



Interface Gráfica em MATLAB® para o método MCSEM 1D

Thelson Luiz P. de Almeida, Victor Cezar T. de Souza, UFPA, Brazil

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th International Congress of The Brazilian Geophysical Society 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

The Marine Controlled Source Electromagnetic (MCSEM) is a geophysical method originally improved for deepwater studies. This method has been used to detect and appraise hydrocarbon reservoirs based on the resistivity variations. This work was made an interface graphic user to MCSEM using the MATLAB® software to 1D horizontally stratified subsurface. Beginning from the calculus of the total electromagnetic fields and their components on the FORTRAN program, show, to analysis and comparison, the behavior of the electric and magnetic fields to a different layers on subsurface. The user will be able to choose a few subsurface reference models, which already has their properties defined before to make his analysis or will be able to create his own subsurface models, defining some properties of the each layer as resistivities or thickness, which will be used to the field's calculus. Then the user will be able to visualize the layers model with their parameters for many frequencies and position of both transmitters and receivers. The user also can modify and save it with shape and name as desire, allow the calculus of electric and magnetic fields, note the amplitude and phase of the fields and assay the changes on fields to several subsurface, which can or not has a hydrocarbon reservoir.

Introdução

A sismica de reflexão há anos é utilizada como principal ferramenta geofísica no que diz respeito à localização de estruturas reservatório em águas profundas. Contudo, algumas limitações lhe surgem quando se trata de definir, por exemplo, se o reservatório armazena óleo ou gás associado a água. Segundo (THIRUD, 2002), aproximadamente 90% dos reservatórios de hidrocarbonetos, detectados por tecnologia sísmica, são preenchidos por água salina, ou seja, existe um risco muito grande em termos de ambiguidade na localização de hidrocarboneto. Por isso, algumas técnicas em outros métodos geofísicos vêm sendo desenvolvidas com a finalidade de auxiliarem a sísmica a diminuir os riscos para exploração como, por exemplo, o método eletromagnético marinho de fonte controlada.

Há alguns anos, começou-se a utilizar um método eletromagnético de fonte controlada que é capaz de

detectar as variações de condutividade elétrica em águas profundas, o *Marine Controlled Source Electromagnetic – MCSEM*.

Este método consiste em um transmissor de sinal eletromagnético do tipo dipolo elétrico horizontal (DEH) posicionado a alguns metros acima do assoalho oceânico com a finalidade de produzir uma energia sobre as rochas do leito marinho, como mostra a Figura 1. O campo primário gerado inicialmente pelo transmissor induz um campo secundário oriundo da subsuperfície, as componentes elétricas e magnéticas deste campo são registradas por um conjunto de receptores dispostos sob o solo oceânico. Estes registros são combinações das energias propagadas através da coluna de água, das camadas do assoalho oceânico e no ar os quais serão processados de forma a se converterem o sinal em amplitude e fase, como uma função do *offset* fonte-receptor e frequência, a qual normalmente se encontra na faixa de 0.1 a 10 *Hertz*. Assim os campos eletromagnéticos medidos nos receptores possui informação da resistividade elétrica no substrato oceânico e, em última análise, dos fluidos nos poros das rochas (ARCHIE, 1947).

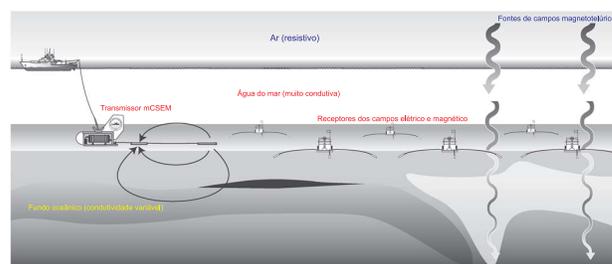


Figure 1: Representação esquemática do método MCSEM. Um transmissor eletromagnético, localizado próximo ao fundo do mar gera campos eletromagnéticos que interagem com a subsuperfície. As respostas desta interação, produzidas pelas rochas em subsuperfície, são registradas pelos instrumentos depositados no fundo do oceano. Fonte: Constable e Srnka (2006).

As medidas de resistividade elétrica podem ser usadas para distinguir fluidos, haja vista que reservatórios com hidrocarbonetos (HC) são de um a três vezes mais resistivos, se comparados aos reservatórios salinizados (ARCHIE, 1950). Atualmente, a resistividade elétrica de uma subsuperfície marinha é comumente obtida por meio da aquisição de testemunho do poço de produção. Porém, esse método é consideravelmente limitado tendo em vista que adquire informações muito pontuais, ainda que diretamente, além possui custos elevados em ambientes de águas profundas (EIDSMO. et al., 2002).

Como o método MCSEM é uma técnica relativamente recente e, portanto, sob processo de aprimoramento, existem vários códigos de programação, feitos em diferentes linguagens, que utilizam a teoria do método tendo como finalidade o desenvolvimento da técnica. Logo, considerou-se relevante, tanto para a indústria quanto para o meio acadêmico, a construção de uma ferramenta que possibilite, de forma mais amigável, a interação do usuário com um programa que utilize essa metodologia. Portanto, sem precisar utilizar o prompt de comando para compilar ou mesmo possuir o código do programa para as modificações dos parâmetros usados para os cálculos dos campos, o usuário poderá realizar suas análises de forma mais rápida.

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a confecção de uma interface gráfica usuário, utilizando o software MATLAB® (MATLAB, 2012). A finalidade é facilitar a visualização do comportamento dos campos elétricos e magnéticos, calculados por intermédio de programa FORTRAN, para quaisquer das geometrias de aquisição (*In-line* e *Broadside*) e para diferentes modelos unidimensionais subsuperfícies definidas pelo próprio usuário.

A interface disponibiliza relativa liberdade de criação de modelos de camadas planas e horizontais, permitindo que o próprio usuário defina algumas de suas propriedades, como resistividade e espessura das camadas. Ademais, alguns modelos de referência foram embutidos ao código da interface apenas para visualização, parte deles relacionados a subsuperfícies que apresentam reservatório com hidrocarboneto. O usuário poderá salvar seus modelos e criar um banco de dados para estudar como os campos eletromagnéticos se comportam em ambientes diferenciados. Além disso, o usuário poderá determinar algumas características da análise como, por exemplo, a profundidade do transmissor, posição dos receptores e o número de frequências para as quais os cálculos dos campos serão efetuados.

O interessante é que a quantidade de camadas do modelo criado, com suas respectivas espessuras e resistividades sejam enviadas ao programa em FORTRAN, o qual realizará todos os cálculos necessários e, em seguida, disponibilizará os resultados para apresentação em MATLAB.

O Método MCSEM

O método de aquisição de dados MCSEM (Marine Controlled Source Electromagnetic) é uma ferramenta para exploração de hidrocarbonetos, utilizada em levantamentos geofísicos realizados em águas profundas e ultraprofundas porém, existem relatos de a mesma técnica ser utilizada em levantamentos terrestres na Rússia e na China (STRACK; ESMERSOY; ALLEGAR, 2007). A ideia consiste em posicionar um dipolo elétrico horizontal (DEH) em uma determinada profundidade abaixo da superfície da água e próximo ao fundo do mar, com a finalidade de gerar um sinal eletromagnético (EM) de baixa frequência que energizará as camadas do assoalho oceânico excitando conjuntamente os modos de propagação TE e TM (EIDESMO. et al., 2002), ou seja, os modos transversais de polarização elétrico e magnético respectivamente.

Além do dipolo elétrico, um arranjo de receptores dos campos eletromagnéticos é posicionado no fundo do mar. Em um levantamento geralmente são tomadas pelo menos duas possibilidades de disposição relativa entre fonte e receptores, estas são comumente denominadas de geometria inline e broadside. Como mostrado na Figura 2, quando o dipolo elétrico horizontal está posicionado na mesma direção que o arranjo de receptores (Azimute fonte/receptor igual a 0°) e é deslocado na direção do seu próprio eixo, tem-se a geometria denominada de radial ou inline. De outra forma acontece quando o DEH está disposto perpendicularmente em relação a direção de posicionamento dos receptores (Azimute fonte/receptor igual a 180°), tem-se então a geometria broadside.

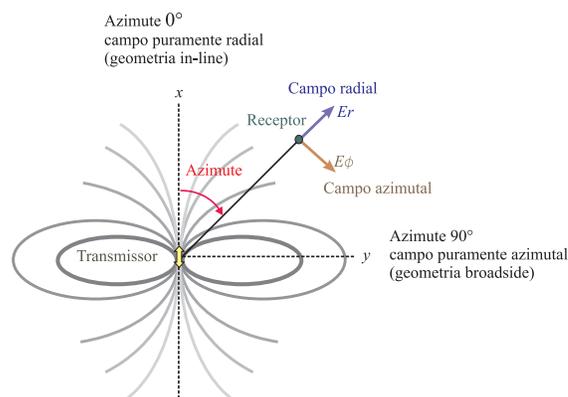


Figure 2: Geometria dos campos do método MCSEM. Ao longo do eixo do transmissor, o campo é puramente radial - geometria inline. Ao longo do eixo perpendicular ao transmissor, o campo é puramente azimutal - geometria broadside. Fonte: Weiss e Constable (2006).

Devido o sinal eletromagnético emitido pela fonte ser de natureza tridimensional, ocorre um espalhamento da energia através da subsuperfície em todas as direções e, como consequência, o campo eletromagnético é distorcido por possíveis heterogeneidades espalhadoras no meio encaixante. Com isso, o sinal registrado nos receptores se compõe de uma combinação de energia eletromagnética oriunda do sinal que percorre a trajetória fonte-receptor, do sinal que sofreu o espalhamento na coluna de água, no ar e nas camadas subsequentes ao fundo oceânico e das heterogeneidades. Essas informações obtidas são utilizadas para estimar a real distribuição de resistividade na subsuperfície por intermédio de técnicas de inversão e migração além de outros tipos de análises numéricas.

Em um levantamento marinho CSEM, uma fonte eletromagnética do tipo dipolo elétrico horizontal (DEH), é posicionada um pouco acima do fundo oceânico - cerca de 20 a 40 metros - emitindo continuamente um campo EM direcionado à subsuperfície. Para o registro de dados, receptores são dispostos no assoalho do fundo do mar, espaçados adequadamente conforme representado pela Figura 3.

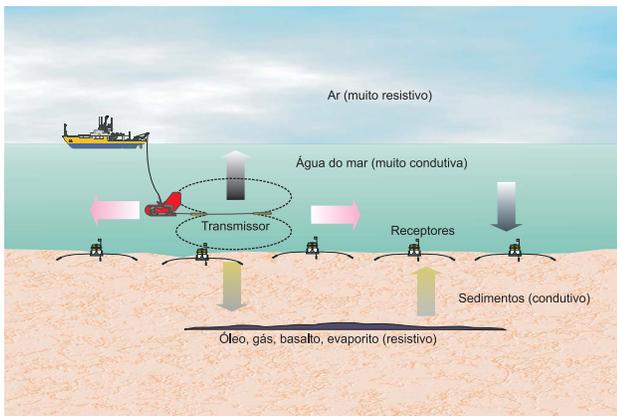


Figure 3: Elementos utilizados na aquisição de dados MCSEM. Dipolo elétrico horizontal posicionado alguns metros acima do fundo do mar. Receptores eletromagnéticos dispostos sobre o assoalho oceânico. Fonte: SOUZA (2007).

Contudo, ocorrem atenuações do campo EM as quais dependem, principalmente, da frequência com a qual o sinal foi emitido pela fonte, e dos diferentes valores de resistividade das camadas em subsuperfície. Como os dados registrados pelos receptores decorrem do espalhamento geométrico do campo EM, é razoável que esse fenômeno precisa ser maior que o nível de ruído e, para que isso ocorra, faz-se conveniente que a frequência e a corrente com as quais o sinal foi emitido sejam bem definidas, assim como sua forma de onda.

Usualmente, utilizam-se amplitudes de correntes acima de 1300A e comprimento da fonte EM variando entre 150 e 350 metros. Experimentalmente, sabe-se que frequências no intervalo de 0.1 a 3 hertz (Hz) são capazes de mapear alvos com até 3000 metros de profundidade abaixo do assoalho oceânico (HESTHAMMER; STEFATOS; BOULAENKO, 2010). As resoluções espaciais dos dados EM são limitadas, principalmente, pela amplitude do sinal, frequência, espaçamento fonte/receptor e o nível de ruído.

As respostas anômalas registradas pelos receptores correspondem a um possível material com resistividade diferenciada se comparada com a dos materiais adjacentes. Essa observação é feita a partir do momento que se adota como base um determinado registro de resistividade em um específico receptor, tomado como receptor de referência, fazendo-se o mesmo processo para cada linha de aquisição realizada.

Para cada linha de aquisição de dados MCSEM é necessário estabelecer o receptor de referência e um offset entre fonte e receptor. Todos os receptores restantes são normalizados em relação ao receptor base, para a mesma frequência e mesmo offset. Os receptores são posicionados levando em consideração a magnitude da normalização em relação ao seu offset e, desta forma, pode-se identificar as áreas com maior variação de resistividade ou maior resposta de anomalia normalizada. Ou seja, se um receptor registrar uma anomalia de magnitude maior do que aquela registrada pelo receptor base, significa que o valor registrado pelo primeiro receptor corresponde a um valor alto de resistividade, o que não acontecia no registro do segundo. Esta

anomalia no registro pode está ligada a presença de um reservatório com hidrocarboneto ou qualquer outro material bastante resistivo como, por exemplo, folhelhos, arenitos cimentados, carbonatos ou basaltos.

Quando uma fonte eletromagnética emite um sinal em direção a subsuperfície, as diferentes propriedades das camadas promovem variações nesse sinal as quais serão registradas pelos receptores localizados no assoalho oceânico. Caso haja, em subsuperfície, uma camada que seja bastante resistiva em relação as adjacentes, essa camada faz com que as reflexões registradas, quando amostradas, apresentem um comportamento decadente mais suave se comparado a um sinal medido em decorrência de uma subsuperfície sem reservatório. A Figura 4 apresenta um esquema envolvendo a aquisição de dados e as respostas correspondentes a determinados modelos de subsuperfícies e a comparação desses sinais, através da sua normalização, a qual representa o quanto uma resposta é maior que a outra, quando uma é dividida pela outra.

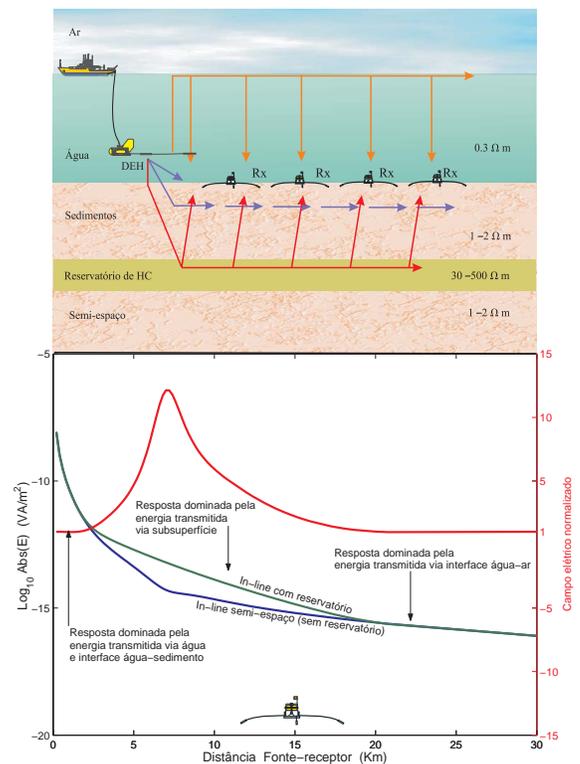


Figure 4: Análise das respostas do método MCSEM. No topo esta ilustrado um típico modelo 1D. Respostas *in-line* para a subsuperfície com reservatório (linha verde) e sem reservatório (linha azul). O campo elétrico normalizado é obtido dividindo as magnitudes do campo elétrico para o modelo com reservatório pelo modelo sem reservatório (linha vermelha). Fonte: Souza (2007).

Interface Gráfica

Interface gráfica é o conjunto de ambientes planejadamente dispostos, sejam eles físicos ou lógicos, que visa fazer uma adaptação entre dois sistemas para se obter certo fim, cujo resultado é composto

de partes dos dois sistemas. Este trabalho se utiliza para a construção do objeto gráfico mcsem1D de duas ferramentas distintas: MATLAB e FORTRAN. Cada um possui suas respectivas funções, cada uma com total importância para o desempenho da outra.

Utilizou-se o software MATLAB para a edição de todo o layout da interface por intermédio da ferramenta de design de ambientes *graphical user interface development environment - guide* que permite a criação e edição de interface interativamente. Esta componente do matlab oferece todos os objetos gráficos, com suas respectivas propriedades, as quais podem ser utilizadas durante a criação de uma interface. A modificação destas propriedades por linha de programação definirá a função específica de cada objeto. Estabelecendo o layout da página e as funções de cada objeto gráfico, tem-se um ambiente interativo como resposta, como mostrado na Figura 5.

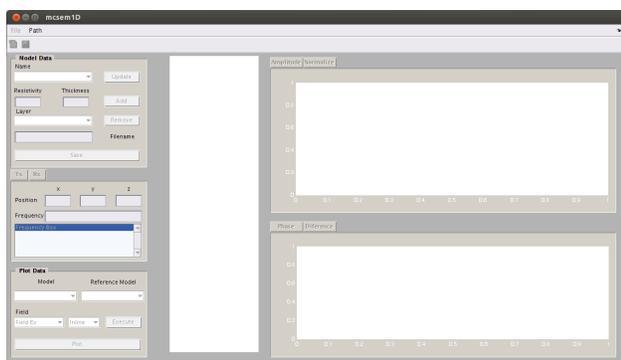


Figure 5: Layout inicial da interface gráfica mcsem1D com todos os objetos gráficos que serão utilizados e visualizados pelo usuário. Fonte: Elaborado pelo Autor

Na figura anterior temos na região superior esquerda a barra de menu. Logo Abaixo das barras de atividades estão os três painéis de edição em coluna e ao lado deles os três eixos de exibição.

Os valores digitados pelo usuário nas caixas de diálogo, que forem salvados, ficarão armazenados em arquivos com a extensão "csem" em formato específico para a leitura do segundo sistema do processo. O programa em linguagem FORTRAN é o segundo sistema responsável pela leitura dos arquivos "csem". Cada linha do arquivo criado pelo usuário funcionará como valores de entrada para o programa, o qual se encarregará de realizar todos os cálculos, para qualquer geometria de aquisição, das três componentes dos campos elétricos e magnéticos para quaisquer valores de: posição da fonte, posição do receptor, frequência, número e intervalo de medidas.

Usando a interface mcsem1D

Ao inicializar a interface gráfica os objetos estão todos inativos, com exceção do elemento Path. Isso acontece propositalmente para que o usuário defina o seu diretório de trabalho, ou seja, informe ao sistema o local onde estão seus modelos antigos ou para onde deseja enviar aquele que criará. Veja a Figura 6 a qual representa a forma como definir o local de armazenamento dos modelos de camadas *csem*.

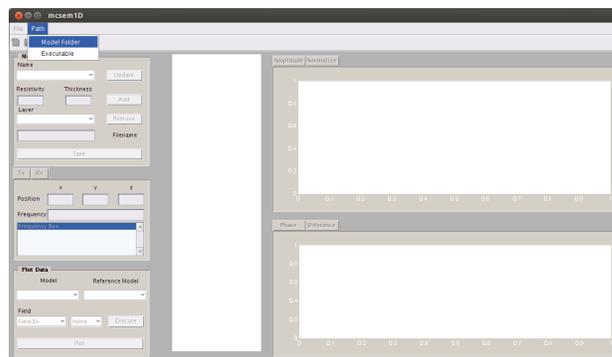


Figure 6: Layout inicial da interface gráfica mostrando atividades primordiais para a utilização da mcsem1D. Neste caso, definição dos Paths de trabalho. Fonte: Elaborado pelo Autor

Como é constatado na figura anterior, após o usuário clicar no botão Path lhe aparecem opções secundárias de definição. A primeira, Model Folder, é específica para a localização de modelos antigos ou futuros. Clicando nesta opção, abre-se uma caixa de diálogo para a definição do diretório, como mostrado na Figura 7.

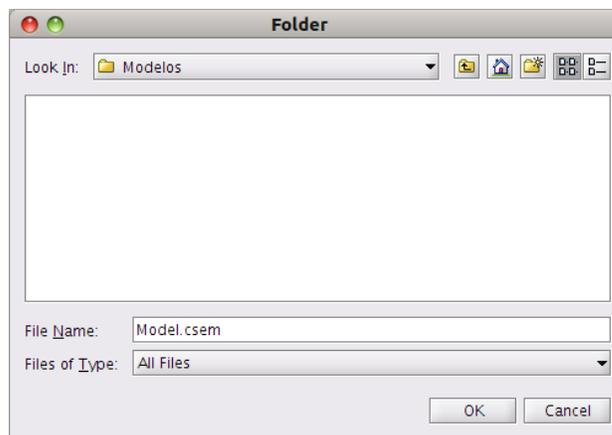


Figure 7: Caixa de diálogo para a definição da pasta onde há modelos csem ou para onde serão enviados aqueles que o usuário criará. Fonte: Elaborado pelo Autor

Quando o usuário selecionar a pasta de trabalho, o sistema verificará se há ou não modelos csem neste diretório. Caso haja, uma lista de modelos é construída e armazenada no popup Name, caso não haja nenhum modelo antigo o mesmo popup recebe a informação de No*.csem. Após a seleção da pasta de modelos, o usuário deverá definir o diretório onde está o seu arquivo executável. Para isso, outra caixa de diálogo é mostrada exatamente como se fez durante a definição do Model Folder. O sistema verificará se no diretório escolhido existe ou não executável compatível com a interface. Caso não haja, o sistema informará que essa atividade ainda não foi efetuada com sucesso e, portando, terá de ser refeita.

Ao selecionar o diretório do executável, os objetos da interface são ativados e já podem ser utilizados. Por didática, preferiu-se escolher um diretório que não

houvesse arquivos **.csem**. Assim, faz-se necessário a criação de modelos com suas propriedades e, dessa forma, dá-se continuidade a apresentação da interface.

Para a criação de modelos existem duas formas: por meio do pushbutton **New Model** ou o pushbutton **New**, dentro do **File**. Desta forma, inicia-se a criação de novos modelos. A partir de então, o usuário precisará definir os valores de resistividade (**Resistivity**) e espessura (**Thickness**) de cada camada acrescentada. Quando o usuário digitar os valores de resistividade e espessura, tem-se que clicar no botão **adicionar (Add)** para que a primeira camada seja criada. Conforme o usuário cria suas camadas, o popup **Layer** sofrerá atualizações e informará o número de camadas criadas até o momento.

Após a criação de um modelo de camadas, cada uma com suas respectivas propriedades (resistividade e espessura), o usuário tem a opção de visualizar seu modelo clicando em **Update**. Entretanto, todo desenho de modelo criado aparecerá com uma região superior de cor branca, correspondendo à camada fixa de ar, presente nos levantamentos MCSEM e que influencia bastante nas medidas, e uma camada inferior relacionada ao substrato. Ambas as camadas possuem espessura fixa em 20% da profundidade total do modelo criado. As colorações são baseadas nos valores de resistividades de cada camada digitada pelo usuário. Veja **Figura 8**, a qual corresponde um modelo canônico criado a nível de demonstração sendo suas propriedades mostradas no esquema ao lado.

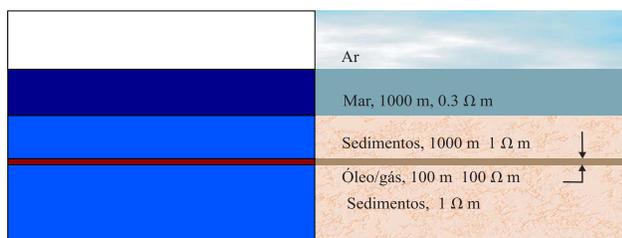


Figure 8: Modelo canônico com quatro camadas. Ao lado do modelo gerado está uma ilustração dele mesmo com suas respectivas propriedades. Fonte: Elaborado pelo Autor/Souza (2007).

A interface **mcsem1D** também oferece ao usuário a liberdade de definir elementos muito importantes de um levantamento de dados. Para o transmissor (**Tx**), pode-se definir a posição e com qual frequência o sinal será transmitido. Para os receptores (**Rx**), pode-se definir o número de medidas e o espaçamentos delas para as duas geometrias *Inline* ou *broadside*.

Após terem sido estabelecidas as condições de análise do estudo, vem a seção execução e plotagem. O botão **Execute**, localizado no painel do canto esquerdo inferior, tem as seguintes funções: armazenar todas as entradas postas na interface em dois arquivos de dados, sendo que um deles contém os modelos de camadas, com as propriedades previamente definidas para as quais se quer realizar o estudo, e outro arquivo contendo as especificidades para os cálculos no **FORTRAN** como a posição da fonte e do receptor, frequência do sinal da fonte, número e espaçamento de medidas efetuadas pelos

receptores.

Clicando em **executar**, as arquivos criados são enviados ao sistema **FORTRAN**, o qual lerá cada um e os tomará como entradas para, assim, efetuar os cálculos dos campos elétricos e magnéticos. Feitos os cálculos, novos arquivos são gerados, dessa vez pelo programa **FORTRAN**, e enviados de volta ao **MATLAB**.

O objeto **Plot** é o elemento responsável por identificar qual campo está ativado no popup **Fields** e para qual geometria (*Inline/Broadside*) se quer realizar a análise. Estabelecendo isto, o botão **Plot** carrega o arquivo de dados correspondentes aos valores de campo e geometria, enviado do **FORTRAN** ao **MATLAB**, e os plota nos eixos localizados na região direita da janela gráfica, como pode ser visto na **Figura 9**

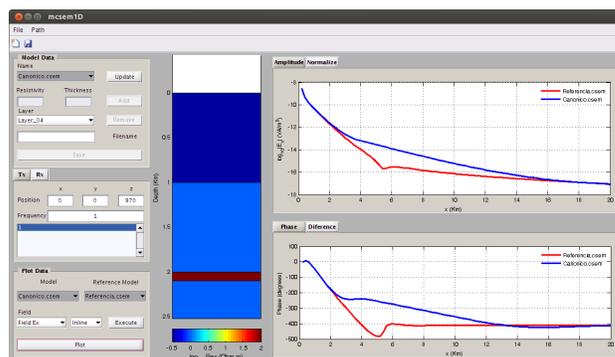


Figure 9: Observa-se as curvas representando o decaimento das componentes x dos campos elétricos, em geometria *Inline*, para ambos os modelos canônico e referência. Fonte: Elaborado pelo Autor

A **Figura anterior** mostra as respostas, em amplitude e fase, para geometria *Inline*, da componente x do campo elétrico para dois modelos diferentes, o Canônico criado anteriormente e um modelo de referência com duas camadas criado pelo autor deste trabalho. O modelo de referência possui as seguintes características: camada 1 com espessura de 1000 metros e resistividade de 0,3 *ohm.m* e a camada 2, representando o substrato, com resistividade de 1 *ohm.m*. Utiliza-se da representação *Ex*, para identificar que se trata da componente x do campo elétrico.

Interface Gráfica e aplicações

No trabalho de Crepaldi, Buonora e Figueiredo (2011), tem-se a apresentação de um método de inversão 1D que se revelou como uma grande alternativa se comparada aos custos e complexa implementação das inversões 2D e 3D. A ideia consiste em inverter dados que tenham informações sobre um mesmo domínio CMP e isso ocorre porque esse grupo de informações contém dados sobre um mesmo ponto registrado por vários offset e, com isso, consegue-se analisar melhor o comportamento horizontal da subsuperfície, exatamente como feito no processamento sísmico. Esta metodologia de inversão de dados foi aplicada para uma linha MCSEM, chamada de **LTAM10**, na bacia de Santos e os resultados foram comparados aos dados previamente adquiridos pela sísmica e de poços.

O trabalho também apresenta derivadas analíticas de campos produzidos por dipolos eletromagnéticos horizontais com respeito a camadas resistivas, que foram capazes de realizar inversões 40 vezes mais rápidas que as por algoritmo usando derivadas numéricas.

O sinal transmitido pela fonte tinha frequência de 0.75 Hz e foram utilizados, para o modelamento, 11 receptores. A Figura 10 mostra um modelo de camadas apresentado no artigo citado, o qual foi construído baseado em dados geoeletricos obtidos da LTAM10 por um conjunto de modelos 1D e que adquiriu característica 2D. O modelo é composto por 4 camadas sendo que o corpo resistivo tem espessura de 50 metros e 20 Km de extensão com resistividade de 40 *ohm.m*. Os receptores estão dispostos em 1 Km e 100 metros afastados do transmissor.

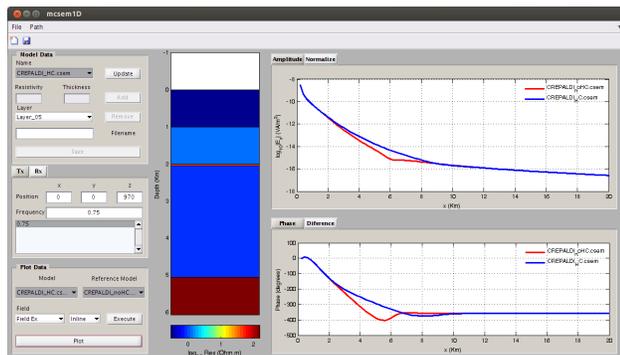


Figure 10: Modelo proposto por Crepaldi, Buonora e Figueiredo (2011) com suas respostas de amplitude e fase para o campo Ex na geometria *Inline*, para frequência de 0.75 Hz. Fonte: Elaborado pelo autor.

A interface mcsem1D disponibiliza a visualização de normalização dos campos. Utilizando o modelo proposto por Crepaldi, Buonora e Figueiredo (2011), tem-se o quanto a resposta, produzida pela subsuperfície que possui hidrocarboneto, é maior que aquela produzida pela subsuperfície que não possui hidrocarboneto. Essa função é analisada quando se acessa o botão *Normalize*. Além da normalização, pode-se visualizar a diferença de fase entre os modelos propostos no artigo citado através do botão *Difference*. Observa-se as respostas na Figura 11.

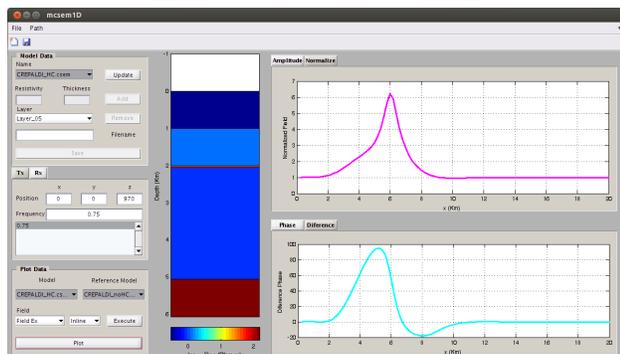


Figure 11: Modelo de Crepaldi, Buonora e Figueiredo (2011) com respostas normalizadas e a diferença de fase entre eles para o campo Ex. Fonte: Elaborado pelo autor.

Conclusão

O método CSEM é uma tecnologia de aquisição de dados aplicada a identificação de camadas resistivas em subsuperfície, o qual pode ser utilizado tanto em terra como no mar. Este método tem sido usado por parte da indústria como ferramenta de auxílio às aquisições sísmicas, pelo fato de conseguir diferenciar substâncias, baseado no contraste de resistividade, e assim diminuir os riscos de exploração de hidrocarbonetos. A técnica do MCSEM também é muito utilizada no monitoramento de produção de reservatórios e estudos da composição da litosfera.

A modelagem 1D para o método aqui estudado tem extrema importância tanto no campo acadêmico como no industrial. Em todos os trabalhos citados aqui se observa a análise dessa modelagem, haja visto que se ela não der respostas satisfatórias nos estudos relacionados a hidrocarboneto ou mesmo a litologia, as modelagens 2D e 3D também não darão.

O confecção de uma interface gráfica surge como ferramenta de auxílio a visualização dos resultados provenientes de levantamentos MCSEM. Tem-se maior facilidade em analisar o comportamento dos campos eletromagnéticos resultantes de aquisições, haja visto que rapidamente o usuário pode criar seus modelos e armazená-los, variando as características tanto da subsuperfície como dos parâmetros de levantamento.

Referências

ARCHIE, G. E. Electrical resistivity an aid in core-analysis interpretation. v. 31, n. 2, p. 350–366, 1947.

ARCHIE, G. E. Introduction to petrophysics of reservoir rocks. v. 34, n. 5, p. 943–961, 1950.

CONSTABLE., S.; SRNKA, L. J. An introduction to marine controlledsource electromagnetic methods for hydrocarbon exploration. v. 72, n. 2, p. WA3–WA12, 2006.

CREPALDI, J. L. S.; BUONORA, M. P. P.; FIGUEIREDO, I. Fast marine csem inversion in the cmp domain using analytical derivatives. v. 76, n. 5, p. F303–F313, 2011.

EIDSMO., T. et al. Sea bed logging (sbl), a new method for remote and direct identification of hydrocarbon filled layers in deepwater areas. v. 20, p. 144–152, 2002.

HESTHAMMER, J.; STEFATOS, A.; BOULAENKO, M. Csem performance in light of well results. v. 29, n. 1, p. 34–41, january 2010.

MATLAB. version 8.0.0.783 (R2012b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2012.

SOUZA, V. C. T. de. Modelagem numérica de dados MCSEM usando computação paralela. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Pará, 2007.

STRACK, K.; ESMERSOY, C.; ALLEGAR, N. Introduction to this special section: Csem. p. 323–325, 2007.

THIRUD, A. Waves of information. n. 3/4, p. 8–9, 2002.

WEISS, C. J.; CONSTABLE, S. C. Mapping thin resistors and hydrocarbons with marine em methods: Insights from 1d modeling. v. 71, p. 43–51, 2006.