



SUBSIDÊNCIA DE TERRENOS POR EXTRACÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA: APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO DA ZONA INDUSTRIAL DE VIALONGA

João Paulo LOBO FERREIRA
Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC

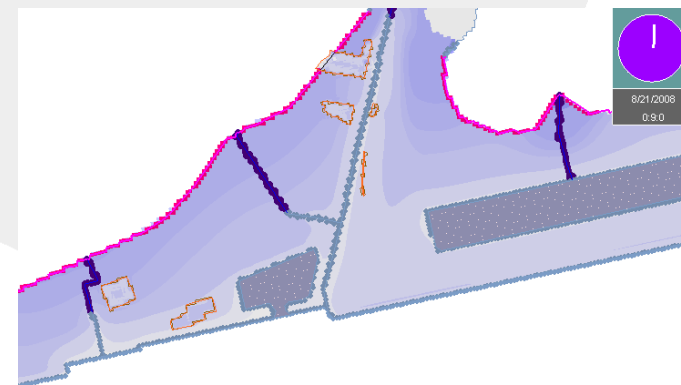
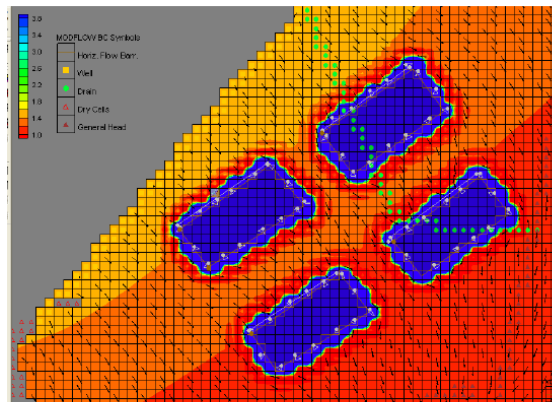
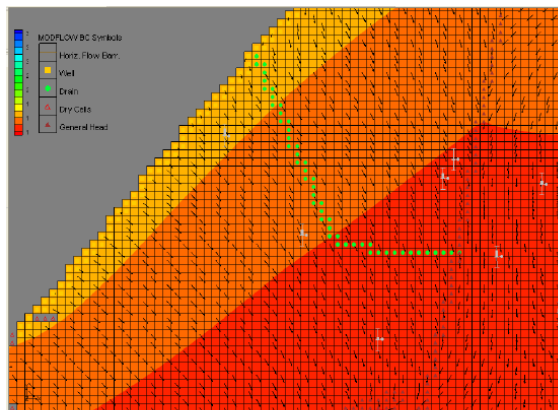
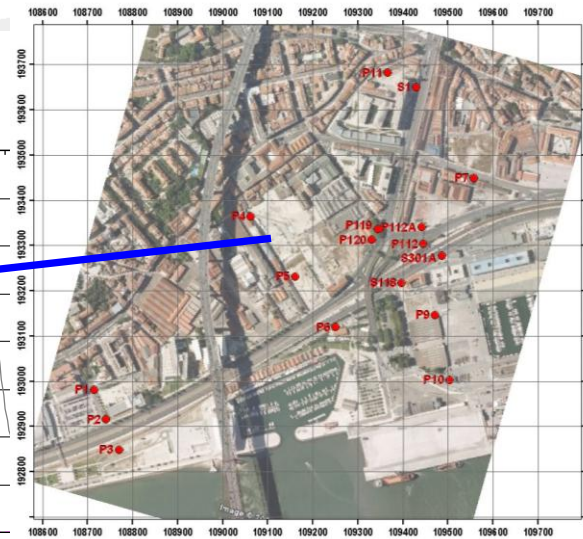
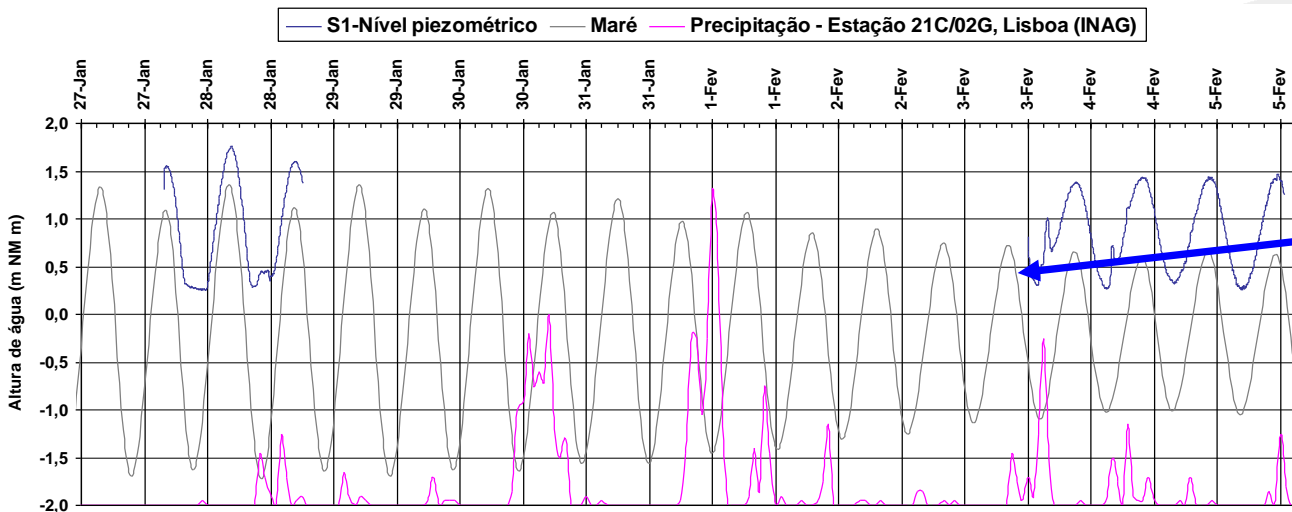
Luís OLIVEIRA
Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC

Sandra HELENO
Instituto Superior Técnico, ICIST

Impacto de obras subterrâneas

Oscilação do nível piezométrico na sondagem S1, variação da maré e precipitação, no período de 27 de Janeiro a 5 de Fevereiro de 2009

Obras de engenharia e hidrogeologia urbana



Oscilação do nível piezométrico no aquífero poroso devido à influência da maré

Fig. 23 – Situação de cheia, sem edifícios (à esquerda) e Cenário 4

Caracterização de parâmetros hidráulicos em meios urbanos

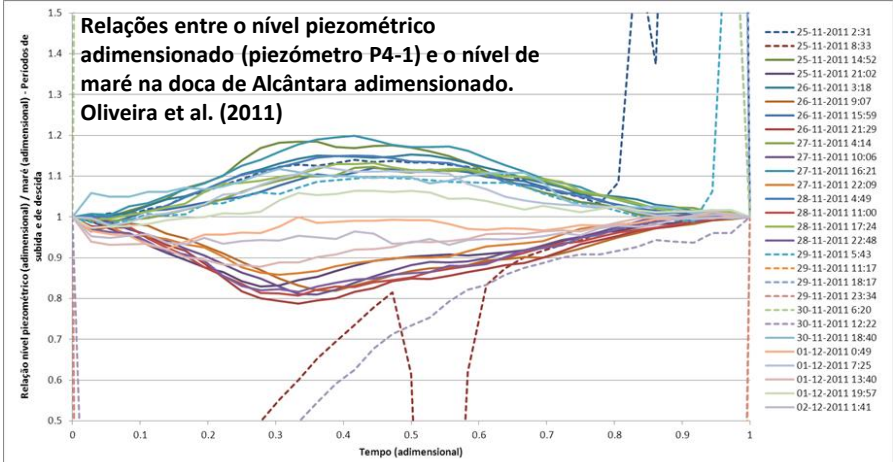
Obras de engenharia e hidrogeologia urbana

REFER: Interpretação de ensaios de bombagem

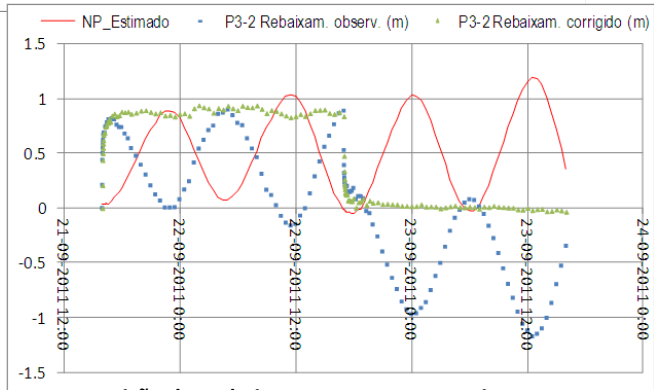
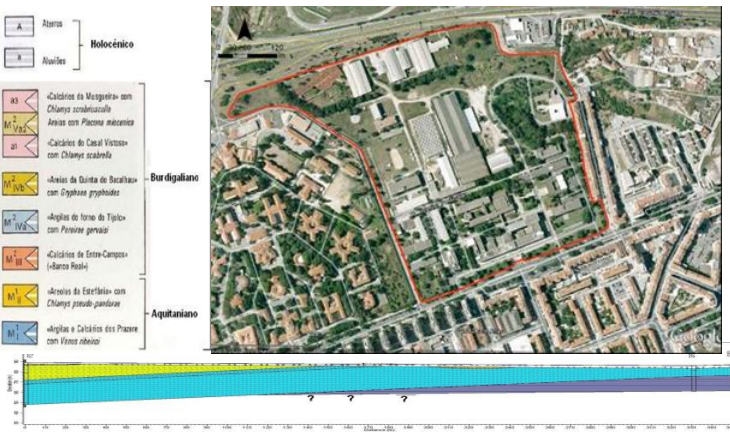
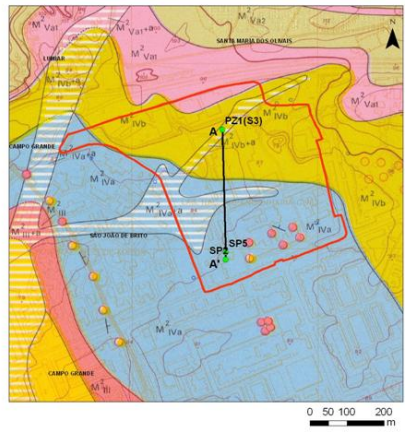
- Interpretação dos ensaios de bombagem: aquífero confinado (Theis e Jacob), aquífero livre (Boulton), aquífero semiconfinado (Hantush) e com efeito de barreira.
- Interpretação do ensaio “slug” (Bower & Rice e Hvorslev).
- Correção do efeito de maré nos rebaixamentos observados no ensaio de bombagem



Ensaio de bombagem para determinação de parâmetros hidráulicos (Alcântara). REFER



LNEC: Estudo da viabilidade de utilização das águas subterrâneas do campus do LNEC, nomeadamente para abastecimento aos modelos físicos do DHA

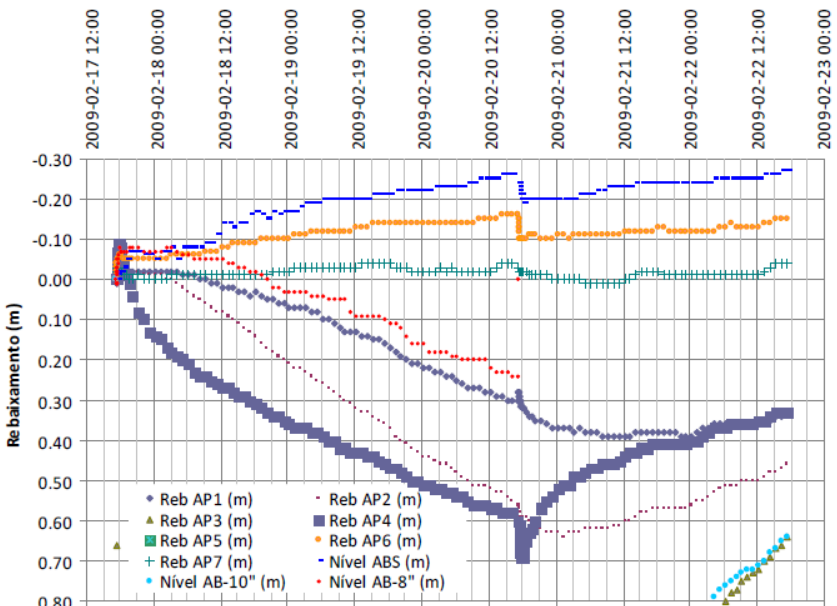


Previsão dos rebaixamentos que ocorreriam no piezômetro P3-2 se não houvesse efeito de maré. Oliveira et al. (2011)

PIP 2009-2012: Instrumentação, ensaios *in-situ* e em laboratório para suporte à investigação do meio hídrico subterrâneo

Estudos em sistemas aquíferos Multicamada (NAL, NAER)

- Instrumentação dos piezómetros com sondas de registo automático
- Monitorização de níveis piezométricos em diferentes camadas durante ensaio de bombagem
- Efeito de Noordbergum



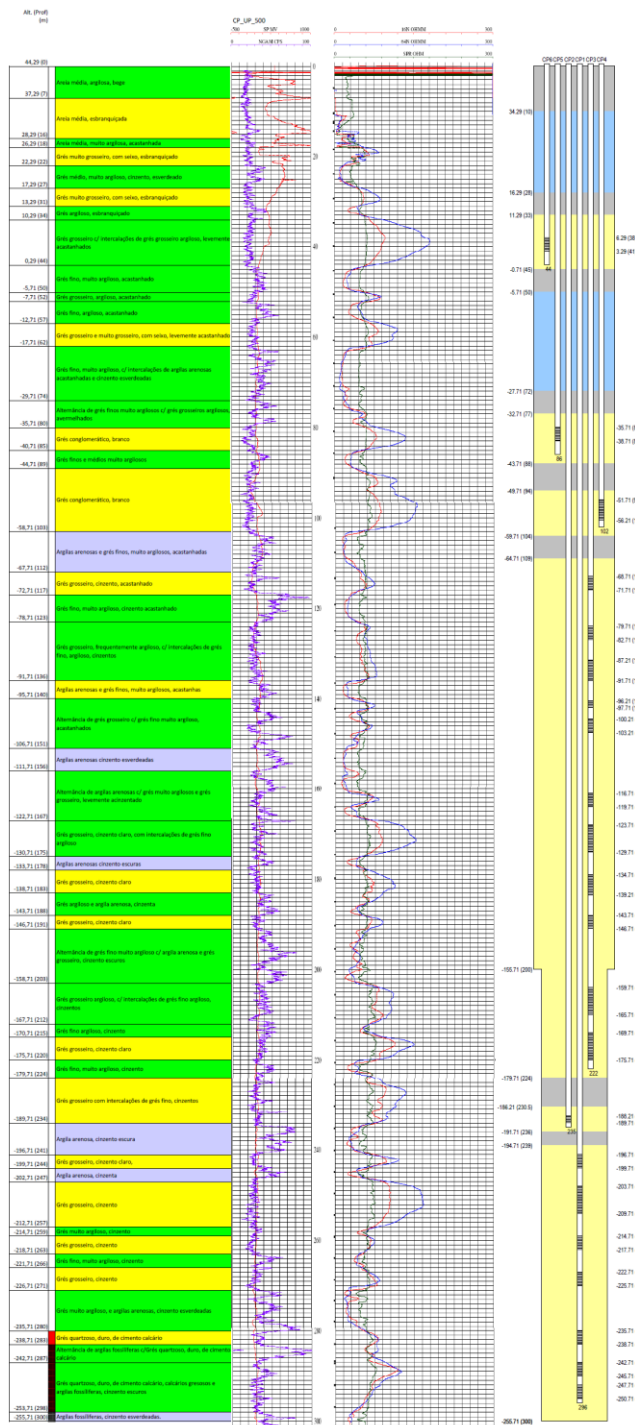
Rebaixamento durante o ensaio de bombagem no troço intermédio do furo AB (Oliveira et al., 2009)



Sondas de registo automático



Aspetto final dos piezómetros AP

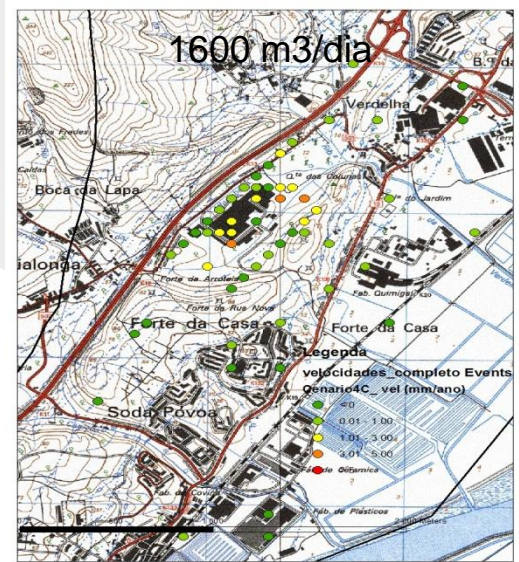
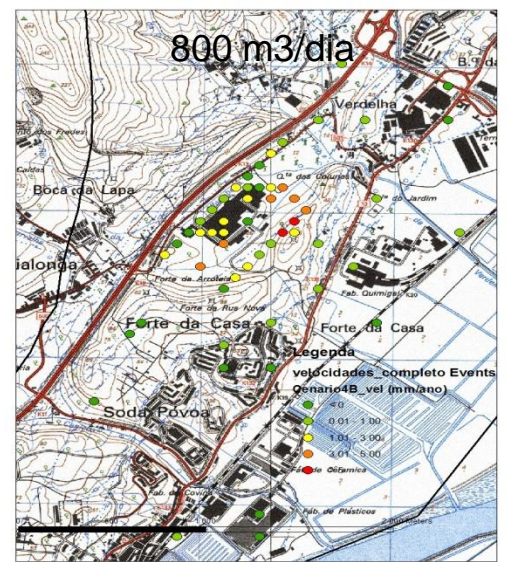
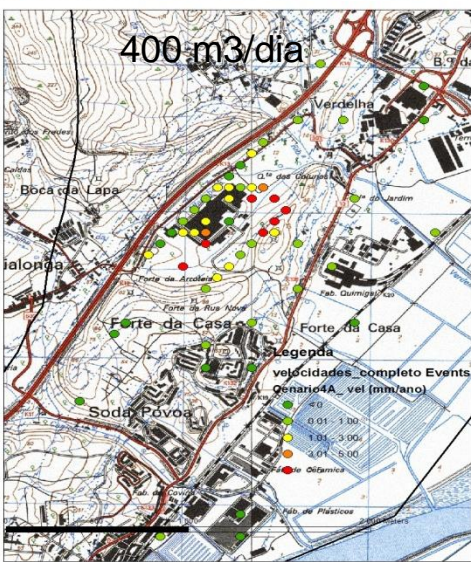
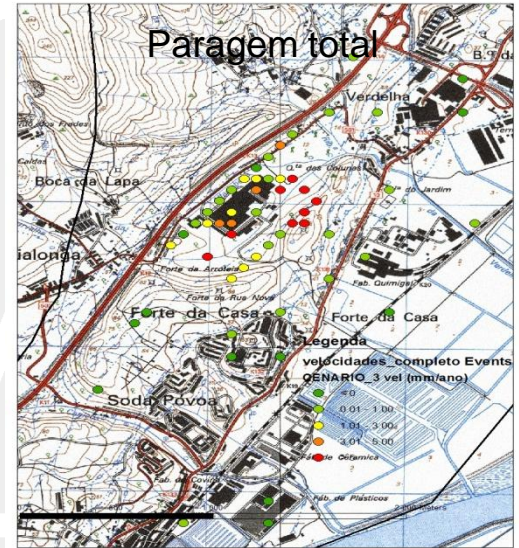
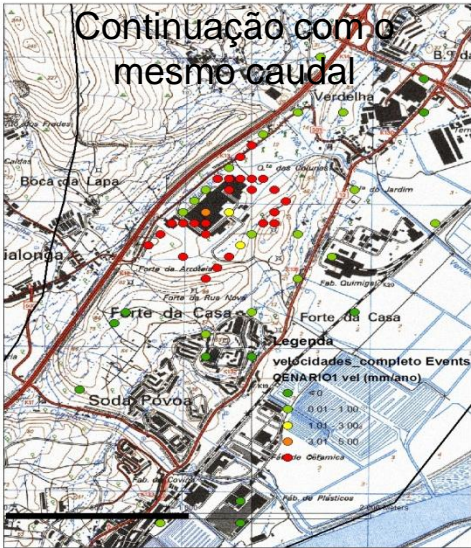


Perfil da sondagem CP com diagrfias e desenho final dos piezómetros (Oliveira et al., 2009)

Subsidência de terrenos

Vialonga:
Corrida em regime transitório no período de 2007 a 2015 (Cenários futuros)

Obras de engenharia e hidrogeologia urbana



Sumário

- > Introdução ao tema
- > Relação entre a extracção de água subterrânea e a subsidência de terrenos;
- > Apresentação do caso de estudo:
 - Subsidência de terrenos;
 - Extracção de água subterrânea;
 - Enquadramento hidrogeológico;
- > Modelação da piezometria e da subsidência;
- > Considerações finais

LNEC

Introdução ao tema

- > Subsidência - Rebaixamento irreversível da superfície do terreno;
- > Um problema mundial (por exemplo, na Cidade do México a velocidade de subsidência é de 30 cm/ano);
- > Uma das suas principais causas é a exploração não sustentável de água dos sistemas aquíferos;
- > Possível de ser monitorizado (por exemplo, interferometria de imagem de radar de abertura sintética - InSAR convencional e PSInSAR) e modelado em modelação matemática (por exemplo, pacote SUB do programa MODFLOW).



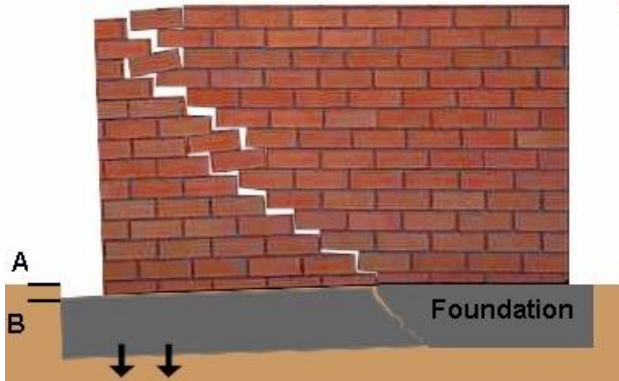


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

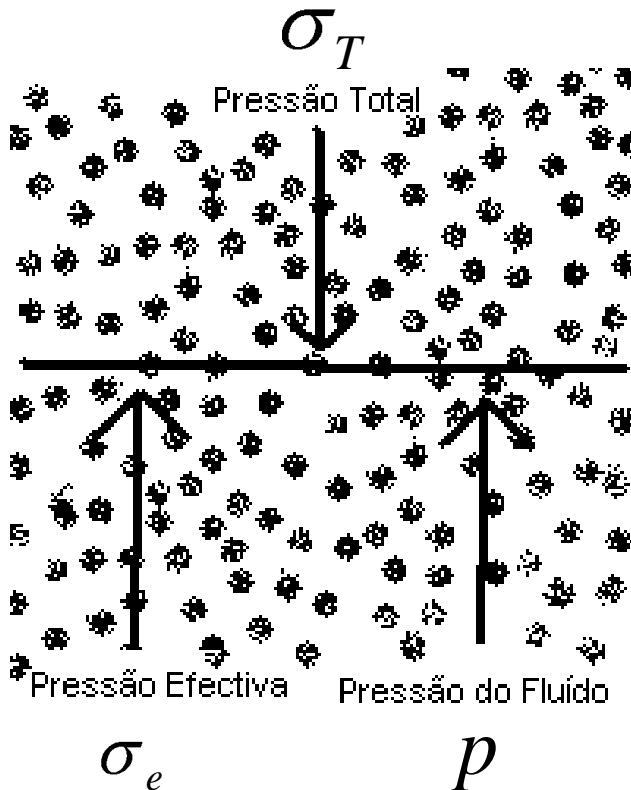


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Introdução ao tema



Relação entre a extracção de água subterrânea e a subsidência de terrenos



$$\sigma_T = \sigma_e + p$$

$$p = \rho g \psi$$

Pressão de um fluido

$$d\sigma_T = 0$$

$$d\sigma_e = -dp = -\rho g d\psi = -\rho g dh$$

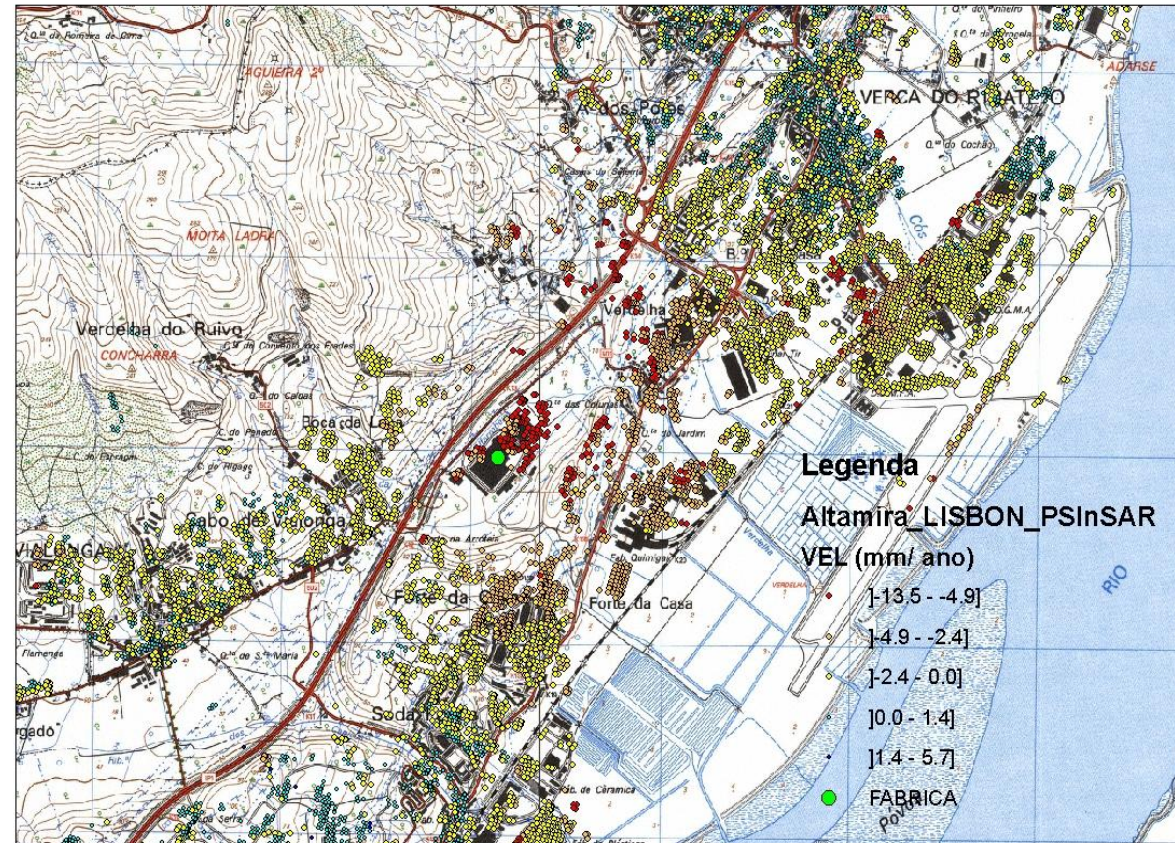
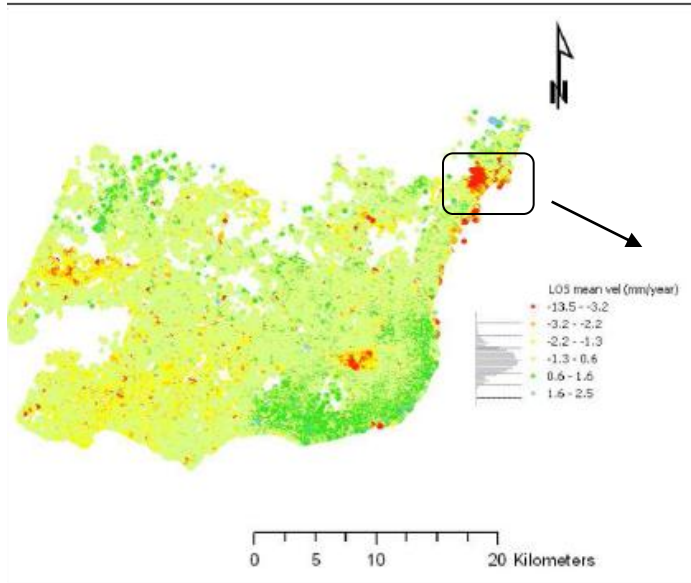
$$\alpha = \frac{-db/b}{d\sigma_e}$$

Compressibilidade de um material geológico

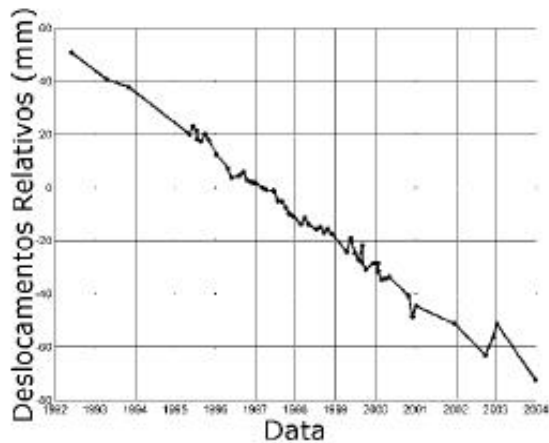
$$db = \alpha b d\sigma_e = \alpha b \rho g dh$$

Variacção espessura da camada

Caso estudo – Zona industrial de Vialonga (Subsidência)



Fonte: Agência ALTAMIRA (período 1992-2006)



Extracção de água subterrânea e rebaixamento do nível piezométrico

Extracção conjunta em 1997 das fábricas da

SCC + Solvay Portugal + CUF Adubos de Alverca foi de 1 400 000 m³

Fonte: Plano Bacia Hidrográfica do Rio Tejo (2000)

A produção de uma tonelada de um produto químico exige 7 m³ de água

Cada litro de cerveja produzida = 5 a 7 litros de água

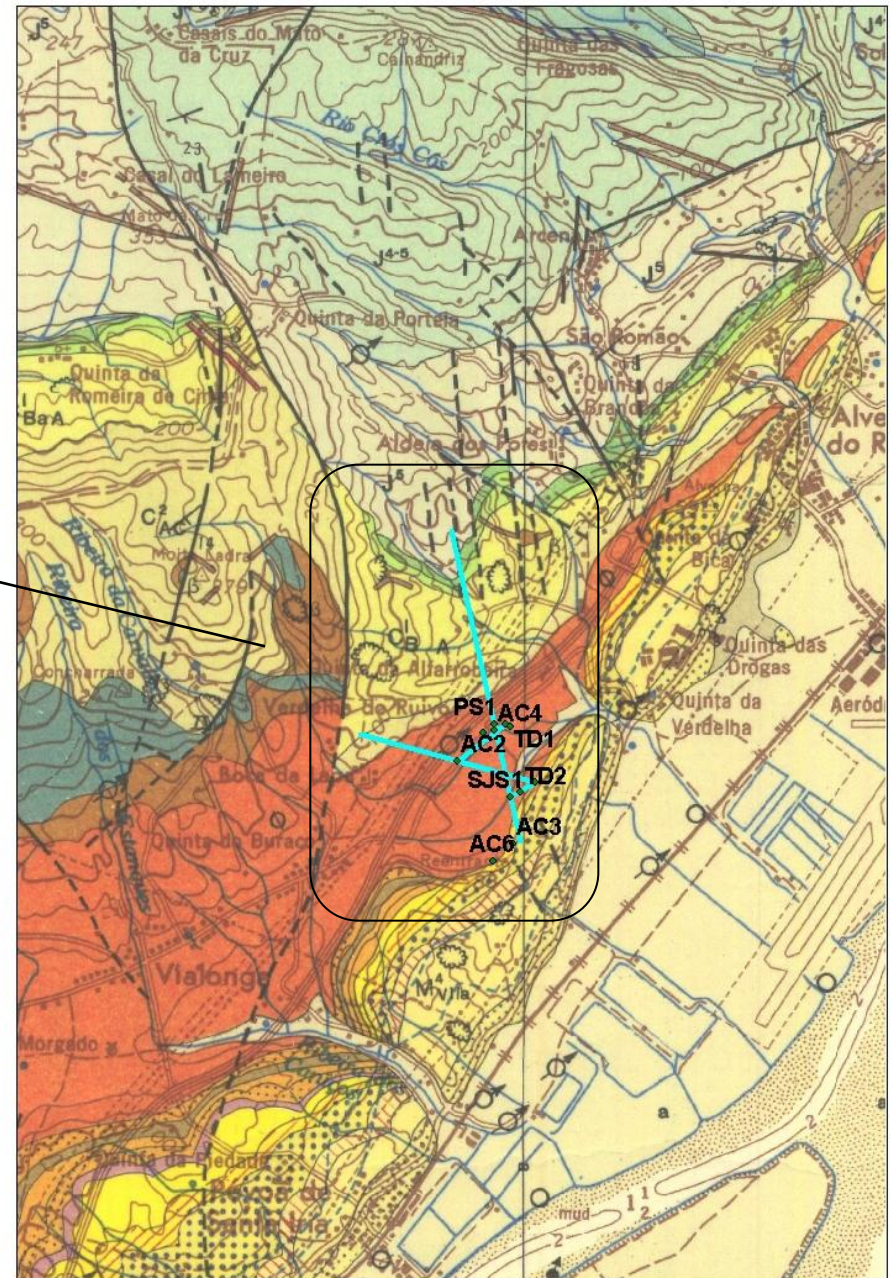
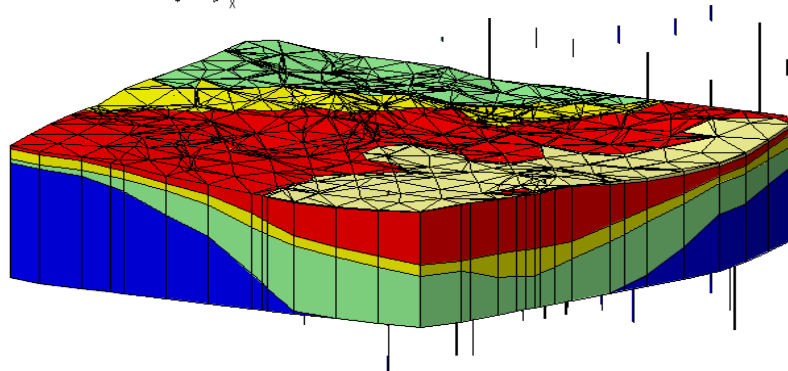
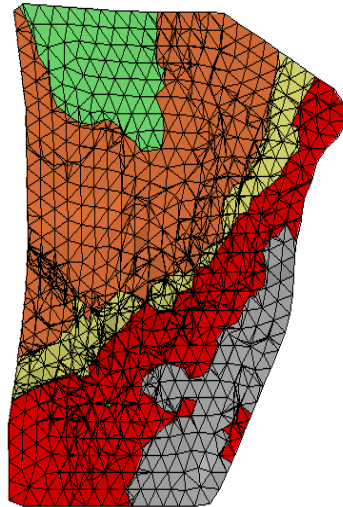
Furo	Ano	Nível piezométrico estático (m)
AC1	03-03-1978	5
AC3	27-06-1983	3,68
Fab1	28-08-1987	2,2
HO-1A	31-10-1989	-0,35

Furo	Ano	Nível piezométrico estático (m)
AC1	03-03-1966	21
	25-06-1993	-44
AC2	20-06-1966	22,2
	25-06-1993	-37,8
TD1	22-01-1981	9,5
	19-07-1983	-5
	25-06-1993	-35,3
TD2	10-08-1986	-10,7
	25-06-1993	-35 ^{11/19}



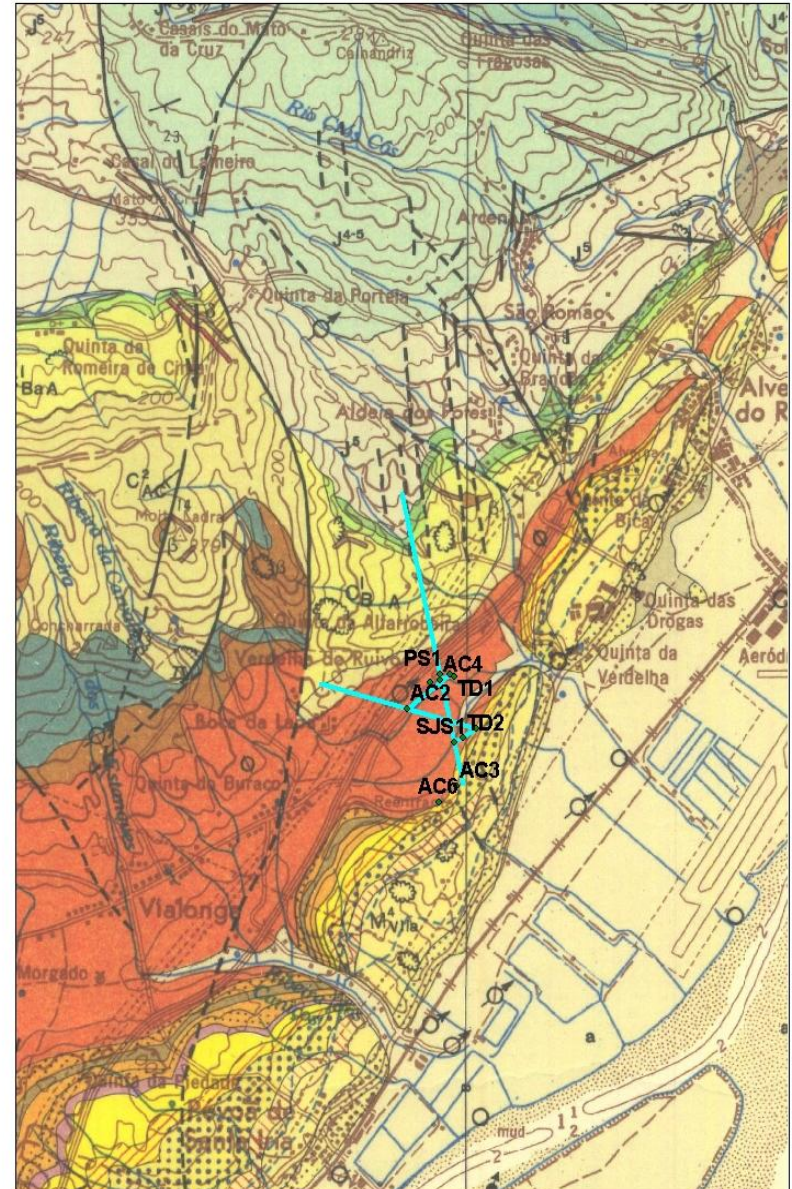
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Geologia do caso de estudo



Geologia do caso de estudo

Unidade Geológica	Tipo Material
Secundário Jurássico	Grés; Margas; Calcários
Secundário Urgoniano	Grés Calcários; Margas
Secundário Aptiano- Albiano	Grés; Calcário
Secundário Cenomaniano	Margas; Argilas
Terciário Oligocénico	Argilas; Margas; Calcários
Terciário Miocénico	Areias; Arenito Argiloso; Grés Calcários; Grés Argilosos; Argilas
Quaternário	Areias; Lodos; Entulho



Falhas

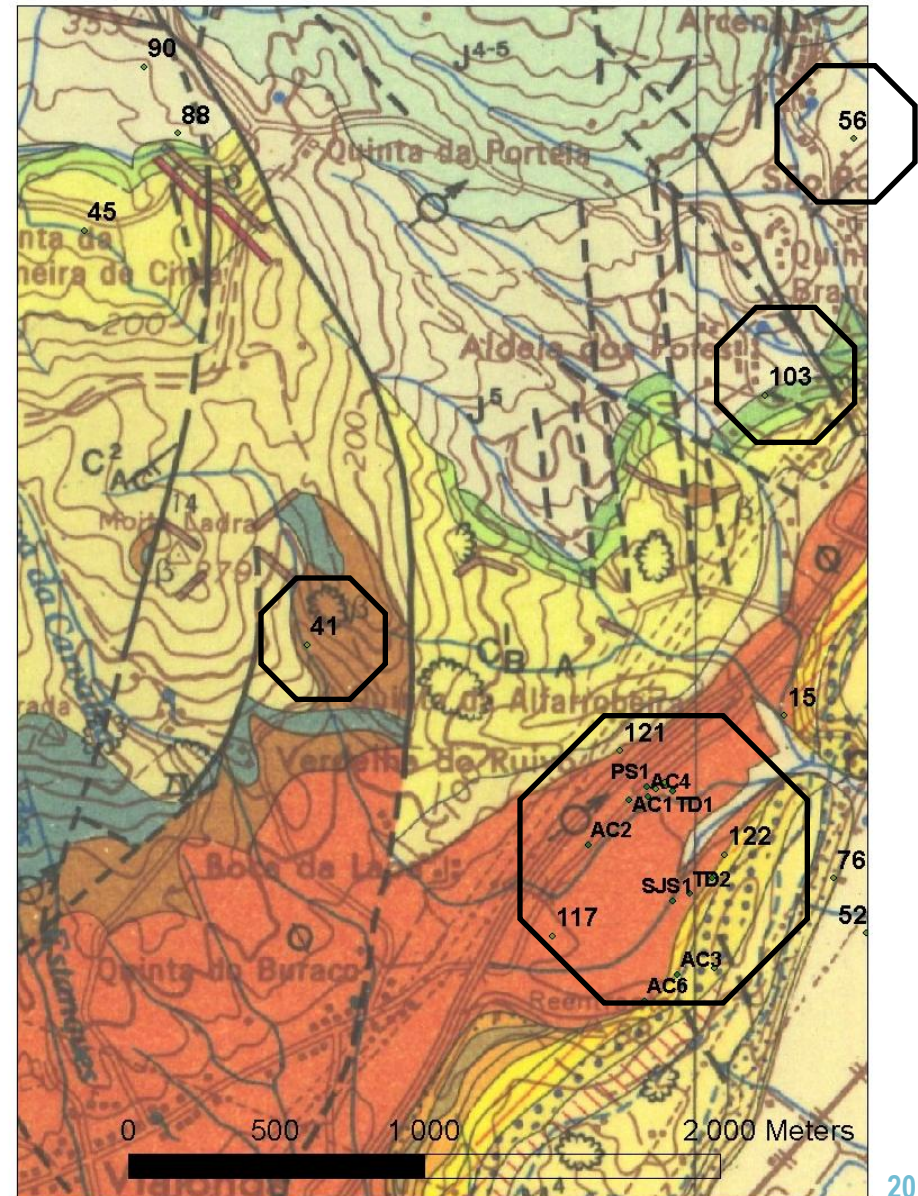
ID	Data	Prof_Furo (m)	Litologia captada	Nivel (m)
41	1995	103	Cretácico	124,9
AC1	1993	266	Cretácico	-40
AC2	1993	282	Cretácico	-37.8

ID	Data	Prof_Furo (m)	Litologia captada	Nivel (m)
56	2004	150	Jurássico	60
103	2001	150	Jurássico	-5
AC6	2001	670	Jurássico	-98

Recarga

Considerou-se uma recarga média de 30 mm/ano.

(Precipitação média de 600 mm/ano,
Evapotranspiração real de 480 mm/ano)





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Metodologia de modelação



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> Os passos seguidos na metodologia foram os seguintes:

- Desenvolvimento de um modelo conceptual simples do caso de estudo;
- Corrida do modelo em estado estacionário, utilizando o programa MODFLOW e a interface Visual MODFLOW;
- Corrida do modelo em estado transitório para os passos temporais previamente definidos (de 1966 a 1993 e de 1993 a 2007) com o programa atrás referido e o seu pacote de subsidência (SUB);
- Calibração do modelo com dados reais;
- Corrida do modelo em estado transitório para cenários futuros (de 2007 a 2015), com os programas atrás referidos.

> Os cenários futuros adoptados:

- a) Os furos não param e mantêm-se os mesmos valores de caudal de extracção;
- b) Os furos diminuem a sua extracção para metade e há um isolamento dos ralos nas zonas mais afectadas pela compactação;
- c) Todos os furos param de extrair;
- d) Os furos param de extrair e existe uma injeção por recarga artificial na zona mais afectada pelo problema (fábrica da SCC).

**Programa utilizado para modelação
matemática de fluxo de água subterrânea :**

MODFLOW 2000 (interface Visual MODFLOW)

**Programa utilizado para modelação
matemática de subsidência:**

SUB (interface Visual MODFLOW)

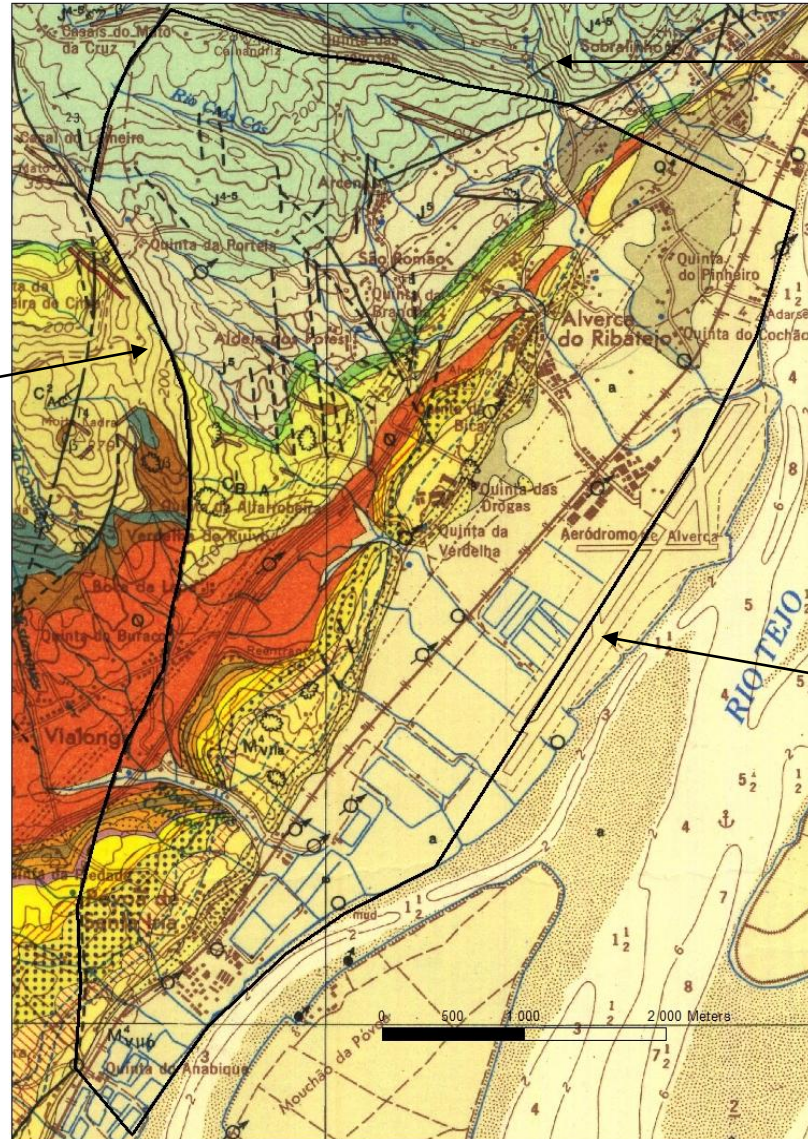
Modelação – Estrutura do modelo

Falha

Malha MODFLOW

Área modelada:
22,74 km², que foi
dividida em 94 linhas e 75
colunas.

6 camadas com
espessura variável

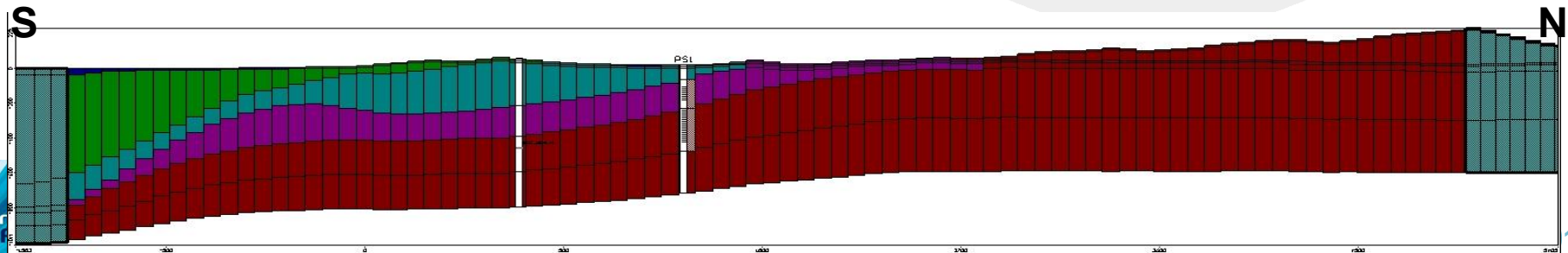


Cumeada

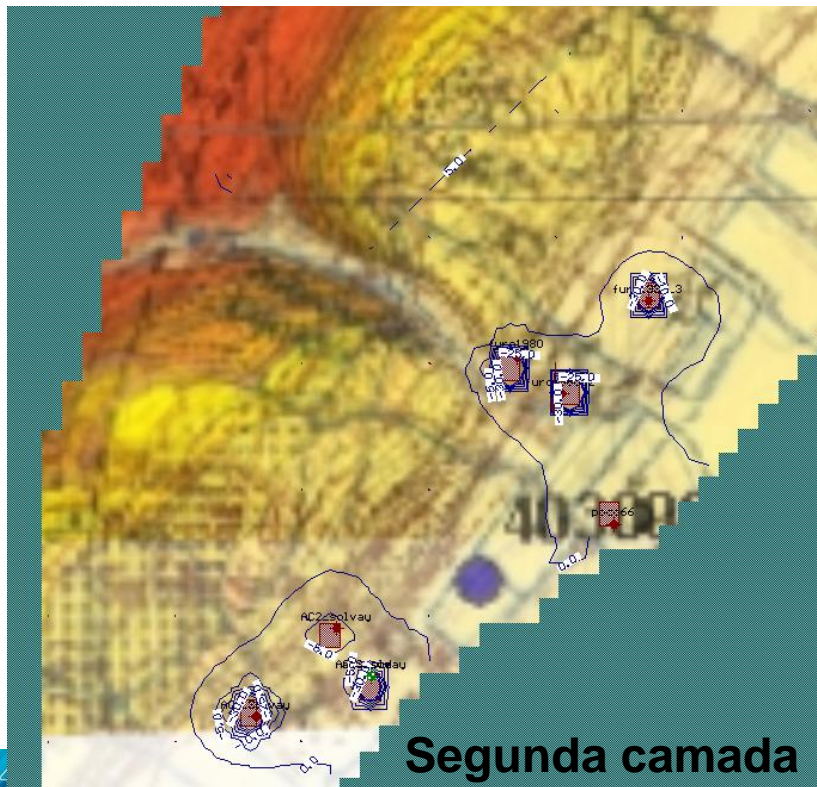
Falha identificada por
sísmica de reflexão
(Carvalho *et al.*, 2008)

Modelação - Características das camadas do modelo

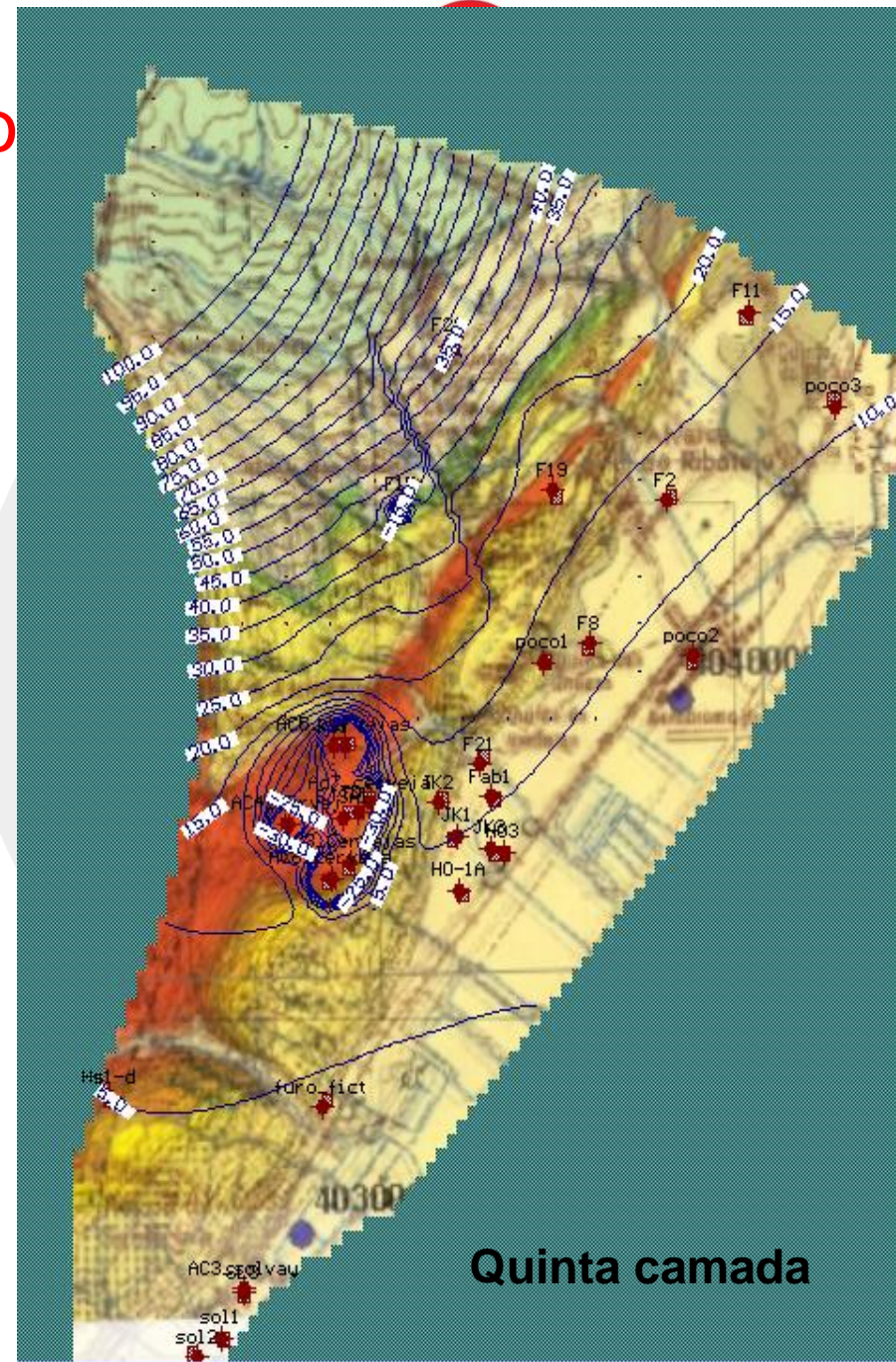
Unidades geológicas identificadas	Nome designado e considerado no modelo	Condutividade Hidráulica Horizontal (m/ dia)	Coefficiente de armazenamento específico elástico (m/dia)
Secundário Urgoniano Jurássico	Jurássico	5,5 E -1	5,4 E -5
Secundário Aptiano – Albiano	Aptiano/Albiano	5,0 E -2	1,2 E -7
Secundário Cenomaniano Terciário Oligocénico	Oligocénico	1,0 E -6	4,9 E -6
Terciário Miocénico	Miocénico	5,0 E -1	1,2 E -6
Quaternário	Quaternário	1,0 E 1	9,8 E -8



Resultados – Regime transitório no período de 1993 a 2007 (período de dados PSInSAR) Piezometria



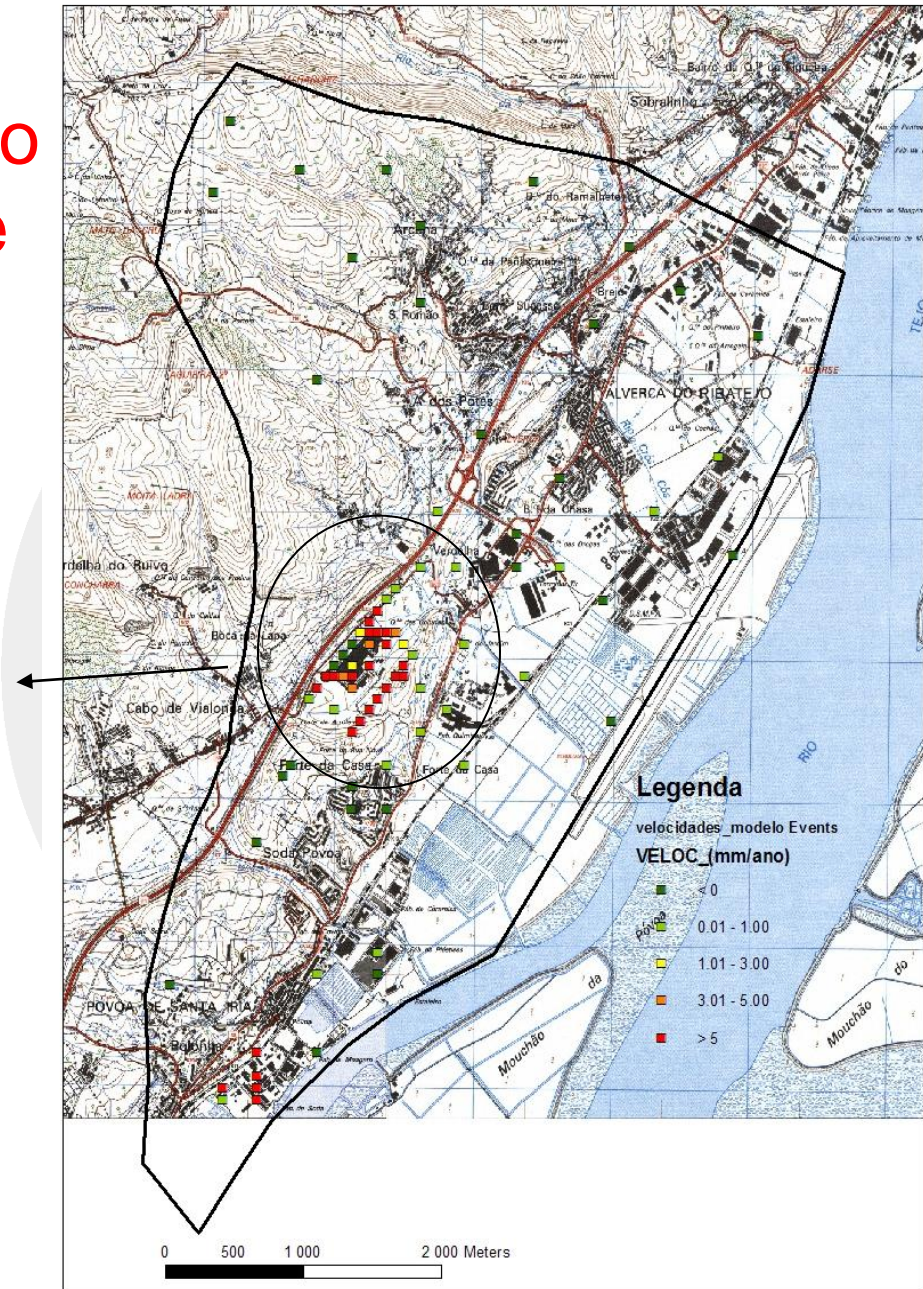
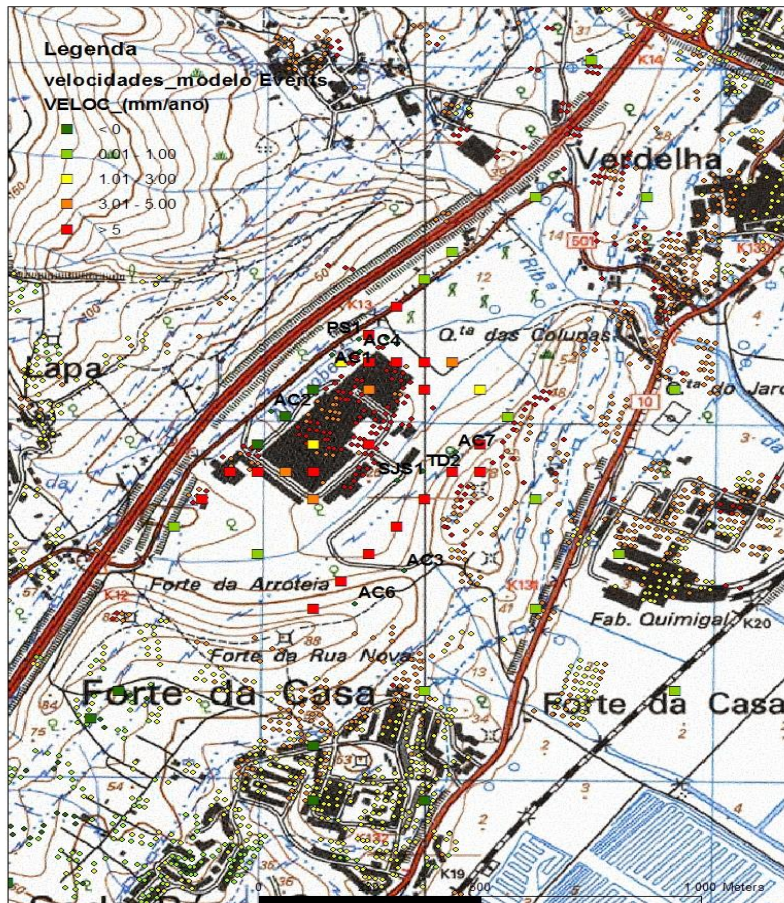
Segunda camada



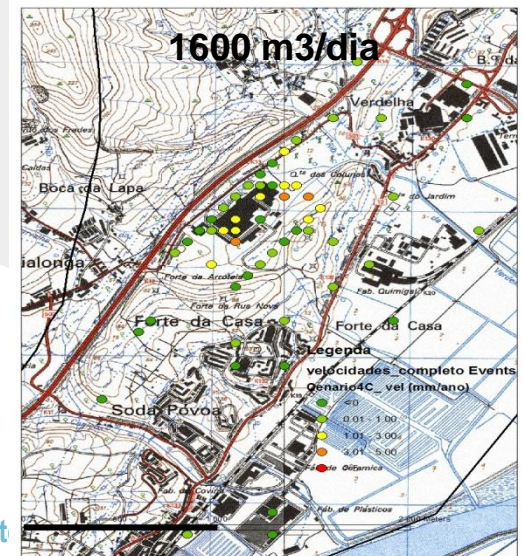
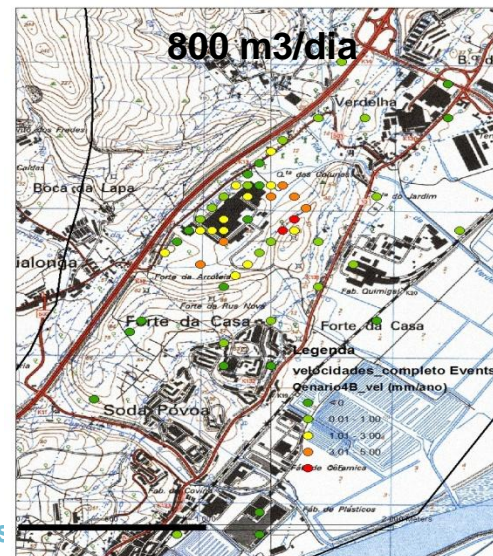
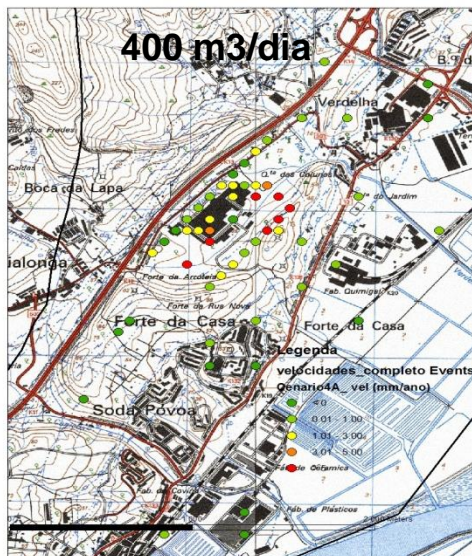
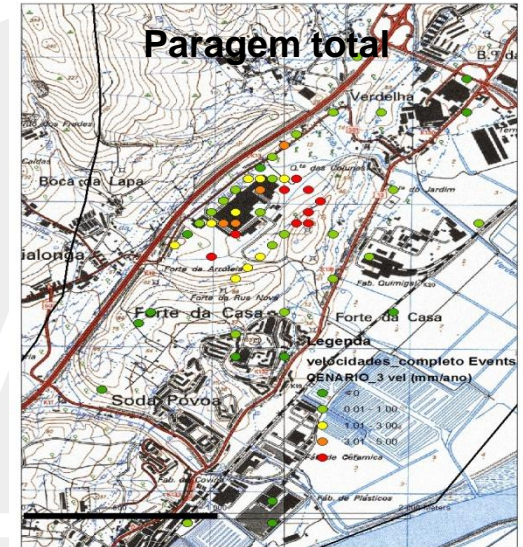
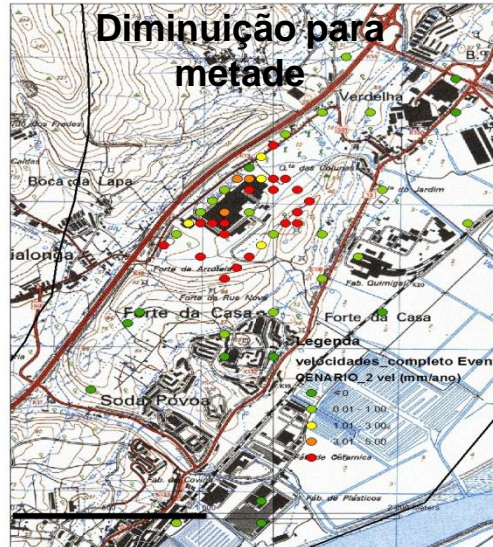
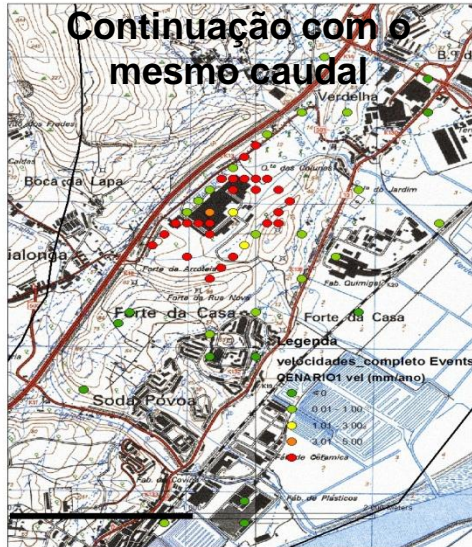
Quinta camada



Resultados – Regime transitório no período de 1993 a 2007 (período de dados PSInSAR) Subsidência



Corrida em regime transitório no período de 2007 a 2015 (Cenários futuros)



Em relação à modelação do fluxo e subsidência do caso de estudo em Vialonga verifica-se que:

- > Durante a calibração obtiveram-se valores de condutividade hidráulica horizontal diferentes dos esperados;
- > Os valores de subsidência modelados são aproximadamente iguais aos valores obtidos por PSInSAR;
- > A subsidência abranda com a paragem total da extracção e, como tal, tem de ser a medida considerada prioritária para uma análise mais pormenorizada.

Como passos a seguir para o problema apresentado destaca-se os seguintes:

- > Continuação da monitorização: a) da subsidência e b) dos níveis de água subterrânea;
- > Melhoramento do modelo através de dados mais precisos sobre as características dos materiais geológicos, nomeadamente relativos: a) à condutividade hidráulica, b) à porosidade, c) aos coeficientes de armazenamento.

Destaca-se que o estudo efectuado pela componente das águas subterrâneas do projecto SUBSIn, um estudo metodológico, irá permitir auxiliar outros estudos ou projectos que envolvam a modelação de subsidência de terrenos devido à exploração não sustentável de água subterrânea.

Obrigado pela vossa atenção

AGRADECIMENTOS

- Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento no âmbito da qual se desenvolveu, no LNEC e IST, o trabalho que se apresenta nesta comunicação.
- Agradece-se a colaboração da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR – Lisboa e Vale do Tejo) pelos dados fornecidos da região de Vialonga.
- Agradece-se ao Doutor João Carvalho do INETI o fornecimento dos dados de sísmica de reflexão e, ainda, da sua tese de Doutoramento em formato PDF.

