

# Dados Geotécnicos e Geofísicos: Exploração de novas formas de visualização.

Vítor Gonçalves  
Instituto Politécnico de Castelo  
Branco  
vitor@esart.ipcb.pt

Paulo Dias  
IEETA / DETI  
Univ. de Aveiro  
paulo.dias@ua.pt

Fernando Almeida  
Dep. Geociências  
Univ. de Aveiro  
fernandoalmeida@ua.pt

João Batista  
Centro de Investigação Geo-  
BioTec da FCT, Universidade  
de Aveiro  
madeiraro-  
chas@netmadeira.com

Beatriz Sousa Santos  
IEETA / DETI  
Univ. de Aveiro  
bss@ua.pt

---

## Abstract

*Este artigo visa a exploração de novas formas de visualização de dados geotécnicos que possam ser mais enriquecedoras e mais interactivas que as oferecidas pelos actuais sistemas informação geográfica (SIG). Desta forma os dados são simplesmente um modelo para a construção de uma potencial ferramenta. Na prática pretende-se a implementação de métodos de visualização e interacção que permitam a visualização simultânea dos vários tipos de dados disponibilizados. Este trabalho ainda se encontra numa fase experimental e tem como objectivo explorar várias formas de visualização, verificar a sua validade/adaptabilidade ao caso concreto dos dados geotécnicos. Neste caso de estudo, foram utilizados dados geotécnicos adquiridos através de diferentes modalidades.*

## Keywords

*Visualização, dados geotécnicos e geofísicos, VTK (Visualization Toolkit).*

---

## 1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Visualização e de apoio à interpretação de dados geológicos actuais são ferramentas muito robustas, completas e abrangentes, no entanto por vezes é necessário ou desejável obter outras formas de visualizações que auxiliem o especialista dessa área. É o que acontece no caso de dados geotécnicos e geofísicos, onde existe o problema dos dados não terem uma continuidade espacial, onde existe uma alternância de dados e espaços vazios, é desejável nestes casos possuir uma ferramenta que permita a construção guiada dessas zonas sem informação e quando possível uma construção automática com a finalidade de obter visualizações mais completas [HUANG08].

Este artigo descreve um conjunto de experiências no sentido de ensaiar visualizações e outras técnicas e métodos que se adequem a uma melhor e mais fácil exploração de dados geotécnicos e geofísicos pelos peritos. As experiências foram desenvolvidas em C++, sendo usada a biblioteca gráfica VTK (Visualization Toolkit) [Schroeder98].

As vantagens destes métodos comparativamente aos oferecidos pelos sistemas de visualização de dados geológicos tradicionais são a possibilidade de obter várias visualizações dos mesmos dados para além da visualização *standard* (visualização dos dados do terreno), a pos-

sibilidade do especialista acrescentar manualmente informação em espaços sem dados a partir da informação existente e ainda o auxílio na construção de outras representações (isosuperfícies por exemplo) a partir dos dados originais. Portanto o objectivo destes métodos é realizar experiências no sentido de estender a capacidade dos sistemas de visualização de dados geográficos, nomeadamente na adição de elementos à visualização, resultantes da identificação e marcação tridimensional de informação vectorial interpretada (construção de linhas, superfícies e volumes). Tenta-se deste modo integrar informação vectorial e raster para efectuar a interpretação das formas geológicas (contactos e delimitação de corpos) num formato vectorial que se torna mais versátil em termos da sua manipulação e interpretação.

O objecto de estudo situa-se na ilha do Porto Santo e corresponde ao local de implantação do Conjunto Turístico Colombo's Resort. O substrato rochoso é constituído por formações vulcânicas (escoadas e filões basálticos) sobrepostas a estas ocorrem as formações sedimentares de idade recente (quaternária) arenitos, paleosolos e depósitos de praia. A exploração do aquífero ligado às formações sedimentares costeiras, conduziu a um processo de invasão da água do mar evidenciam um aumento gradual da salinização na aproximação à praia. As formações vulcânicas e sedimentares revelam contrastes nos

parâmetros de resistência geomecânica e geoelectrica. A imagem espacial tridimensional dos parâmetros físicos, resistividade e resistência mecânica fornece informações muito úteis aos projectistas de modo a definir a implantação das infra-estruturas (edifícios, rede de águas residuais e saneamento) e a racionalizar a exploração do aquífero costeiro.

Na secção 2 são apresentados os dados usados nas visualizações, os métodos de aquisição, os vários tipos de visualizações obtidas e o método de construção guiada de isosuperfícies. Na secção 3 são descritos vários aspectos da implementação. Na secção 4 são apresentados os resultados e na secção 5 são apresentadas algumas conclusões e o trabalho futuro.

## 2. MÉTODO

Os dados geotécnicos usados neste trabalho têm a particularidade de serem muito esparsos, não cobrindo todo o espaço geográfico em estudo, forçando os especialistas da área a criarem modelos mentais que lhes permitam mais facilmente deduzir as características físicas dos espaços sem informação, com base na informação disponível. Surge portanto a necessidade de criar novas ferramentas mais adequadas para a interrogação desse tipo de informação esparsa permitindo mais facilmente aos especialistas chegarem a conclusões.

Outro problema que existe com as ferramentas SIG no tratamento deste tipo de dados é a falta de ferramentas bem adaptadas para a adição de informação pelo utilizador para inclusão em relatórios. Em muitos casos, o especialista acaba por ter que exportar as imagens SIG no formato raster para ferramentas de edição de imagem e adicionar manualmente informação relevante. A nossa ferramenta visa reduzir ou suprimir esse trabalho. Com o procedimento adoptado a informação vectorial interpretada dentro da plataforma desenvolvida poderá ser exportada para outras plataformas de desenho assistido por computador ou para um relatório. A informação vectorial resultante também poderá ser exportada para processamento visando a determinação de volumes e áreas.

### 2.1 Tipos de Dados

A aplicação possibilita a visualização de três tipos de dados que possuem métodos de aquisição diferentes e finalidades diferentes.

O primeiro tipo de dados consiste em grelhas estruturadas que representam a resistividade eléctrica num plano vertical perpendicular ao plano da superfície. Este método resulta da prospecção geofísica onde se empregam dois métodos distintos, a resistividade eléctrica e o georadar, que servem de base e apoio à prospecção geotécnica e hidrogeológica. Dos dois métodos referidos, até ao momento apenas foi implementado o método de resistividade eléctrica que consiste na aquisição de perfis de resistividade do terreno. Estes perfis têm como objectivo definir o modelo geofísico/geológico da área em estudo. Os valores de resistividade são contínuos e escalares que variam de acordo com os materiais constituintes do subsolo, por exemplo as rochas são geralmente maus con-

dutores (embora se subdividam em várias classes com diferentes condutividades), enquanto a água é boa condutora, sobretudo a água na presença de sais. A unidade de medida da resistividade é o ohm.m (ohm-metro), variando desde valores próximos de zero nos bons condutores (caso das formações salinizadas) até valores muito elevados, nas substâncias pouco condutoras [Luis05].

O segundo e terceiro tipos de dados resultam da caracterização e do “zonamento geotécnico” das áreas utilizando a penetração dinâmica ligeira (DPL) e a penetração dinâmica super pesada (DPSH). Estas técnicas consistem na perfuração do solo por uma vara com uma ponteira cónica que é sujeita a pancadas, que são contabilizadas e revelam a energia aplicada na ponteira em função da profundidade. A resistência dinâmica é também um valor contínuo e escalar cuja unidade de medida é o Kg/cm<sup>2</sup> e varia entre zero para espaços sem matéria e valores muito elevados para zonas rochosas.

#### 2.1.1 Dados geofísicos – Perfis de resistividade eléctrica

Um dos objectivos da prospecção geofísica é a definição de um modelo do subsolo que auxilia na marcação de poços de captação de água, na exploração mineira, na detecção de substrato rochoso, no controlo e monitorização de problemas ambientais ligados à intrusão de substâncias, no grau de alteração dos maciços rochosos, entre outros. Os perfis são obtidos através da medição do potencial eléctrico (em vários pontos do terreno) gerado pela introdução de impulsos de corrente que tratados por métodos de inversão gerem uma distribuição espacial da resistividade discreta fornecendo um perfil teórico que se aproxima aos dados de campo [4, 2].



Figura 1 - Obtenção de um perfil de resistividade eléctrica.

#### 2.1.2 Dados geotécnicos – Penetração dinâmica (PDL e DSPH)

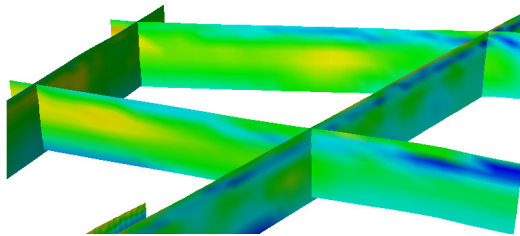
A PDL e a DSPH são ensaios penetrométricos que consistem na determinação do número de pancadas (N) necessário para que ocorra determinado comprimento de penetração. Em cada registo estão representados a variação da resistência dinâmica de ponta com a profundidade (Rd) e o número de golpes (N) correspondentes à penetração de cada 10 e 20 cm, nos ensaios PDL e DSPH, respectivamente [Silva02]. Finalmente é aplicada uma fórmula normalizadora e PDL e DSPH passam a estar na mesma unidade física e podem assumir a mesma representação.



**Figura 2 – Exemplos de penetração dinâmica super pesada (DPSH).**

## 2.2 Visualização dos perfis de resistividade eléctrica

No caso particular dos perfis foram usados pontos e células (polígonos), sendo as células a interligação de quatro pontos. Além dos atributos referidos é ainda possível aplicar um escalon (resistividade) a cada ponto, permitindo mapear o valor da resistividade através de um mapa de cor (Figura 3).



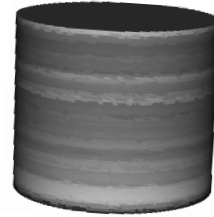
**Figura 3 - Visualização dos perfis de resistividade eléctrica.**

Neste caso foi adoptada esta técnica de visualização numa perspectiva de perfis que é análoga à usada pelos SIG, o que por um lado permite que o especialista se sinta familiarizado com a visualização e por outro representa exactamente a informação recolhida. Relativamente à coloração foi usada uma gama de cores RGB, que neste caso proporciona numa interpretação mais intuitiva por parte dos especialistas, tendo em conta que os tons azuis correspondem a zonas onde a possibilidade de existência de água é superior, os tons amarelo/castanho/vermelho correspondem a zonas rochosas e os verdes a zonas intermédias.

## 2.3 Visualização das penetrações dinâmicas (PDL e DPSH)

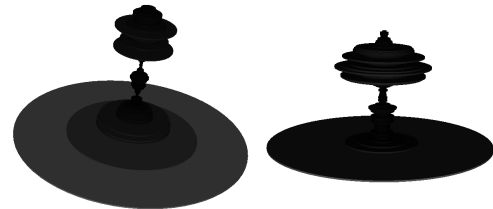
Tendo em conta que a penetração dinâmica ligeira (PDL) e a penetração dinâmica super pesada (DPSH) são perfurações verticais, pode-se associar a uma linha vertical num plano  $xy$ , em que  $x$  e  $y$  são fixos, e  $z$  varia. Para além da profundidade, está associada a cada valor de  $z$  uma grandeza que representa a facilidade ou dificuldade de perfurar o solo. Com base nestes dados foram apresentadas inicialmente aos especialistas duas propostas de visualizações para este tipo de dados. A primeira consistiu na apresentação de um gráfico (linhas, barras ou outro) alinhado verticalmente no terreno no ponto exacto de medição da penetração dinâmica, e esse gráfico iria representar a resistividade ao nível da coordenada  $z$ . A segunda proposta consistiu no empilhamento de polígonos e na representação do valor da resistividade

dinâmica através das cores associadas a cada polígono ao longo de  $z$ . Depois de alguns ensaios os especialistas apresentaram uma preferência pela segunda proposta usando cilindros como polígonos a empilhar, em que os níveis de cinzento correspondem às diferentes grandezas físicas do terreno, como se representa na Figura 4. Foi adoptada uma escala com diferentes níveis de cinzento, pois tendo em conta as características físicas da resistividade dinâmica e a forma de distribuição desses valores no terreno, esta escala foi a que apresentou em diversos ensaios uma visualização mais representativa dos dados.



**Figura 4 – Visualização de uma penetração dinâmica através de uma pilha de cilindros com diferentes níveis de cinzento.**

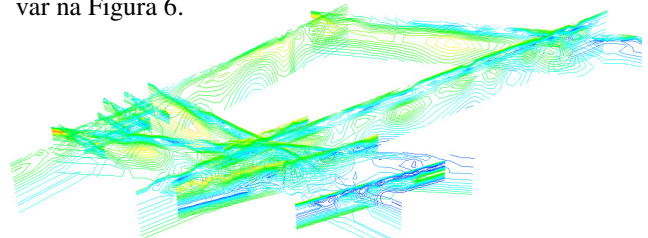
No entanto a visualização das penetrações dinâmicas com uma pilha de cilindros continuou a não ser totalmente satisfatória, pois as variações não são muito perceptíveis e a elevada gama de valores dos dados dificulta uma visualização significativa quando numa escalas de cores e mesmo usando diferentes níveis de cinzento. Para ultrapassar este problema, foi melhorada a forma de visualização apresentada na Figura 5, em que além de diferentes valores de cinzento para diferentes resistividades dinâmicas são também em simultâneo apresentados diferentes diâmetros de acordo com a mesma grandeza física, permitindo uma interpretação mais fácil dos dados.



**Figura 5 – Visualização de uma penetração dinâmica através de uma pilha de cilindros de diferentes níveis de cinzento e diferentes diâmetros.**

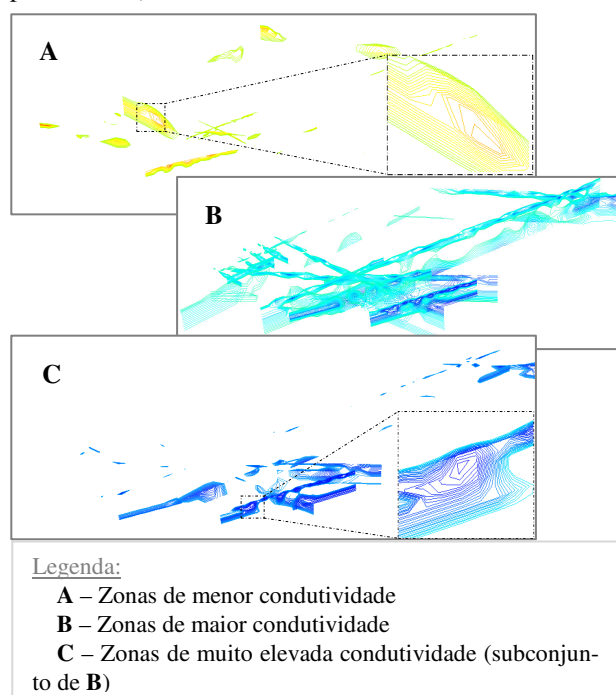
## 2.4 Visualização de isolinhas dos perfis

As isolinhas permitem obter uma visualização que delimita zonas com igual resistividade. Desta forma é possível perceber precisamente onde se encontram zonas com maior ou menor resistividade, como se pode observar na Figura 6.



**Figura 6 – Visualização de isolinhas dos perfis.**

A aplicação proporciona também uma visualização de isolinhas com diversas gamas de resistividade, que se traduzem numa visualização mais informativa, apresentando separadamente conjuntos de resistividade. Repare-se nas imagens **B** e **C** da Figura 7, neste caso podem observar-se na imagem **B** zonas cuja resistividade eléctrica denuncia uma zona onde existe água, no entanto na imagem **C** é possível observar isolinhas que possuem um potencial hídrico superior e que se restringem praticamente a uma zona mais específica do terreno. Esta visualização tem por objectivo segmentar as características do terreno, permitindo ao especialista tirar diversas conclusões. Por exemplo, pode concluir que determinada zona do terreno tem uma possibilidade superior de possuir água e portanto será a zona mais indicada para uma tentativa de captação de água (por exemplo para regas, piscinas, etc).

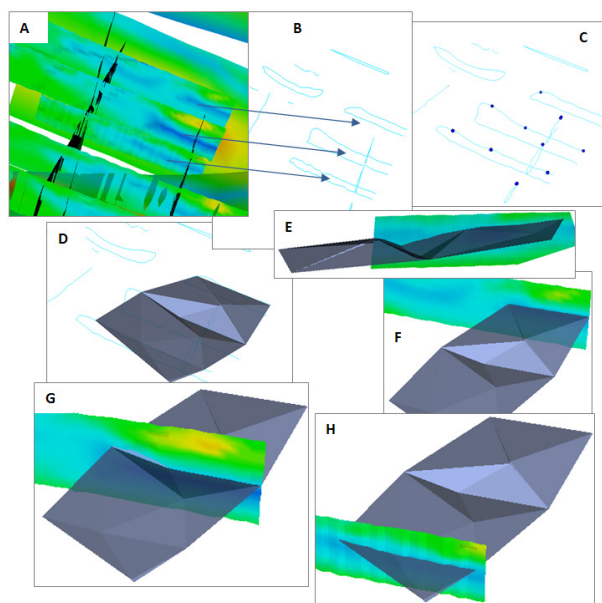


**Figura 7 –** Várias visualização de isolinhas dos perfis, separadas por diferentes gamas de valores.

### 2.5 Construção guiada de isosuperfícies

A construção guiada pelos especialistas de superfícies que delimitam zonas com características físicas semelhantes, é importante, para tornar a leitura visual mais inteligível, delimitando as várias camadas do subsolo que podem desta forma ser representadas por isosuperfícies. As isolinhas dos perfis apresentadas anteriormente proporcionam uma visualização muito útil nesta delimitação, pois filtram os valores de resistividades por gamas diferentes. Por exemplo, se em determinada perspectiva de visualização for possível identificar uma zona em que se denota uma continuidade de baixas resistividades (provavelmente uma zona de água), a construção de um polígono a partir de vários pontos dessa zona pode mais tarde ser útil, na medida em que nem todas as perspectivas de visualização proporcionam a identificação dessa

zona enquanto o polígono com a respectiva cor denuncia de imediato essa zona.



**Figura 8 –** Construção guiada de um polígono numa zona hídrica.

A Figura 8 mostra um exemplo de demarcação de uma zona, inicialmente é detectada uma zona onde existe continuidade de baixas resistividades, na perspectiva **A**, posteriormente adopta-se uma visualização de isolinhas que mostram os limites dessas baixas resistividades em cada perfil (**B**). De seguida marcam-se os pontos (**C**) dessa continuidade e gera-se o polígono a partir destes pontos (**D**). Finalmente pode visualiza-se pela alternância de perfis, que o polígono criado intersecta essa zona (imagens **E**, **F**, **G** e **H**).

### 3. IMPLEMENTAÇÃO

Neste trabalho foi realizada uma tentativa de correlacionar linearmente dados geotécnicos e geofísicos, com a finalidade de criar métodos e novas visualizações para auxiliar o especialista na construção de isosuperfícies que delimitam as várias camadas do subsolo. O objectivo final é proporcionar ao especialista, numa mesma interface, o acesso a um maior número de dados (Perfis de resistividade, PDL e DPSH), no entanto essa correlação não foi fácil. Após alguns estudos na área geotécnica e geofísica foi validada essa confirmação, na medida em que as rochas podem ser porosas e terem nesses espaços água e sais, que ao contrário das rochas são bons condutores, desta forma nestas zonas irá existir uma baixa resistividade eléctrica, mas uma alta resistência dinâmica, pois a rocha é difícil de perfurar [Luis05]. Apesar da tentativa não ter os resultados esperados, ou seja, geralmente não foi possível essa correlação directa, trouxe conclusões muito interessantes, tendo em conta que se um perfil de resistividade e uma penetração dinâmica (PDL ou DPSH) tiverem coordenadas coincidentes ou muito próximas, é possível determinar automaticamente com um grau de certeza muito acentuado o tipo de textura da

rocha e grau de salinização, na medida em que existem dois factores físicos diferentes para a avaliar.

#### 4. RESULTADOS

Embora este projecto ainda se encontre numa fase experimental, as visualizações apresentadas tem sido avaliadas e validadas por um pequeno grupo de especialistas, no sentido dos resultados corresponderem exactamente à realidade e evitar distúrbios (provocados por exemplo pela aplicação de uma escala de cores desajustada, ou pela adopção de técnicas de visualização inapropriadas para o caso).

Na imagem **A** da Figura 9 é apresentada a visualização *standard* dos dados. Os perfis de resistividade são representados usando uma escala de cor onde o azul-escuro apresenta uma resistividade menor e o vermelho a resistividade máxima no conjunto dos dados.

As resistências dinâmicas (PDL e DPSH) estão numa escala de cinzentos (imagens **B** e **C** da Figura 9), no entanto a distribuição de valores não favorece uma representação por cores, além do que este tipo de visualização pode ser difícil de perceber por utilizadores com problemas de percepção da cor [Ware00], pelo que se apresenta uma solução em que o raio de cada cilindro depende da resistência dinâmica.

Foram também implementadas visualizações dos mesmos dados na forma de isolinhas (Figura 7) sendo possível alternar entre visualizações, no sentido de tornar mais fácil a compreensão dos dados.

A visualização 3D é uma visualização vectorial, constituída por diversos tipos de polígonos, onde é possível dinamicamente interagir com os dados, fazendo rotações, ampliações e consultar informação dos dados seleccionando pontos específicos.

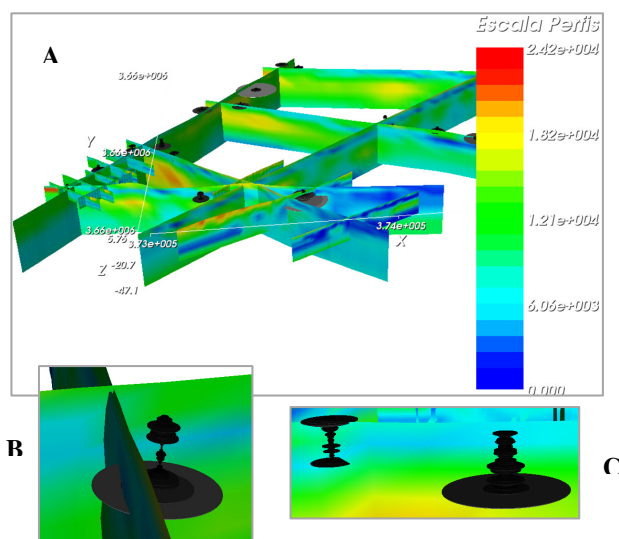


Figura 9 – Visualização dos dados (Perfis de resistividade eléctrica, PDL e DPSH).

#### 5. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Neste trabalho descreve-se um conjunto de experiências que visam explorar novas formas de visualização de

dados geotécnicos e geofísicos, não proporcionadas pelos SIGs, das quais se destaca a construção guiada de isosuperfícies por especialistas que dispõem de uma visão integrada de toda a informação disponível. Na construção dessas isosuperfícies, os dados disponíveis, se bem que esparsos, são o ponto de partida podendo ser apresentados sob várias formas: malha poligonal, isolinhas ou sub-gamas de isolinhas, facilitando ao especialista a selecção das diferentes secções do subsolo. É também possível visualizar em simultâneo com os perfis de resistividade eléctrica as penetrações dinâmicas (PDL) e (DPSH) que podem ajudar na tarefa de definição das várias camadas no subsolo.

A construção guiada destas representações poderá evoluir futuramente para uma construção cada vez mais automática, diminuindo os espaços com pouca informação e melhorando o grau de incerteza nas representações. Sendo um objectivo a longo prazo a obtenção de uma representação semi-automática, em que é sugerida uma solução que poderá ser aceite ou modificada pelo especialista.

Outra evolução particularmente interessante e dependente do sucesso da anterior consiste em acoplar a este sistema de visualização um sistema de realidade virtual, em que o especialista pode caminhar pelo interior do subsolo corrigindo a construção automática das zonas sem dados, e por outro permitindo a outros especialistas, nomeadamente arquitectos, engenheiros e projectistas obter uma visualização do interior do terreno para melhor projectar.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos administradores do Grupo SIRAM, SGPS, S. A., Dr. Sílvio Santos e Eng. Luís Severim, promotores e financiadores dos estudos, a autorização concedida para a utilização de dados e apresentação parcial dos trabalhos de engenharia desenvolvidos no Conjunto Turístico Colombo's Resort.

#### 7. REFERENCIAS

- [Huang08] Huang, A., Mayne, P. (2008), Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Edição Ilustrada, Editora CRC Press, ISBN: 2008ISBN0415469368, 9780415469364, 249 pp.
- [Luís05] Luís, J. (2005), Geofísica Ambiental, Método Eléctricos, Engenharia do Ambiente, 25 pp.
- [Schroeder98] Schroeder, W., K. Martin, B. Lorensen. The Visualization Toolkit, An Object Oriented Approach To 3d Graphics, 2nd ed., Prentice Hall, 1998.
- [Silva02] Silva, J.; Machado, A.; Moura, R. Et Al; (2002), Estudo Geotécnico E Hidrogeológico Para Implantação Do Conjunto Turístico Colombo'S Resort, Campo De Baixo, Ilha Do Porto Santo, Arquipélago Da Madeira. - EnGeoMad - Planeamento e Gestão de Recursos Naturais 72 pp.
- [Ware00] Ware, C., Information Visualization: Perception to De-sign, Academic Press, 2000.