



eGs 3.0 (electrical GEOPHYSICS suite) – Pacote de programas para modelagem e interpretação de dados geofísicos elétricos e eletromagnéticos.

Luiz Rijo, Glauco Lira Pereira e Rodrigo E. Conceição Silva, UFPA, Brazil.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This is the third version of the suite of computer programs denominated electrical GEOPHYSICS suite (**eGs 3.0**) for modeling and interpretation of electric and electromagnetic geophysical data. The eGs 3.0 is software of free distribution, built to run in the MS-Windows operating system. It is destined to undergraduate and graduate students in geology and geophysics. In this new version, the eGs graphic interfaces were substantially improved in order to facilitate the user's communication with the computer. The choice of the geophysical EM method, data input, creation of files for the modeling process and the graphs facilities of the modeling results was greatly simplified, eliminating also the need for using other commercial programs for data interpretation, such as MATLAB for example. The development of the eGs is an ambitious project that should be continued to include other electric and electromagnetic geophysical methods taking advantage of the interfaces that were already built or adding new interfaces to the program together with new dlls to perform numerical computation.

Introdução

A eGs (electrical GEOPHYSICS suite) é um conjunto de programas destinados à modelagem e interpretação de dados de levantamentos geofísicos pelos métodos elétricos e eletromagnéticos. A suite foi idealizada por Luiz Rijo em 1975 e vem sendo desenvolvida, para fins acadêmicos, desde então. No início, era apenas uma biblioteca de programas individuais denominada EGSLIB (Electrical Geophysics Software Library) escritos em FORTRAN 77 e executados em *mainframes* que utilizavam perfuradoras e leitoras de cartões *Hollerith*.

A partir do surgimento dos computadores pessoais, a EGSLIB passou a ser utilizada junto a outros programas, como, por exemplo, o MATLAB, para auxiliar na entrada de dados e na visualização gráfica dos resultados obtidos na modelagem. Isto implicava que o usuário deveria compreender bem a linguagem de programação do MATLAB e fazer a formatação do texto nos arquivos de dados de entrada para cada tipo de método geofísico elétrico e eletromagnético. Uma das dificuldades maiores era o processo trabalhoso de entrada de dados de

malhas de elementos finitos, amplamente utilizadas nas modelagens bi e tridimensionais.

Para contornar alguma dessas dificuldades foi desenvolvida por Valle (1998) uma interface gráfica em Delphi para entrada de dados de elementos finitos, tendo a janela "Prompt de comando" do DOS como *background*. Com o intuito de facilitar ainda mais a manipulação da EGSLIB pelo usuário, Rijo e Monteiro (2001) desenvolveram a arquitetura da interface gráfica para a escolha dos métodos elétricos e eletromagnéticos e a mudança operacional dos programas da EGSLIB, que passaram de programas FORTRAN, agora na versão 90, para bibliotecas de ligação dinâmica, as dlls (*Dynamic Link Libraries*). Assim, a EGSLIB deu origem à eGs versão 2000, e a tela do DOS desapareceu por completo.

Após a construção da primeira (EGSLIB) e da segunda (eGs 2000) versões, a eGs chegou a sua terceira versão, denominada de eGs 3.0, mantendo o mesmo objetivo das versões anteriores, isto é, um *software* de distribuição livre baseado em um sistema operacional bastante difundido (MS - Windows). Com uma interface gráfica de fácil uso para a escolha do método geofísico elétrico e eletromagnético, edição de dados, criação dos arquivos para modelagem e gráficos para interpretação, sem ter a necessidade de uso de outros programas para visualização gráfica dos resultados. Mas, se o usuário preferir usar o MATLAB, o Mathematica ou qualquer outro programa para visualizar os resultados da modelagem, os arquivos de saída da eGs podem facilmente ser lidos por esses programas.

As duas primeiras versões do projeto tiveram que ser atualizadas e ampliadas, pois a necessidade era fazer uma interface gráfica auto-sustentável e amigável para qualquer tipo de usuário, desde o iniciante até o mais avançado, de modo que a pessoa, ao optar por utilizar a eGs, possa sentir segurança para fazer todas as etapas (edição, modelagem numérica e interpretação) para os estudos geofísicos dos métodos implementados no programa.

Este trabalho é composto basicamente de três partes. Na primeira parte, tem-se uma breve introdução e histórico da eGs. Na segunda parte, é apresentada a estrutura da eGs 3.0. Na terceira e última parte, são mostradas as ferramentas e as facilidades da eGs 3.0 através de três exemplos, sendo o primeiro um caso de inversão 1D de uma SEV Schulumberger, o segundo é a modelagem direta de dados de VLF 2D e o terceiro é simplesmente a demonstração dos recursos gráficos na criação de malhas de elementos finitos para modelos geoeletricos tridimensionais.

A Estrutura da eGs 3.0

Os métodos geofísicos elétricos e eletromagnéticos são amplamente utilizados na prospecção mineral, na exploração de água subterrânea, na indústria de petróleo, em estudos ambientais e, por fim, em levantamentos geotectônicos em escala regional. Uma das principais ferramentas utilizadas para agilizar as atividades de interpretação dos dados observados na exploração por métodos elétricos e eletromagnéticos é, sem dúvida, o computador. Assim, um software amigável, como a eGs 3.0, pode contribuir bastante na hora da interpretação dos dados. Mas, devemos sempre lembrar que o computador é um mero auxiliar, o interprete (geólogo ou geofísico) é o agente principal no processo de qualquer interpretação de dados geofísicos.

Um dos motivos que estimulou o desenvolvimento da eGs com suas interfaces gráficas foi o fato de não haver, no mercado brasileiro, aplicativos de baixo custo, principalmente para estudantes, para modelagem e interpretação de dados geofísicos elétricos e eletromagnéticos. Os excelentes programas no mercado, tanto na aplicabilidade quanto na facilidade de uso, têm valor altíssimo, praticamente proibitivo a professores e alunos. Desse modo, foi criada a eGs com o propósito de auxiliar o ensino dos métodos elétricos e eletromagnéticos nos cursos de graduação e pós-graduação em geofísica e geologia nas universidades brasileiras.

As mudanças mais significativas entre as versões anteriores (EGSLIB e eGs 2000) e a atual (eGs 3.0) estão na aparência, na arquitetura e na atualização de várias dlls em FORTRAN 90 para FORTRAN 95. Na estética do programa foram alterados: o ícone, a tela de apresentação, o menu, a janela de escolha do método e as janelas dos dados do modelo geoeletrico e dados observados. A estrutura da eGs foi repensada para facilitar a interatividade do usuário com o programa, com isso ocorreram ampliações nas opções para geração de gráficos (curvas, mapas de contorno e pseudo-seções), construção e visualização de modelos geoeletricos 2D e 3D, mudanças na maneira de editar e acessar os arquivos, e conseqüentemente, foi acrescentado um formulário chamado de seleção e o arquivo de ajuda. Em

outras palavras, a terceira versão é praticamente um novo programa quando comparado às duas primeiras versões.

Para facilitar a distribuição e obtenção da eGs 3.0, fez-se um arquivo de instalação do aplicativo que possui todos arquivos necessários ao bom funcionamento do programa em apenas um pacote. Desse modo, o usuário não precisa ter nenhum programa de compactação de arquivos instalado no computador e evita cometer o erro de salvar a eGs em diretório não aceito. A eGs 3.0 e o manual de uso são distribuídos através do site de Luiz Rijo cujo endereço é www.rijo.pro.br. O manual, assim como a eGs propriamente dita serão periodicamente atualizados com sugestões dos usuários e com implementação de novos métodos àqueles não ativados na eGs 3.0. É importante informar que a eGs é um software livre, ou seja sem fins lucrativo, portanto a colaboração dos usuários através de sugestões é de suma importância para melhorar o desempenho do aplicativo.

Após ter inicializado a eGs, depois de sua instalação, aparecerá na tela do monitor uma imagem dinâmica de quatro segundos, que é a tela de apresentação da eGs (Figura 1).

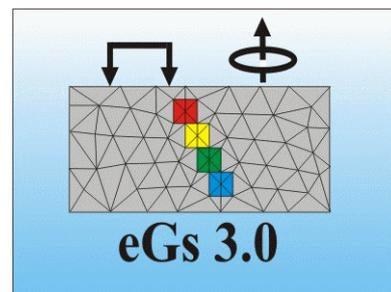


Figura 1: Tela de apresentação da eGs 3.0

Observa-se em seguida três janelas que compõem a tela principal do programa, como mostra a Figura 2. Assim, ao iniciar o funcionamento da eGs pode ser visto as janelas: "eGs 3.0" (parte superior da tela), "Métodos" (lado esquerdo superior) e "Seleção" (lado esquerdo inferior).

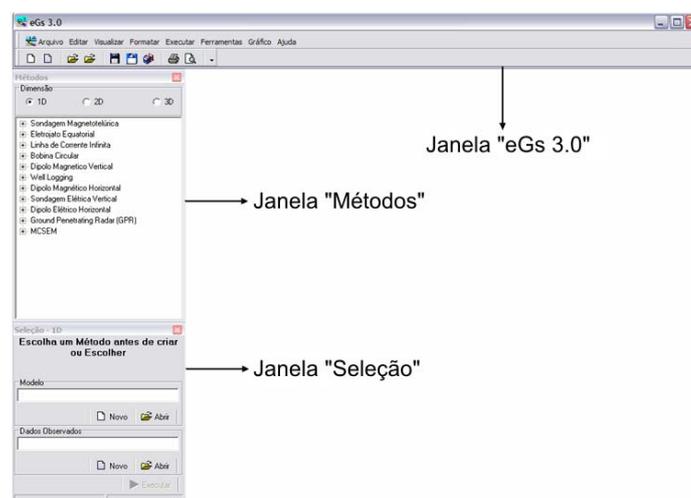


Figura 2: Aplicativo eGs 3.0

A janela “eGs 3.0” é formada por um menu e uma barra de ferramentas, onde o usuário tem acesso a opções para a manipulação dos arquivos e pode fechar ou abrir todas as janelas existentes no programa. A janela “Métodos” tem a finalidade de disponibilizar ao usuário a escolha, a partir da dimensão 1D, 2D ou 3D, o método que se deseja usar no problema direto ou inverso. No momento, nem todos os métodos estão ativados, pois a eGs é ampla e de longa duração de desenvolvimento, portanto muitos outros métodos serão ativados nas futuras versões. A lista hierárquica gráfica de métodos é fundamental para facilitar a escolha do método EM para que o usuário ao utilizar o aplicativo não ultrapasse nenhuma das etapas do processo de escolha, pois primeiramente deve ser determinada a dimensão, depois a aplicação geofísica e por último o tipo de problema: direto ou inverso. A hierarquia dos métodos na janela “Métodos” foi feita de acordo com ordem posta em Rijo (1992). A janela “Seleção” é união de todos os comandos que o usuário pode fazer após a escolha do problema direto ou inverso, facilitando o acesso à escolha do tipo de arquivo, o qual se deseja editar ou abrir, e simplificando a execução da modelagem numérica. Todos os botões existentes em “Seleção” estão nesta janela por questão de comodidade para o usuário, pois eles se encontram também no menu.

Exemplos

Para mostrar a aplicabilidade da eGs serão mostrados três exemplos: o primeiro é a inversão 1D de uma SEV Schumberger, o segundo é uma modelagem direta de dados de VLF 2D e o terceiro a criação de *modelos geoeletricos* 3D.

Para efetuar a inversão 1D de uma SEV Schumberger na eGs, deve-se em primeiro lugar ter dados observados de campo ou simulado sinteticamente. Neste exemplo, serão usados dados sintéticos gerados através da modelagem direta utilizando um modelo geoeletrico, cujos valores foram editados na janela “Modelo” para aplicações geofísicas em uma dimensão (Figura 3). A janela “Modelo” na eGs tem a função de representar o modelo geoeletrico de um meio estratificado, onde são declarados os valores de resistividade e espessura das camadas. Os métodos das sondagens elétricas verticais Schlumberger, Wenner e Dipolo-Dipolo, entre outros, usam a janela simplificada, ilustrada na Figura 3. A janela padrão, mais geral, contém a opção *permeabilidade* para editar a permeabilidade magnética relativa de cada camada, no caso dos métodos aplicados a exploração mineral. Nas sondagens elétricas as camadas são, em geral, não magneticamente permeáveis.



Figura 3: Janela “Modelo” para edição de um modelo geoeletrico teórico em camadas estratificadas

Para gerar *dados observados* sintéticos é necessário clicar no botão *Executar*, o qual se encontra na janela “Seleção”. O menu possui um item chamado *Executar*, como mostra a Figura 4, nele existem as escolhas de criar *dados observados* sintéticos com gráfico ou sem gráfico.

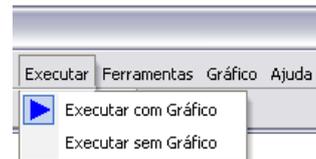


Figura 4: Item *Executar* com a escolha de fazer a modelagem numérica e mostrar o resultado através de gráficos.

Para fazer a inversão 1D na eGs 3.0, deve-se, em primeiro lugar, informar o modelo inicial na janela “Modelo”, como mostra a Figura 5.(a), e fornecer os dados de observações, que neste exemplo foram gerados sinteticamente, na janela “Dados Observados” (Figura 5.(b)). A janela “Dados Observados” tem a função de ler, editar e salvar arquivos que representam os *dados observados* de campo ou simulados. Para contemplar todos os diferentes métodos EM, há duas formas de edição de *dados observados*: por tabelas e por pseudo-seções. O tipo tabela é semelhante ao descrito anteriormente pela janela “Modelo”. O tipo de pseudo-seções são perfis de levantamento na superfície.

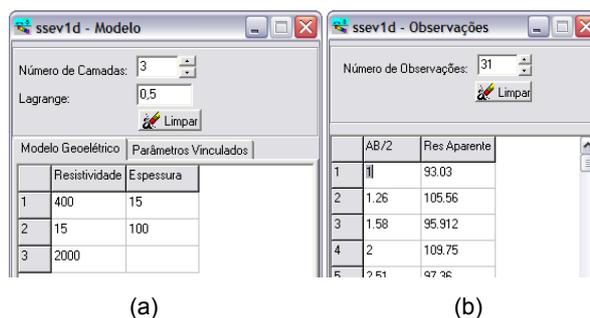


Figura 5: (a) Janela “Modelo” editada com um modelo geoeletrico inicial para Inversão (b) Janela “Dados Observados” editada com *dados observados* sintéticos.

Depois de editados os *dados observados* e os dados do modelo geoeletrico inicial (first guess model) basta clicar no botão *Executar* para o programa fazer a inversão e apresentar as curvas da resposta do modelo geoeletrico estimado e das observações em uma janela chamada “Gráfico”, como é ilustrado na Figura 6. A janela “Gráfico” contém opções para visualizar a resposta do modelo e compará-la aos dados observados (dados de campo ou sintéticos), visualizar os gráficos em escala linear ou logarítmica, visualizar os gráficos em uma mesma janela ou em janelas separadas, entre outras.

Para fazer a comparação entre o modelo geoeletrico estimado, o modelo geoeletrico inicial e o modelo geoeletrico sintético (no caso de dados sintéticos), a janela “Gráfico” gera a Figura 7. Quando os dados observados são de campo, o modelo sintético não é traçado.

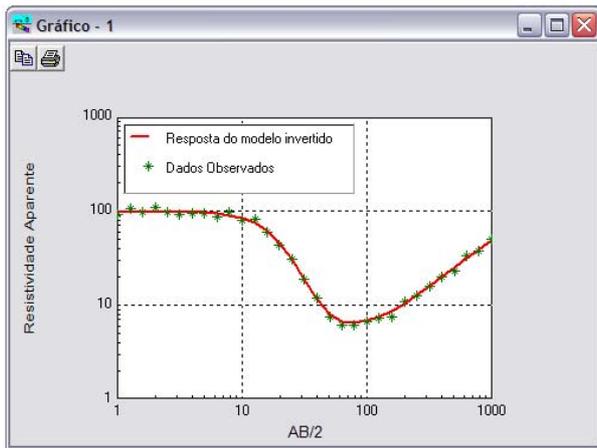


Figura 6: Gráfico gerado a partir de dados observados sintéticos e da resposta do modelo geológico invertido.

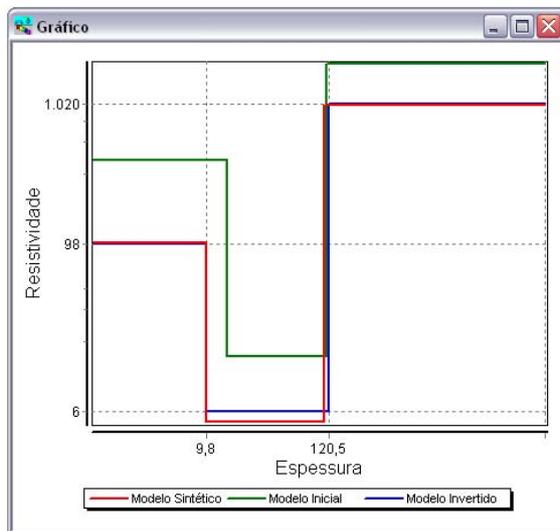


Figura 7: Gráfico para comparar o modelo geológico invertido, o modelo geológico inicial e o modelo geológico sintético (para observações são simuladas).

No próximo exemplo será mostrada a interface para construção de modelos geológicos bidimensionais e a interface para apresentação da resposta do modelo através de gráficos de curvas. As interfaces serão apresentadas através de um exemplo de modelagem 2D feita com o método VLF (Very Low Frequency). O modelo geológico consiste em um sistema de fraturas verticais de 1 m de espessura e de extensão infinita. A resistividade da rochas (metamórficas) encaixantes é 5000 $\Omega.m$ e a resistividade do sistema de fraturas é 1 $\Omega.m$ (fraturas preenchidas por argilas ou água salgada). A profundidade do topo do sistema de fraturas é de 10 m.

A Figura 8 mostra a janela "Modelo" para aplicações geofísicas em duas dimensões. Os modelos geofísicos bidimensionais da eGs são processados através do algoritmo dos Elementos Finitos cuja malha é subdividida em várias células retangulares (na verdade são duas células triangulares que juntas formam um retângulo). Cada uma dessas células representa uma pequena região com propriedade física constante, e que na interface gráfica é representada por um retângulo de cor

constante. A interface contém ferramentas para ajudar o usuário modificar as características físicas e geométricas do modelo, tais como número e tamanho das células, cores das células, valores de propriedades físicas (resistividade, permeabilidade magnética relativa ou PFE) associadas a cada cor, além de ferramentas para edição das cores das células de acordo com a complexidade da geologia que se deseja modelar.

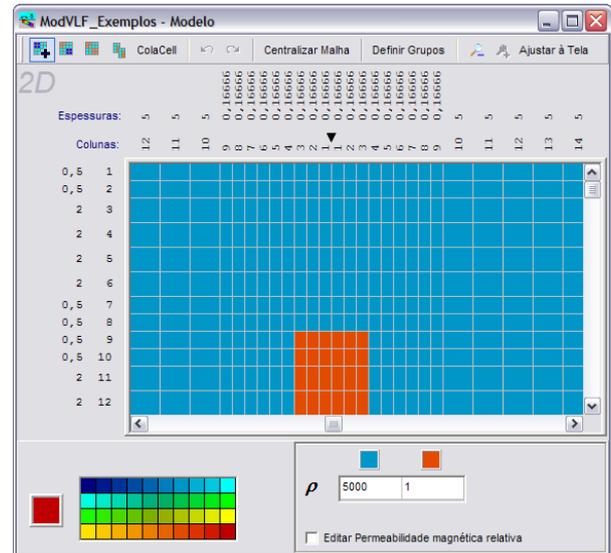


Figura 8: Janela usada para editar modelos bidimensionais.

Assim como no caso 1D, a eGs 3.0 possui em 2D a apresentação da curva da resposta do modelo geológico (linha vermelha) e das observações (asteriscos verdes) em uma janela chamada "Gráfico", como é ilustrado na Figura 9.

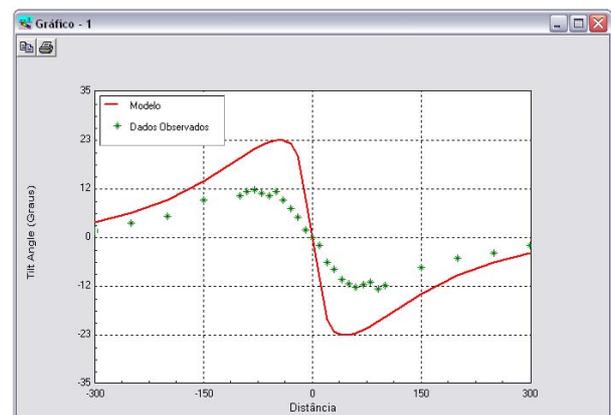


Figura 9: Janela usada para apresentar a resposta do modelo geológico e/ou os dados observados através de gráficos de curvas.

Agora será mostrada a facilidade de criação de modelos geológicos tridimensionais. A eGs 3.0 permite editar modelos geológicos 3D de uma maneira bastante simplificada, bastando para isso editar seções bidimensionais, transversais ao *strike* da estrutura geológica, que representam, cada uma delas um grupo de fatias do modelo geológico tridimensional. Embora

seja simples e conveniente entrar com os dados do modelo, esta forma de edição quase sempre torna difícil a visualização espacial do modelo por completo. Essa dificuldade é contornada quando se usa a visualização do modelo geológico em uma figura tridimensional. Para ilustrar a preparação de um modelo geológico, será apresentada, a seguir, a edição de dois exemplos. O primeiro deles corresponde ao método geofísico MCSEM (Marine Control Source ElectroMagnetic) empregado na exploração de petróleo em águas profundas, enquanto que o segundo modelo é típico na área de prospecção mineral.

No primeiro exemplo, o modelo geológico é constituído por 37 fatias que formam três grupos representados por três seções bidimensionais distintas. As Figuras 10 e 11 ilustram o modelo geológico na janela "Modelo". A Figura 10 representa a primeira e a terceira seção do modelo geológico (o azul claro representa a lâmina d'água do mar e o azul mais escuro representa os sedimentos no fundo do mar) enquanto que a Figura 11 mostra a segunda seção contendo o reservatório de petróleo.

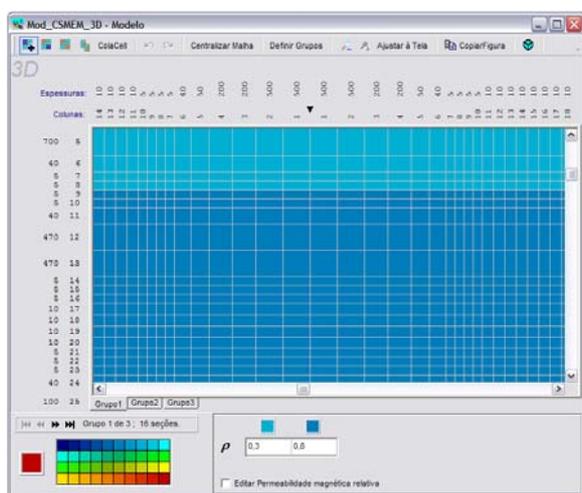


Figura 10: Primeira seção do primeiro modelo geológico 3D na janela usada para editar modelos. A terceira seção é análoga.

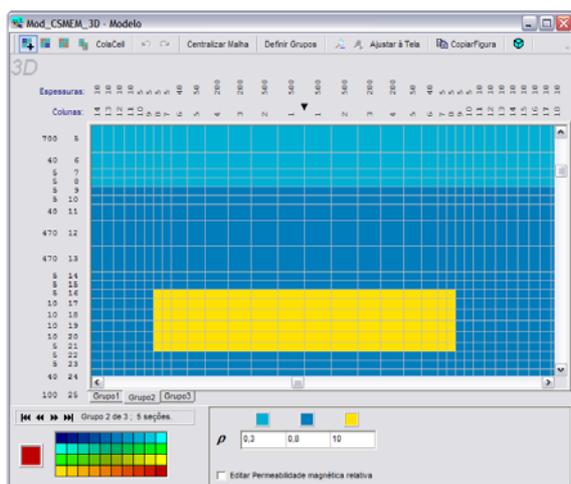


Figura 11: Segunda seção do primeiro modelo geológico 3D na janela "Modelo".

Para ter uma melhor visualização do modelo geológico, basta acionar a opção para visualização em 3D. A Figura 12 mostra um exemplo desta opção, em que as células da primeira camada e da rocha encaixante (células de cor azul e azul claro) ficaram transparentes. Nesta janela, o usuário pode optar por visualizar o interior do modelo através de cortes ou visualizar somente as células de cores previamente escolhidas (é o caso da Figura 12). Além disso, o usuário pode escolher qual intervalo do modelo será visualizado e também girar o modelo para ter um melhor controle sobre a sua geometria.

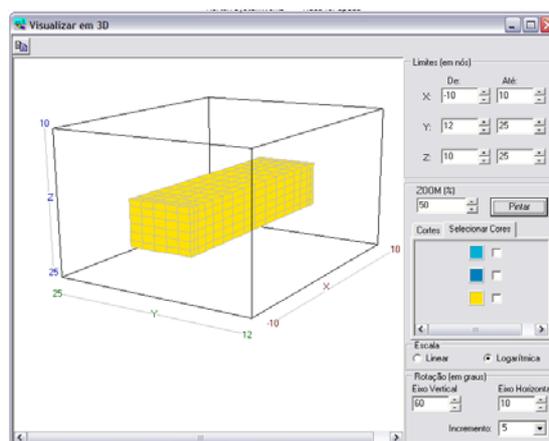


Figura 12: Visualização do primeiro modelo geológico 3D numa figura tridimensional.

O segundo exemplo é representado pelo modelo geológico 3D mostrado abaixo. A Figura 13, a Figura 14 e a Figura 15 ilustram o modelo geológico na janela "Modelo". O modelo geológico é formado por 50 fatias distribuídas em grupos caracterizados por cinco seções bidimensionais. A Figura 13 representa a primeira e a quinta seção do modelo geológico (a cor verde representa o manto de intemperismo e a cor azul corresponde às rochas do meio encaixante), a Figura 14 representa a segunda e a quarta seção (mostra a parte externa do corpo de minério), enquanto que a Figura 15 representa a terceira seção (mostra a parte interna do corpo de minério).

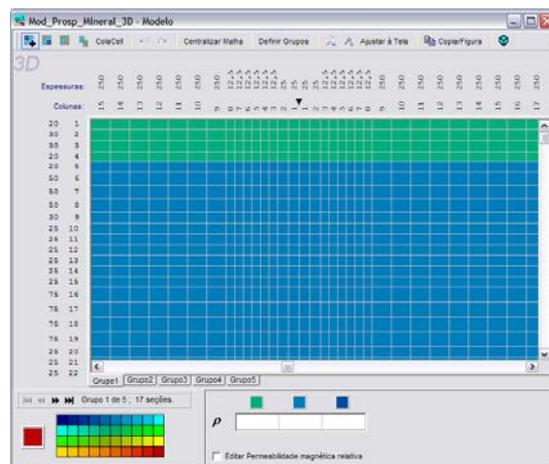


Figura 13: Primeira seção do segundo modelo geológico 3D na janela "Modelo". A quinta seção é análoga.

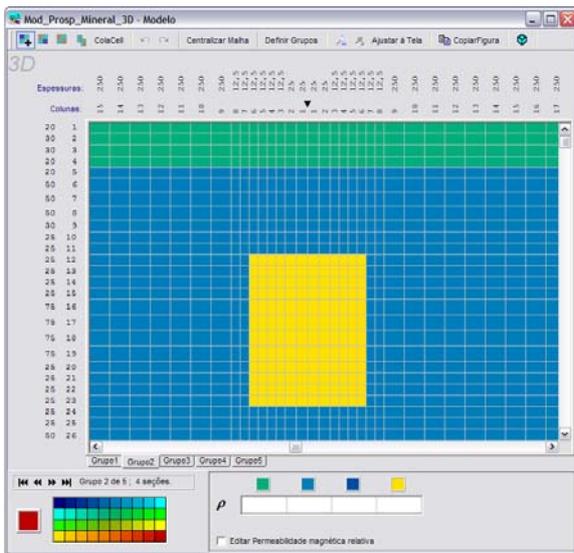


Figura 14: Segunda seção do segundo modelo geoeletrico 3D na janela "Modelo". A quarta seção é análoga.

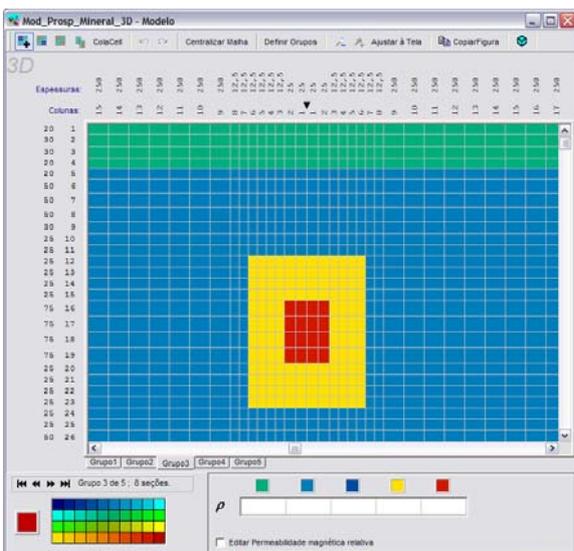


Figura 15: Terceira seção do segundo modelo geoeletrico 3D na janela "Modelo".

A Figura 16 exibe o modelo geoeletrico em uma visualização tridimensional. Neste caso não será usada a opção para deixar algumas células transparentes, e sim serão feitos cortes perpendiculares aos eixos x , y e z , para visualizar o interior do modelo.

Conclusões

O mercado brasileiro é carente de programas de baixo custo para interpretação de dados geofísicos elétricos e eletromagnéticos de campo, principalmente para o meio acadêmico onde os recursos são, em geral, escassos. A fim de possibilitar aos alunos dos cursos de geologia e de geofísica o acesso a um software de distribuição livre, de fácil uso e independente de programas comerciais vem sendo desenvolvida a eGs.

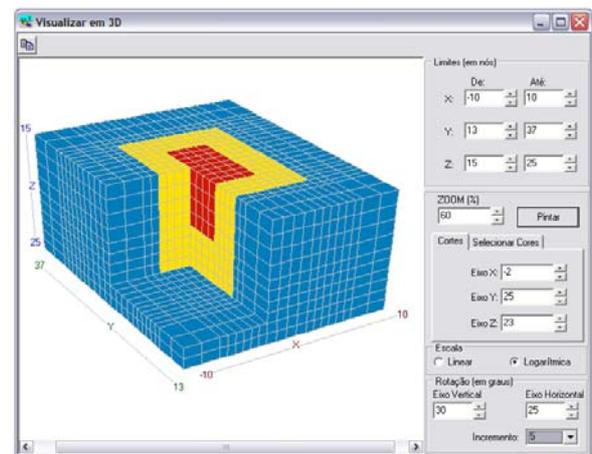


Figura 16: Visão tridimensional do segundo modelo geoeletrico 3D através de cortes perpendiculares aos eixos.

Ela possibilita inserir dados no computador, fazer a modelagem numérica e a visualização para interpretação em um tempo consideravelmente pequeno, se comparado ao mesmo serviço feito antes da sua criação. Como já foi dito antes, a eGs 3.0 se destina, principalmente, ao meio acadêmico como um complemento ao ensino das disciplinas dos métodos elétricos e eletromagnéticos nos cursos de graduação e pós-graduação em geologia e geofísica, e também para auxiliar nos trabalhos de conclusão de curso (TCC) e dissertações de mestrado.

Longe de ser um programa totalmente acabado, a eGs pode ser gradativamente ampliada para atender a outros métodos geofísicos elétricos e eletromagnéticos além dos que já estão implementados na suite no momento, aproveitando, em muitos casos, as interfaces que já estão disponíveis no programa. Este é um projeto a longo prazo e que deverá ser continuado ao longo dos anos como qualquer outro tipo de software.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto da eGs (Processo 473.622/2003-5) e pela concessão de bolsa de Mestrado ao Glauco L. Pereira e ao Rodrigo E. C Silva. Também, ao PRH/ANP-06 por auxiliar na infra-estrutura física e computacional do PROEM (Laboratório de Processamento Eletromagnético do CG/UFGA).

Referências bibliográficas

- CANTÙ, M., 2002. Mastering Delphi 6. San Francisco, Sybex. 1071 p.
- LUIZ, J. G. & SILVA, L. M. C., 1995. Geofísica de Prospecção. Belém. Editora Universitária, 311 p.
- MONTEIRO, H. D. M., 2001. Interface gráfica para pré e pós-processamentos de dados elétricos e eletromagnéticos em geofísica. Belém, UFPA. 56 p. (Dissertação de Mestrado)
- RIJO, L., 1992. Notas de aula do Curso de Pós-Graduação em Geofísica, UFPA. Belém (www.rijo.pro.br).
- Valle, R., 1998. Relatório PROINT de Iniciação Científica, UFPA.