passadas duas escassas horas.



Figura 8- Fotografia de trincheira antes de colapsar



Figura 9 - Fotografia de trincheira após colapso

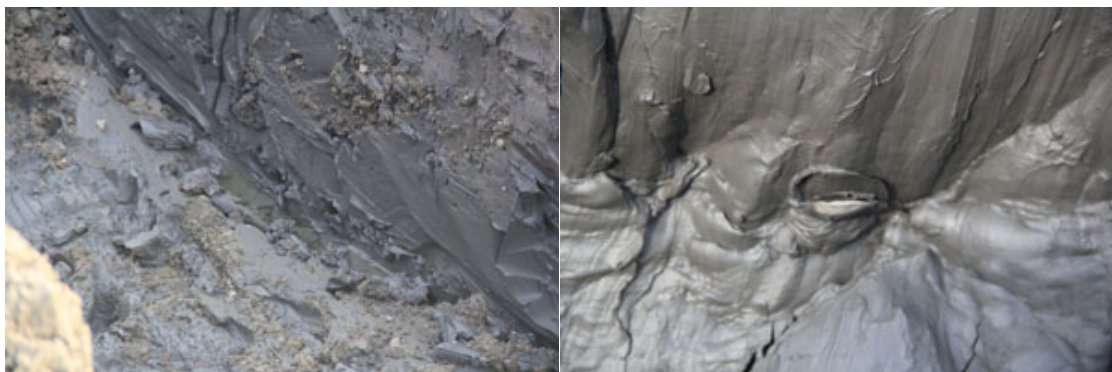


Figura 10 - Esquerda- superfície do interior de trincheira; direita- pormenor de material de aspecto lodoso com cascas de bivalves extraído durante a abertura de uma das trincheiras

É nossa profunda convicção que estivemos muito próximos de conseguir os resultados que iriam dar uma nova luz sobre a mais importante fonte sísmica no Vale do Tejo e consequentemente avaliar com mais competência a perigosidade sísmica em toda aquela populosa região. Face a essa convicção e perante os acontecimentos, a equipa do projeto, seguindo os pareceres dos consultores, foi de opinião que os objetivos poderiam ser ainda atingidos mediante a aplicação de uma técnica alternativa à das trincheiras. Essa técnica consistiria na execução de sondagens carotadas obtidas com furação por rotação, com recolha de testemunho indeformado para análise e datação. Cada sondagem poderia atingir

o soco que estimamos por volta dos ~30m de profundidade. Os sítios exatos das sondagens foram perfeitamente identificados pela geofísica. As verbas existentes no projeto eram suficientes para cobrir despesas da aplicação desta técnica. O pedido, justificado com estes argumentos foi dirigido à FCT que, porém, não autorizou.

Há ainda a salientar que durante o último ano do projeto, mercê da metodologia de prospecção que entretanto aperfeiçoámos, fomos solicitados a colaborar com outras equipas que desenvolvem projetos afins na região, nomeadamente uma equipa do Instituto Superior Técnico em que participam o Prof. João Fonseca e a Doutora Susana Vilanova.

Formação

O Bolseiro Ricardo Torres terminou o seu Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço durante o período da bolsa onde apresentou uma dissertação intitulada PREDIÇÃO DE MOVIMENTOS SÍSMICOS INTENSOS EM PORTUGAL - UMA APROXIMAÇÃO BASEADA NO MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS. Foi um trabalho orientado por membros da equipa de investigação, em que o tema tem fortes interações com o este projeto, e por isso, na sua parte final teve o apoio do Projeto ATESTA.

Também o membro da equipa do projeto ATESTA, Carlos Pinto, apresentou em Novembro de 2011, no período em que era investigador deste projeto, a sua dissertação de mestrado intitulada “Identificação de estruturas com potencial sismogénico na região do vale inferior do Tejo”, tema no âmbito das tarefas deste projeto e cujo orientador foi o Prof. José Borges, investigador neste projeto.

O Bolseiro Rui Oliveira, iniciou, uma dissertação de Doutoramento em Ciências da Terra e do Espaço, sob a orientação do Investigador Principal (IP), em que o tema se enquadra nas tarefas da prospecção geofísica tarefas, tarefas 1.2 e 1.3.

O Bolseiro João Casação ainda na qualidade de bolseiro do Projeto iniciou um curso de pós graduação em Geologia.

Desvios

a) necessidade de se estender a prospecção a outros locais do Vale Inferior do Tejo obrigou a que tivesse havido um acréscimo de trabalho de prospecção relativamente ao

inicialmente previsto e conseqüentemente ter havido necessidade de solicitar um reforço de verbas para suprir as despesas com esse acréscimo de trabalho.

b) devido a apenas ter sido executada uma etapa de abertura de trincheiras, que, por não justificar datações resultou em que parte significativa (cerca de 27000€) das verbas previstas na rubrica “prestações de serviços” não tivesse sido gasta.

c) a análise dos eventos sísmicos produzidos nas falhas estudadas só poderia ter sido plenamente atingida após a recolha e análise dos dados recolhidos nas trincheiras e das datações previstas. Esta parte ficou comprometida. Contudo, a equipa de investigação avançou com o estudo de novas abordagens de interpretação dos modelos de recorrência. Este trabalho que é de grande utilidade para o resultado geral do projecto e já foi objecto de apresentações e publicações e também é tema da tese de Doutoramento do Boris Le Goff, sob orientação de dois membros deste projeto (José Borges e Delphine Fitzenz).

d) a aquisição do equipamento de tomografia eléctrica destinado a ser utilizado nas tarefas 1.2, 1.3, previsto ser adquirido no início do projeto, só ficou efectivamente funcional na primavera de 2012, a escassos meses do final do projeto.

4-REALIZAÇÃO FINANCEIRA

Os vários atrasos atrás referidos na execução científica do projeto refletem-se na realização financeira de todo o projeto, que, de maneira geral acabou por se efetivar, porém, com atrasos relativamente ao programa apresentado. Para além desse facto há a salientar:

a) Aquisição de Bens e Serviços

Uma parte significativa das verbas previstas nesta rubrica destinava-se à abertura das duas fases da abertura das trincheiras e ao pagamento das datações que não foi possível realizar pelos motivos já justificados. Como tal esta rubrica do orçamento teve um nível de execução baixo. Parte significativa (cerca de 27000€) das verbas previstas na rubrica “prestações de serviços” não foi utilizada.

Por avaria da fonte sísmica do CGE, foi necessário proceder, por duas vezes, ao concerto da mesma. Para o efeito foi pedido autorização à FCT que autorizou.

Para compensar alguns desajustes que se vieram a verificar nos gastos com os recursos Humanos foi necessário transferir (com autorização da FCT) algumas verbas (950€) da rubrica prestações de serviços para aquela rubrica.

b) Equipamento

O equipamento de tomografia elétrica que estava previsto ser adquirido no início do projeto, só ficou efectivamente completo em Julho de 2012;

Relativamente à aquisição de equipamentos temos ainda a referir que o orçamento desta rubrica foi elaborado a partir de orçamentos pedidos às empresas que forneciam os vários itens. Contudo, nesses orçamentos o valor do IVA não estava contabilizado e a equipa que o apresentou, por lapso também não o incluiu. Desse orçamento realço a componente com maior peso, o sistema de tomografia elétrica, que foi orçamentado em 13814 euros (conforme se poderá confirmar no orçamento apresentado). Foi de facto esse o valor pelo qual foi adquirido, contudo depois de introduzido o IVA ficou em e depois de cobrado o

IVA ficou em 16991 euros. O mesmo aconteceu com os restantes equipamentos adquiridos. Feitas as contas constatou-se haver um défice de 4500 euros . Para suprir esse défice foi solicitada uma transferência de 4500€ para esta rubrica (da rubrica prestações de serviços) que foi autorizada pela FCT.

Para se conseguir adquirir o equipamento previsto no orçamento do parceiro LNEG, devido à subida de custos dos equipamento previstos, também foi necessário solititar uma transferência verbas da rubrica missões para equipamentos (autorizada pela FCT).

c) Recursos humanos

a contratação do bolsheiro prevista para o inicio do projeto que só se concretizou em Abril de 201, daí só a partir dessa data se ter começado a executar esta rubrica do orçamento. Para compensar os atrasos foi necessário contratar mais bolsheiros nos últimos meses do projeto; foi então que grande parte das verbas foram gastas. Quase no fim do projeto constatou-se haver um défice de 950€ nesta rubrica face aos compromissos então estabelecidos e autorizados pela FCT. Face a isso foi solicitada uma transferência entre rubricas para suprir o referido déficit.

A aplicação da modelação da sísmica de reflexão levou à necessidade de contratar um Bolsheiro para trabalhar junto à equipa do LNEG. Para tal foi solicitado a transferência de 5000 € de " Aquisição de Serviços / Manutenção " para " Recursos Humanos " , a fim de fazer face à despesa com esta bolsa. Esta transferência foi autorizada pela FCT.

d) Missões

A necessidade de se estender a prospecção a outros locais do Vale Inferior do Tejo implicou num acréscimo de despesas nesta rubrica e por isso foi solicitado um reforço de 3500€ para missões (autorizada pela FCT). Esta verba foi transferida da rubrica Aquisição de bens e serviços.

5- PRODUÇÃO/DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA TOTAL

5.1- ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

-Publicado- Ghose, R., Carvalho, J., Loureiro, A., 2013, Signature of fault zone deformation in near-surface soil visible in shear-wave seismic reflections. *Geophysical Research Letters*, 40, 1-5 DOI: 10.1002/grl.50241

-Publicado- Fitzenz, D.D., A. Jalobeanu, e M. A. Ferry (2012), A Bayesian Framework to Rank and Combine Candidate Recurrence Models for Specific Faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(3), 936-947, doi:10.1785/0120110087.

-Publicado- Caldeira B. H. Silva, J.F. Borges, M. Tlemçani, M. Bezzeghoud, 2012, Chaotic behavior of seismic mechanisms: experiment and observation, *Annals of Geophysics*, 55, 1, 57-62, doi: 10.4401/ag-5359.

-Publicado- Ferry, M., M. Meghraoui, N. Abou Karaki, M. Al-Taj, and L. Khalil (2011), Episodic behavior of the Jordan Valley section of the Dead Sea fault from a 14-kyr-long integrated catalogue of large earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 101(1), 39-67.

-Publicado- Fitzenz, D.D., Ferry, M.A., Jalobeanu, A., 2010. Long-term slip history discriminates among occurrence models for seismic hazard assessment. *Geophysical Research Letters* 37, L20307. URL: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2010/2010GL044071.shtml>

5.2-ARTIGOS EM REVISTAS NACIONAIS

-Submetido- Oliveira R. J., J. Casação, B. Caldeira, J. F. Borges; Identificação de deformações 1 em sedimentos finos não consolidados com recurso a georadar (Vale Inferior do Tejo), GEONOVAS.

-Submetido- Casação J., R. J. Oliveira, B. Caldeira, J. F. Borges, J. Carvalho, Prospecção geofísica aplicada à detecção de falhas activas – a falha de Vila Franca de Xira, GEONOVAS.

- Submetido- Neves S., J. Borges, B. Caldeira, Comparação de fontes sísmicas através de ensaios de refração sísmica e multichannel analysis of surface waves (MASW), GEONOVAS.

5.3- TESES

- Publicado – Ricardo Torres, 2010, Strong-Ground Motion Simulations and Assesment of Influence of Model Parameters on Waveforms, tese de Mestrado apresentada à Universidade de Évora, 185pp.

- Publicado- Pinto, Carlos Cancela, 2011, Identificação de estruturas com potencial sismogénico na região do Vale Inferior do Tejo, tese de mestrado apresentada à Universidade de Évora, 135pp.

5.4A- PROCEEDINGS EM ENCONTROS INTERNACIONAIS

-Publicado /Apresentado- Carvalho, J., Alves, D., Leote, J., Ghose, R., 2013. A P-wave Seismic Reflection Study of an Intraplate structure: the Azambuja Fault, Portugal, extended Abstracts of the Enginnering Geophysics, Al-Ain (UAE), 24-27 November, EG22, 5 p.

-Publicado /Apresentado- Caldeira, B., Bushenkov V., Borges, J.F., Smirnov, G., Bezzeghoud M., 2012, Extended Seismic Source Characterisation using Linear Programming Inversion in a Dual Formulation, proceddings of the 15 World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon 24 to 28 Setember 2012, 9p.

-Publicado /Apresentado- Carvalho, J., C. C. Pinto, T. Rabeh, J. F. Borges, R. Dias, M. Costa, H. Duarte, P. Terrinha, B. Caldeira, 2012, Improving the Knowledge on Seismogenic Sources in the Lower Tagus Valley for Seismic Hazard Purposes, , proceddings of the 15 World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon 24 to 28 Setember 2012, 10p

http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1973.pdf

-Publicado /Apresentado- Carvalho, J., Ghose, R, Borges, J., Holocene Activity of the Porto Alto fault, Portugal, comunicação oral/extended abstracts EAGE Near Surface Geoscience 2012 & Remote Sensing Workshop, Paris, France, 3-5 September, A11, 5 pp

<http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=61662>

5.4b- PROCEEDINGS EM ENCONTROS NACIONAIS

-Publicado /Apresentado- Casação, J.1, Oliveira, R. J., Caldeira, B., Borges, J.F., Carvalho, J., 2013. Geophysical surveys applied to the detection of active faults – the Vila Franca de Xira fault. III Congresso de Jovens Investigadores em Geociências LEG 2013 e 6th Meeting of Post-Graduation in Physics and Earth Sciences of UÉ. Pólo de Estremos da Universidade de Évora, 4-6 de outubro de 2013. ISBN 978-989-95398-1-5, P. 81-84.

-Publicado /Apresentado- R. J. Oliveira¹, J. Casação, B. Caldeira, J. F. Borges¹, 2013. Identification of soft-sediment deformation structures using Ground Penetration Radar (Lower Tagus Valley). Congresso

de Jovens Investigadores em Geociências LEG 2013 e 6th Meeting of Post-Graduation in Physics and Earth Sciences of UÉ. Pólo de Estremos da Universidade de Évora, 4-6 de outubro de 2013. ISBN 978-989-95398-1-5, P. 187-190.

5.5- CONFERÊNCIAS CIENTÍFICAS POR CONVITE

- Apresentado- Ferry, M., Carvalho, J., Borges, J., Fitzenz, D., 2010. Searching for Earthquake Sources in the Lower Tagus Valley: the ATESTA Project, SHARE Iberia Workshop on Seismogenic Sources, Olhão.

5.6- COMUNICAÇÕES EM ENCONTROS CIENTÍFICOS INTERNACIONAIS

- Apresentado- Borges, J., Ferry, M., Carvalho, J., Fitzenz, D., 2010. Searching for Earthquake Sources in the Lower Tagus Valley (Portugal): First Results, AGU Fall Meeting. EOS Transactions, San Francisco.

- Apresentado- Ferry, M., Carvalho, J., Borges, J., Fitzenz, D., 2010. Searching for Earthquake Sources in the Lower Tagus Valley: First Results from the ATESTA Project, EGU General Assembly 2010, Vienna EGU2010-11301-1.

- Apresentado- Ferry, M., Carvalho, J., Borges, J., Fitzenz, D., 2012. Searching for Earthquake Sources in the Lower Tagus Valley: First Results, EGU General Assembly 2010, Vienna, EGU2012-5775.

- Apresentado- Borges, J.F., R. Torres, B. Caldeira, H.G. Silva, M. Bezzeghoud, J. Carvalho, C. Pinto, 2012, Low Frequency Modeling of Ground Motion in the Lower Tagus Valley Basin, European Seismological Commission 33rd General Assembly ESC2012, Moscow, Russia, 19-24 August.

- Apresentado- Carvalho, J., Pinto, C.C., Costa, M., Duarte, H., Terrinha, P., Rabeh, T., Borges, J.F., Dias, R., Caldeira, B., Improving the Knowledge on Seismogenic Sources in Lower Tagus Valley for Seismic Hazard Purposes, comunicação oral/extended abstracts of the 15Th World Conference of Earthquake Engineering (WCEE), Lisbon, 24-28 September, 1973, 10 p.

- Apresentado- Fitzenz, D., Ferry, M., 2009. A Recurrence of Whole Segment Events from Individual Events and Cumulated Offset Data, Stats - 6th International Workshop on Statistical Seismology. Southern California Earthquake Center, Lake Tahoe, USA.

- Apresentado- Fitzenz, D., Ferry, M., 2009. A View on the Recurrence of Whole Segment Event from Individual Events and Cumulated Offset Data, Second International Seminar on Prediction of Earthquakes, Lisbon, Portugal.

- **Apresentado**- Fitzenz, D., Ferry, M., Jalobeanu, A., 2010. Long-term slip history discriminates among occurrence models for seismic hazard assessment, European Seismological Commission 32nd General Assembly, Montpellier.

- **Apresentado**- Fitzenz, D., Ferry, M., Jalobeanu, A., 2010. When Geomorphology Discriminates Between Occurrence Probability Models, SSA 2010 Annual Meeting, Portland.

Fitzenz, D., Jalobeanu, A., Ferry, M., 2011. A Bayesian Framework To Rank And Combine Candidate Recurrence Models For Specific Faults, SSA 2011 Annual Meeting, Memphis.

- **Apresentado**- Torres R.J.G., J.A. Furtado, H.G. Silva, J.F. Borges, B. Caldeira, M. Bezzeghoud, C. Cancela Pinto, and J. Carvalho, 2012. Validation of the Lower Tagus Valley velocity and structural model using ambient noise broadband measurements. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012--13431, EGU General Assembly 2012. 27 / 40;

- **Apresentado**- R.J.G. Torres, J.A. Furtado, H.G. Silva, J.F. Borges, B. Caldeira, M. Bezzeghoud, J. Carvalho, 2013. Velocity and structural model of the Lower Tagus Basin according to the study of environmental seismic noise. EGU2013-11271, EGU General Assembly 2013.

- **Apresentado**- Borges, J., B. Caldeira, J. Carvalho, and M. Bezzeghoud, 2011. Three-dimensional seismic ground motion modelling in Lower Tagus Valley from Finite difference simulations, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-9781, EGU General Assembly 2011.

5.7- COMUNICAÇÕES EM ENCONTROS CIENTÍFICOS NACIONAIS

-Publicado /Apresentado- José Borges, Ricardo Torres, Bento Caldeira, João Carvalho, 2013, SEISMIC GROUND MOTIONS SCENARIOS IN LOWER TAGUS VALLEY BASIN, 8.º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, Ericeira, Hotel Vila Galé, Ericeira, 18 a 20 de Março de 2013.

-Publicado /Apresentado- Ricardo Torres, José Augusto Furtado, Hugo Silva, José Borges, Bento Caldeira, Mourad Bezzeghoud, João Carvalho, 2013. VELOCITY AND STRUCTURAL MODEL OF THE LOWER TAGUS BASIN INFERRED BY THE STUDY OF ENVIRONMENTAL SEISMIC NOISE; 8.º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, Ericeira, Hotel Vila Galé, Ericeira, 18 a 20 de Março de 2013.

-Publicado /Apresentado- R. J. Oliveira¹, J. Casação, B. Caldeira, J. F. Borges¹, 2013. Identification of soft-sediment deformation structures using Ground Penetration Radar (Lower Tagus Valley). Congresso

de Jovens Investigadores em Geociências LEG 2013 e 6th Meeting of Post-Graduation in Physics and Earth Sciences of UÉ. Pólo de Estremos da Universidade de Évora, 4-6 de outubro de 2013.

-Publicado /Apresentado- Casação, J.1, Oliveira, R. J., Caldeira, B., Borges, J.F., Carvalho, J., 2013. Geophysical surveys applied to the detection of active faults – the Vila Franca de Xira fault. III comunicação apresentada no Congresso de Jovens Investigadores em Geociências LEG 2013 e 6th Meeting of Post-Graduation in Physics and Earth Sciences of UÉ. Pólo de Estremos da Universidade de Évora, 4-6 de outubro de 2013

5.8- RELATÓRIOS

-Publicado- Ferry M. Relatório de execução material do ano 2010 -2011 do Projeto ATESTA, N°1

-Publicado – Ferry M. Relatório de execução material do ano 2011-2012 do Projeto ATESTA, N°2

-Publicado – Caldeira B. Relatório de execução material do ano 2012-2013 do Projeto ATESTA, N°3

-Publicado- Caldeira B, Relatório justificativo de pedido de prerrogação não concedido, 2013

-Publicado- Relatório de bolsa do Ricardo Torres (Junho 2012-Dezembro 2012)

-Publicado- Relatório de bolsa do Ricardo Torres (Janeiro 2013-Junho 2013)

-Publicado- Relatório de bolsa do João Casação

-Publicado- Relatório de bolsa do Rui Oliveira

5.9- ORGANIZAÇÃO DE WORKSHOP/CONFERÊNCIAS/SEMINÁRIOS/CURSOS

Realização de Reunião/Workshop de coordenação e planificação dos trabalhos prévios à abertura das trincheiras, realizado em Évora em 20 de Junho de 2013.

Anexo A

Pormenores sobre a interpretação dos dados de sísmica nas falhas de Vila Franca de Xira e Azambuja

In spite of the delays caused by the transition of the Principal Investigator of the projects, the goals of this task were fully achieved. We have developed innovative methodology with the purpose of identifying small-throw shallow fault segments in soft soils, an extremely difficult task. We have applied this methodology to the Vila Franca de Xira Fault at Vila Franca and Castanheira do Ribatejo, at the Azambuja Fault, the Porto Alto fault and proved with the help of well data that these faults are active into the Holocene. we also show that at Azambuja the faults come very close to the surface (3-4 m). We also acquired the first 3 component survey in Portugal, with very good data quality that will allow the understanding of fault processes in soft soils. Additionally, an unknown probable fault zone was investigated close to Almeirim and results point to a possible strike-slip fault in agreement with geological data.

a) Vila Franca de Xira Fault - Castanheira do Ribatejo

A 190 m P-wave profile and a 150 m shear wave profiles were acquired at Castanheira do Ribatejo, to locate the Vila Franca de Xira fault that had previously been identified affecting the Holocene, two km south of the present site. P wave data reached target depth of several hundreds of meters and showed the presence of a large fault system. At several location fault segments approached the surface. Since resolution of P-wave data is about 2-3 m, shear wave data was acquired along most of the P-wave line, to investigate possible ruptures close to the surface. Well data located about 200 m was used in the interpretation. Shear wave data showed several fault segments at depth below the Holocene cover, some of which affected a reflector which was at a depth of 10m inside the Holocene alluvium. The full study (see point c) of this dataset is still underway, but preliminary results confirm that

the fault affects Holocene sediments at least to a depth of 10 m and therefore is an active fault into the Quaternary (Holocene). A trench was opened at two sites suggested by shear wave, GPR and electric data. They revealed very homogeneous and plastic dark clays in the first 3 m, in agreement with nearby well data and shear wave data, that showed very tenuous reflectors until a depth of 10 m.

b) Azambuja Fault- south of Azambuja

A P-wave profile with about 100 m long was acquired in the alluvial plain, south of the outcrop of the Azambuja fault in Miocene units. Several geotechnical and water supply wells are available close to the profile site. A very vertical fault was detected, in agreement with geological studies. Again, the lack of resolution in P-wave data did not allow to determine how much the shallow fault segments approach the surface, though the offset of the Holocene units appeared evident. A coincident shear wave profile 60 m long was acquired that revealed shallow fault segments in the stacked section. A parallel profile 85 m long was acquired 30 m north in different surface conditions that revealed the presence of possible fault segments at coincident locations. The methodology defined in c) could not be completed until the end of the project to confirm that these are indeed faults but everything points that the Azambuja fault is an active fault and fault segments are approaching the surface at a depth of 3-4 m. A 3 Component (3C) survey 30 m long was acquired over the 85 m shear wave profile. 120 recording channels were used, simulating a 32 active channels end-on CMP geometry with a fold of 16. Data quality is good but the processing of the data is still under way. This data will confirm previous results and a much better understanding of fault processes in soft-sediments and will be an added value to the project.

c) Methodology and modeling for shallow fault identification in soft-soils - a novel approach

After the acquisition, processing and interpretation of several P-wave and S-wave seismic profiles, we understood that even with high-resolution shear waves (about 0.3-0.4 m) it was a challenging task to located and identify small-throw faults in soft-sediments. Shallow fault segments can be misunderstood by local surface or velocity anomalies. Therefore, methodology to interpret shear wave data other than the analysis of the stacked sections

was developed under the guidance Ranajit Ghose from TU Delft, which was a consultant of LNEG in other FCT projects. This methodology involves the analysis of detailed horizon velocity analysis (HOVA), identification of perturbation in reflection hyperbolae and back-scattered energy from the fault plane in the shot gathers, and more recently the presence of trapped waves. The methodology includes seismic 2D elastic modeling, task which was not initially in the program of work but that makes our interpretations very solid. The modeling was carried out using the software of Draganov and Thorbecke (2011, Geophysics), whom we greatly acknowledge. This task was carried out by the scholar Daniela Alves . It involved studying the effect of several fault parameters (wide, tilt, velocity reduction with host sediments, irregularity, the presence of multiple fault segments, etc) on the seismic shot gathers. Models were obtained from well, seismic and geological information.

d) Porto Alto Fault - Lezírias do Tejo

The methodology was applied to two shear wave profiles previously acquired over the Porto Alto fault in the scope of the NEFITAG project. Two high quality stacked sections resulted from this work, complemented with GPR data acquired by the University of Évora. Interpretation suggests the presence of 2 fault segments affecting the Holocene below a depth of about 20 m, indicating that the fault is active.

e) Unknown NNE-SSW fault - Fazendas de Almeirim

A P-wave profile with a length of around 70 m was acquired in an area where the group of João Fonseca and Susana Vilanova identified a topographic rebound. The stacked section suggest a few fault segments generally below 8 m depth. At one particular location, a fault segment may approach the surface. The acquisition of a shear wave profile is strongly advised but again it was not possible within the project's time span.

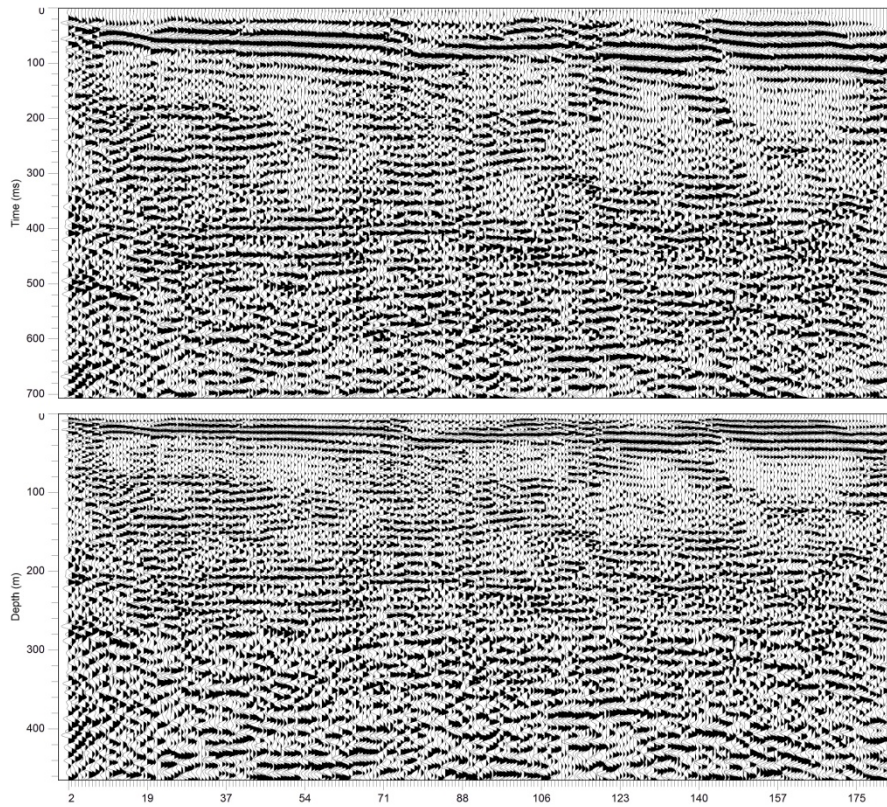


Figura A1- P-wave stacked section acquired at Castanheira do Ribatejo, showing the Vila Franca de Xira Fault at depth.

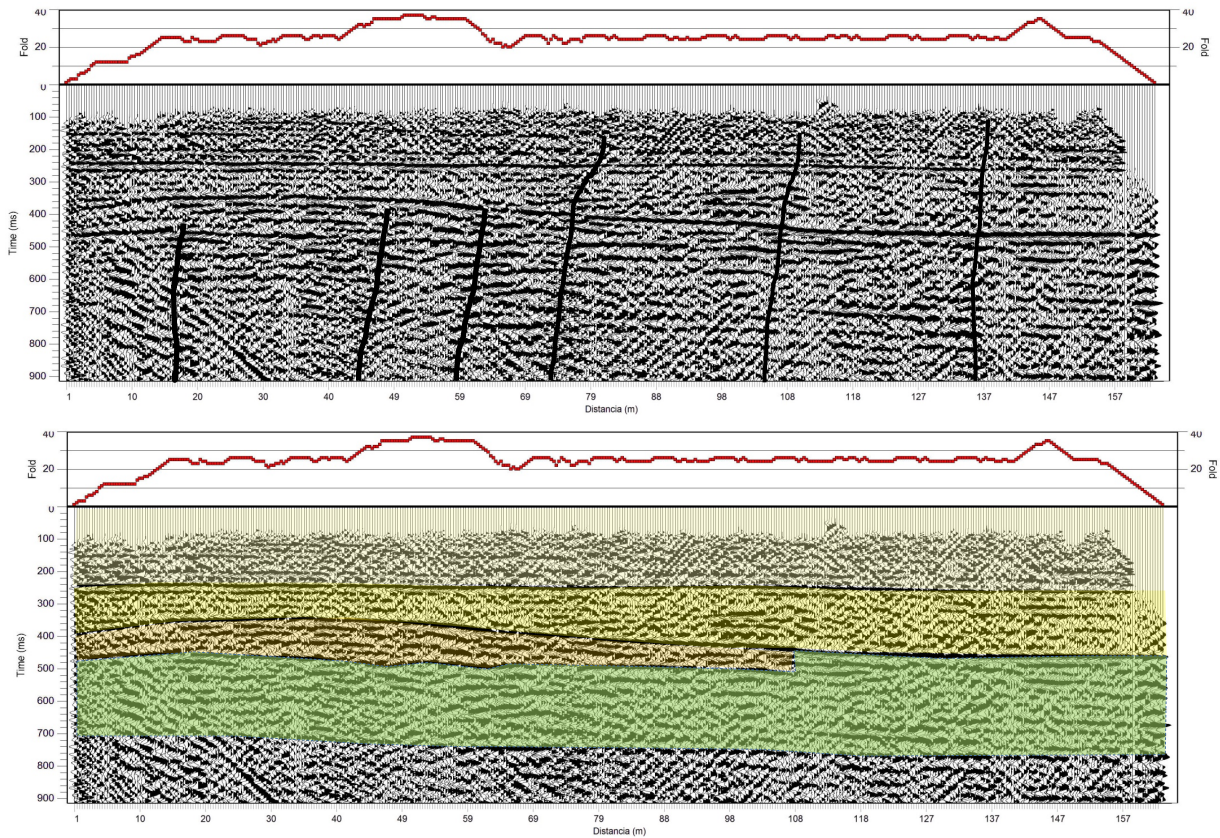


Figura A2 - Shear wave stacked section showing preliminary fault segment (top) and stratigraphic (base) interpretations using well data, Horizon velocity analysis (HOVA) and shot gathers inspection. Yellow: Holocene alluvium; Orange: Pleistocene terrace; Green: Miocene sediments.

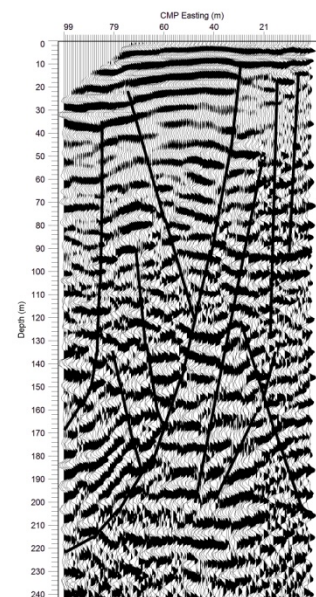
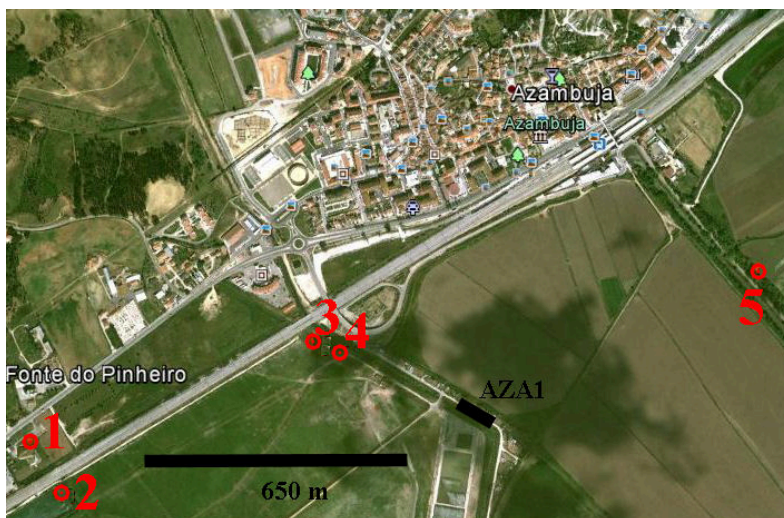


Figura A3- Left: Location of P-wave seismic reflection section acquired over SW prolonging of the Azambuja fault zone and available wells (in red) and (right) fault interpreted depth converted seismic section using 1D velocity function from stacking velocities.

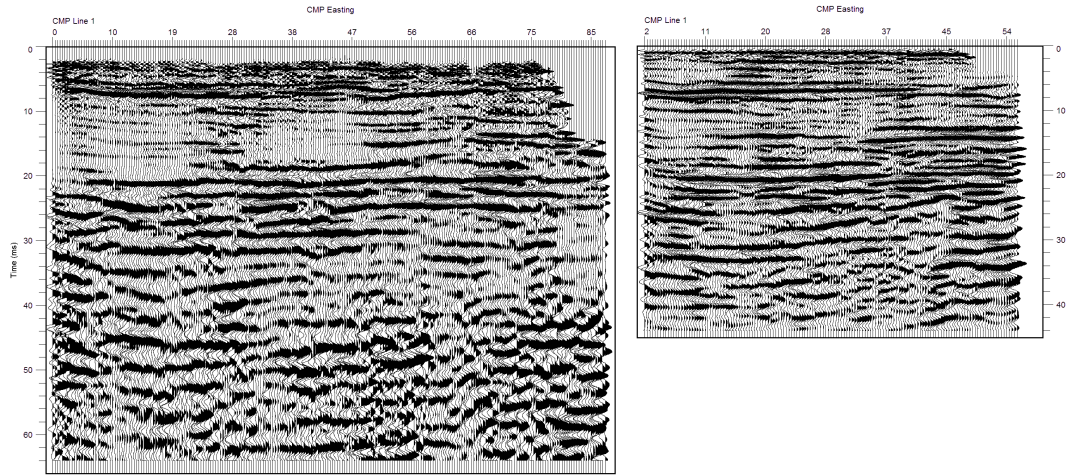


Figura A4- Two parallel migrated S-wave seismic reflection profiles acquired south of the Azambuja fault outcrop in the alluvial (Holocene) plain. Fault segments at around 50 m (left section) and 40 m (right section) approaching the surface can be observed.

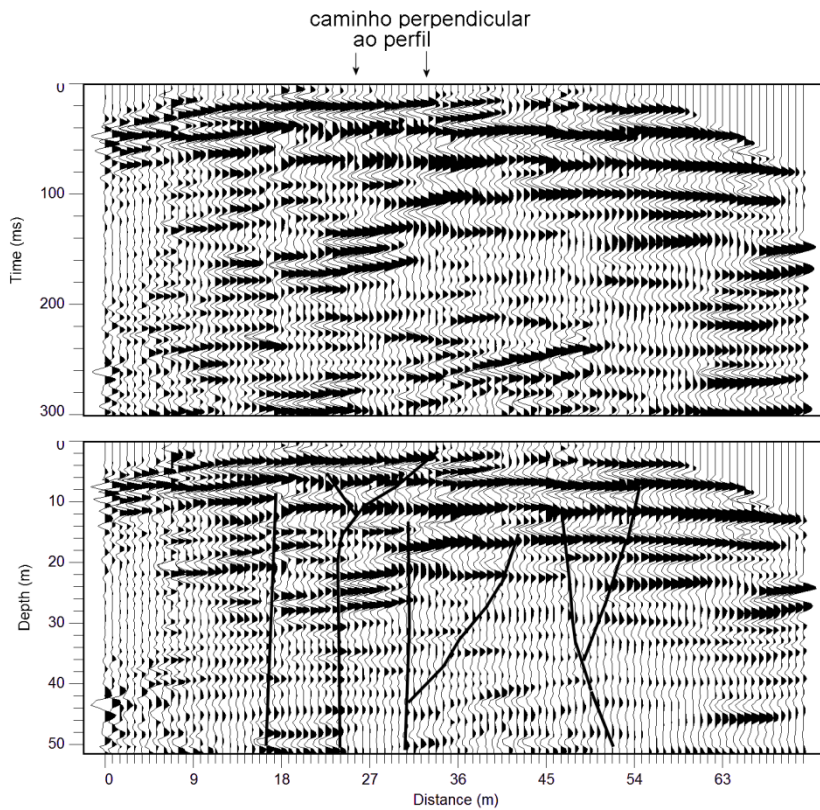


Figura A5- P-wave stacked section acquired at Fazendas de Almeirim, with depth section showing fault interpretation