



SISTEMA ELETROMAGNÉTICO DE CAMPO FOCALIZADO – POLARIZADO

Antonio V. C. Barbosa, UFPa, tonvini@bol.com.br, abarbosa@ufpa.br

Om P. Verma, UFPa, verma@ufpa.br

Abstract

In archaeological, geotechnical and contamination investigations, normally very low electromagnetic anomalies are obtained due to the Low Induction Number (LIN) of these targets. The high resolution electromagnetic techniques, like GPR – Ground Penetrating Radar, RIM – Radio Frequency Investigation and VETEM – Very Early Time Methods, are limited in their depth of investigation particularly if ground is little more conductive. By employing focused and polarized fields we can increase the coupling of the magnetic flux with the target consequently receive enhanced response. We obtained vertically and horizontally polarized fields with focusing varying in depth by combining the field of two dipoles. Response a vertical and horizontal prism in these fields is computed numerically. The anomalies obtained in polarized focused field are more than double the value of those obtained using conventional T-R configuration.

Introdução

Em investigações arqueológicas, contaminação do meio ambiente, geotécnicas e mapeamento geológico, os alvos investigados são normalmente de baixa condutividade e por isso conhecidos como *Low Induction Number* – LIN. Para investigar esses alvos existem diferentes métodos eletromagnéticos indutivos operando com diferentes frequências/tempo, porém apresentam limitações quanto a resolução/profundidade de penetração/investigação. Assim, equipamentos que operam com frequências baixas conseqüentemente tem maior profundidade de penetração, mas são carentes de boa resolução. Entretanto, as técnicas de alta resolução que operam em altas frequências, tais como, o GPR – *Ground Penetrating Radar* e RIM – *Radio Frequency Investigation Methods*, e os que operam no domínio do tempo curto até 5 mseg (VETEM – *Very Early Time Electromagnetic Methods*) são carentes na profundidade de penetração/investigação particularmente em terrenos um pouco mais condutivos como na presença de argila, pantanal, etc. Por isso, é necessário desenvolver uma técnica que satisfaça ambas as demandas, i.e., alta resolução e boa profundidade de investigação.

Para aumentar a resolução nas respostas dos alvos com Baixo Número de Indução sem aumentar muito a frequência é necessárias criar situações para se obter o máximo acoplamento entre o transmissor o alvo e o receptor. A primeira condição pode ser obtida empregando campos devidamente polarizados determinada pela possível geometria do alvo e campos focalizados em cima desses corpos.

O objetivo deste trabalho é estudar o emprego dos campos magnéticos com polarização horizontal e vertical focalizados, avaliar o poder de resolução desses campos para alvos prismáticos vertical e horizontal respectivamente em diferentes profundidades.

Metodologia

Para se obter os campos focalizados em profundidade com polarização horizontal e vertical, num semi-espaço homogêneo no domínio da frequência, foram somados vetorialmente campos gerados por pares de dipolos magnéticos transmissores colocados na superfície. Pares de dipolos magnéticos verticais antiparalelos (DMVs anti-paralelos) geram campos horizontalmente polarizados na parte central do semi-espaço (Figura 1) e pares de dipolos magnéticos horizontal anti-coaxiais (DMHs anti-coaxiais) produzem campos verticalmente polarizados (Figura 2) (Barbosa & Verma, 2001).

O alvo escolhido é um prisma retangular colocado em forma vertical e horizontal na profundidade (d), O espaçamento entre os transmissores é (2L) com o receptor localizado em (L). A escolha dos alvos vertical ou horizontal, bem como, profundidade, espessura e altura, se devem ao fato da polarização (horizontal e vertical) e da focalização (zona de maior intensidade) dos campos magnéticos (Figuras 1 e 2).

As respostas desses alvos foram obtidas através da técnica dos Elementos Finitos método de Galerkin (Hohmann, 1988) para o modelo 2,5-D, a direção y é tomada como sendo a direção do *strike*.

A frequência considerada dos transmissores é de 10 KHz, a condutividade do alvo 1,0 S/m e a do semi-espaço homogêneo é de 0,001 S/m. A permeabilidade magnética (μ) e a permissividade elétrica (ϵ) do alvo e semi-espaço foram consideradas iguais ao do vácuo/ar, para $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ e $\epsilon_0 = 8,841 \times 10^{-12}$.

Campo Primário

Polarização Horizontal

Pode-se observar que na Figura 1 o campo é horizontalmente polarizado na região central resultando da combinação dos campos magnéticos produzido por dois dipolos verticais antiparalelos (DMVs antiparalelos). O receptor está localizado centralmente entre os transmissores. É recomendável o emprego deste tipo de polarização nas investigações de alvos verticais por ter máximo acoplamento com o fluxo polarizado horizontalmente.

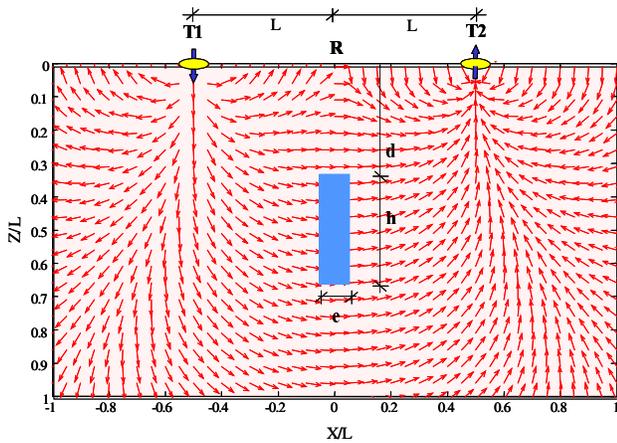


Figura 1 – Um alvo vertical colocado no campo de polarização horizontal produzida por dois dipolos verticais antiparalelos.

Polarização Vertical

Pode-se observar que na Figura 2 o campo é verticalmente polarizado na região central resultando da combinação dos campos magnéticos produzido por dois dipolos horizontais anti-coaxiais (DMHs anti-coaxiais). O receptor está localizado centralmente entre os transmissores. É recomendável o emprego deste tipo de polarização nas investigações de alvos horizontais por ter máximo acoplamento com o fluxo vertical polarizado.

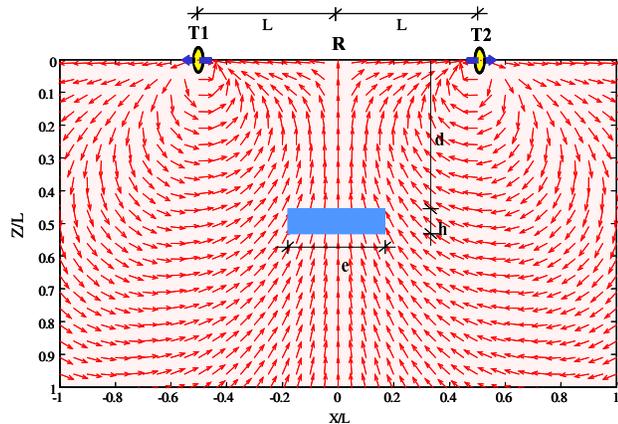


Figura 2 – Um alvo horizontal colocado no campo de polarização vertical produzida por dois dipolos horizontais anti-coaxiais.

Focalização

A Figura 3 mostra variação dos campos magnéticos para ambas polarizações em profundidade (Z) medidos a distância (L) dos transmissores. Observa-se focalização dos campos os em $Z/L = 0.5$ para todos quatro tipos de fontes transmissoras estudadas. Entretanto, as amplitudes dos campos devido ao par de transmissores é o dobro de um transmissor solitário, mesmo após normalização. Observa-se que a focalização do campo verticalmente polarizada é mais aguda do que a polarização horizontal.

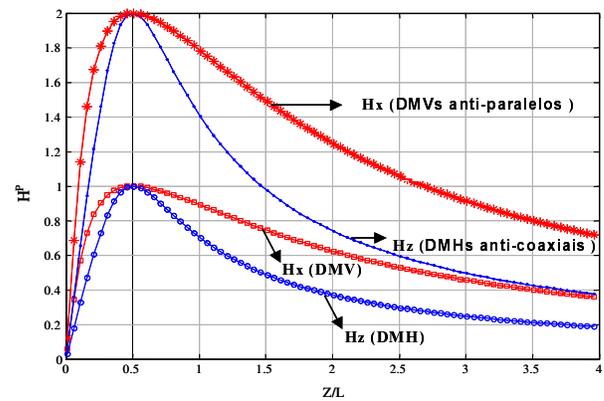


Figura 3 – Variação dos campos magnéticos polarizados, H_x e H_z em profundidade na linha central entre os transmissores, e a posição da focalização em $Z/L = 0.5$.

A Figura 4 ilustra distribuição do campo magnético primário horizontalmente polarizado no plano XZ ($Y=0$) passando pelo centro dos dipolos e a Figura 5 no plano YZ para $x = 0$. Observa-se o máximo deste campo (focalização) exatamente em $Z/L = 0.5$. A casca tridimensional nessa região fornece uma idéia da distribuição desse campo em 3D. Da mesma maneira as Figuras 6 e 7 ilustram distribuição dos campos verticalmente polarizados pela combinação dos dipolos horizontais anti-coaxiais.

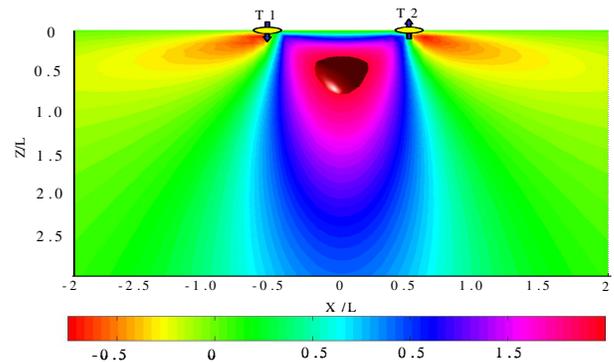


Figura 4 – Distribuição e focalização do campo magnético primário horizontalmente polarizados no plano XZ ($Y=0$), para o DMVs antiparalelos.

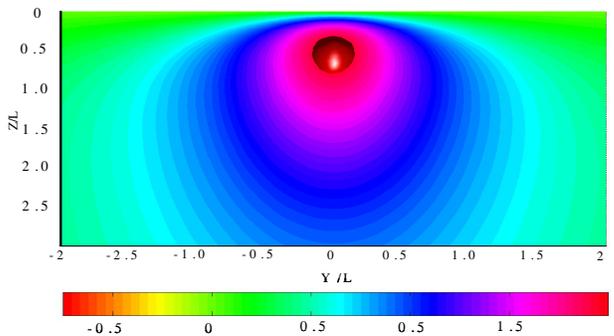


Figura 5 – Distribuição e focalização do campo magnético primário horizontalmente polarizados no plano YZ ($X=0$), para o DMVs antiparalelos.

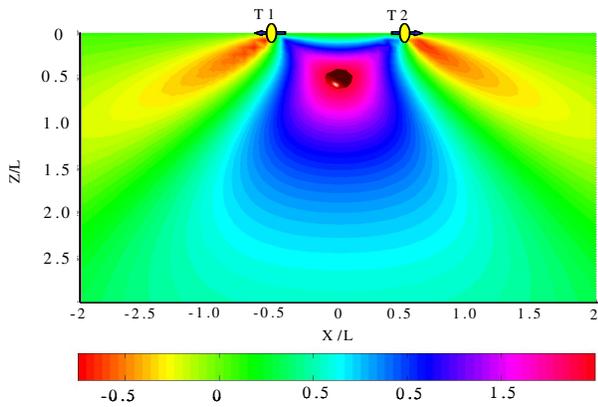


Figura 6 – Distribuição e focalização do campo magnético primário verticalmente polarizado no plano XZ (Y=0), para o DMHs anti-coaxiais.

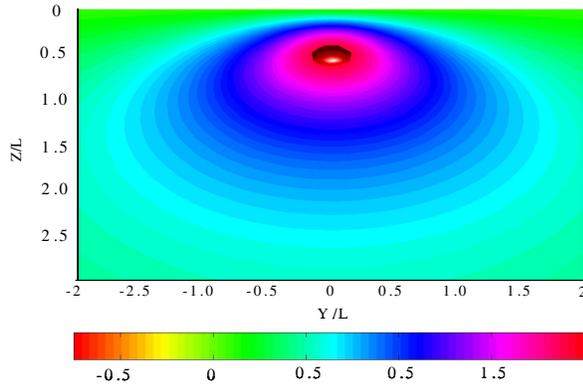


Figura 7 – Distribuição e focalização do campo magnético primário verticalmente polarizado no plano YZ (X=0), para o DMHs anti-coaxiais.

Resultados:

Respostas dos campos com polarização horizontal

As respostas da componente vertical (H_z) de um prisma vertical 3mx1m em campos com polarização horizontal são mostradas nas Figuras 8 e 9, e da componente horizontal (H_x) nas Figuras 10 e 11, essas dimensões são escolhidas de modo que o alvo receba a máxima focalização e polarização.

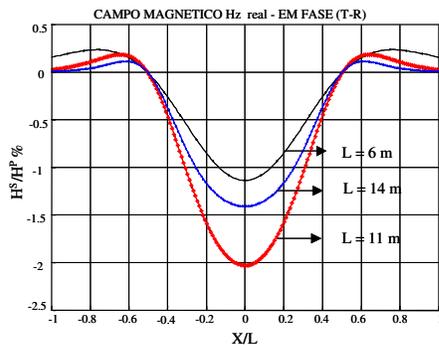


Figura 8 – Componente secundária H_z em fase de T-R com espaçamento L variado.

Primeiramente foram calculadas no dipolo receptor para um único transmissor (T-R), medindo as componentes em fase e em quadratura, em seguida fez-se o mesmo, contudo utilizando dois Transmissores (T1-R-T2), O topo do prisma está na profundidade fixa de $d = 4$ m e o espaçamento entre transmissor e receptor foi variado de $L = 6, 11$ e 14 metros.

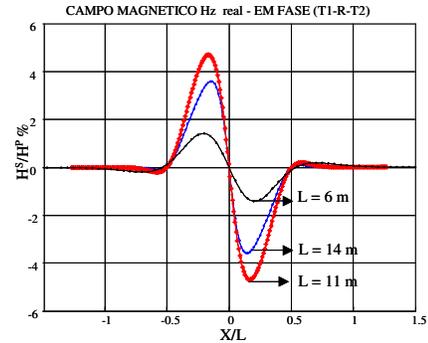


Figura 9 – Componente secundária H_z em fase do sistema T1-R-T2 focalizado com campo primário horizontalmente polarizado, com espaçamento L variado.

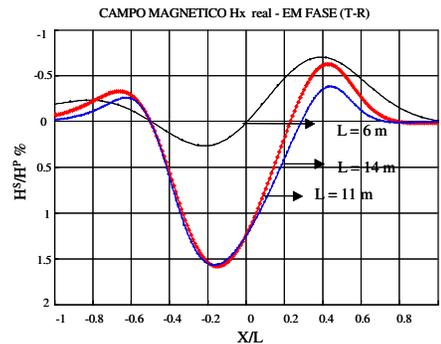


Figura 10 – Componente secundária H_x em fase de T-R, com espaçamento L variado.

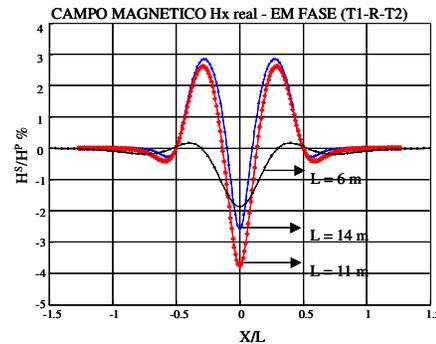


Figura 11 – Componente secundária H_x em fase do sistema T1-R-T2 focalizado com campo primário horizontalmente polarizado, com espaçamento L variado.

As Figuras de 12 a 15 ilustram as componentes secundárias H_z e H_x em quadratura para T-R e para o sistema focalizado T1-R-T2, com $L = 6, 11$ e 14 metros.

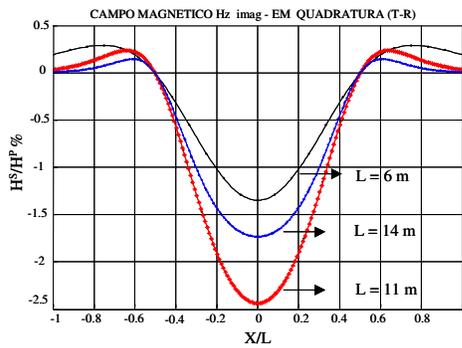


Figura 12 – Componente secundária Hz em quadratura de T-R, com espaçamento L variado.

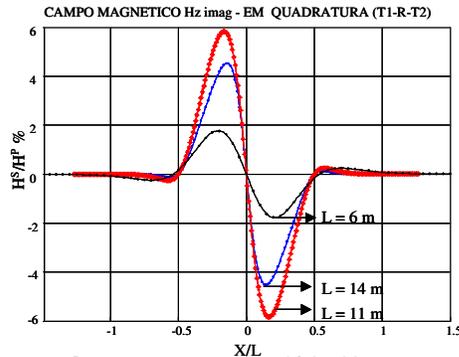


Figura 13 – Componente secundária Hz em quadratura do sistema T1-R-T2 focalizado com campo primário horizontalmente polarizado, com espaçamento L variado.

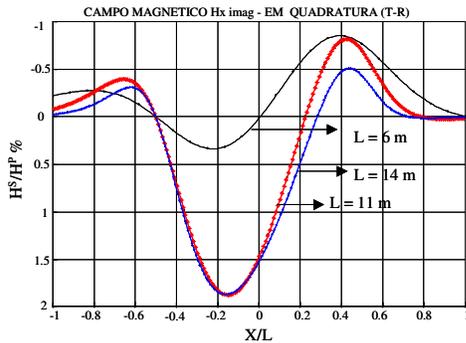


Figura 14 – Componente secundária Hx em quadratura de T-R, com espaçamento L variado.

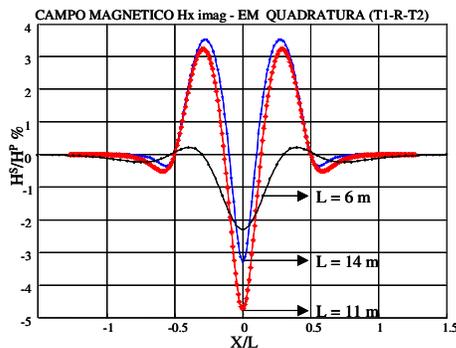


Figura 15 – Componente secundária Hx em quadratura de T1-R-T2 focalizado com campo primário horizontalmente polarizado, com espaçamento L variado.

Os valores pico a pico das componentes Hz e Hx – em fase e quadratura para T-R e para T1-R-T2, variando L desde 4 metros até 20 metros, são ilustrados nas Figuras 16 e 17. Pode-se observar que a resposta para o sistema polarizado-focalizado é maior que duas vezes do valor medido empregando apenas um transmissor após devida normalização levando em consideração emprego de dois transmissores no sistema focalizado-polarizado.

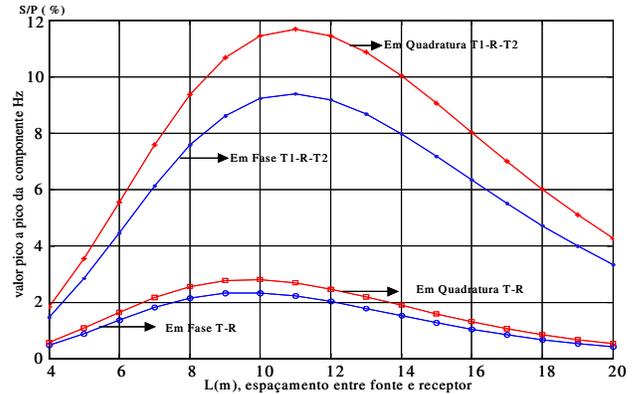


Figura 16 – Valores pico a pico das componentes Hz – em fase e quadratura para T-R e para o campo focalizado com polarização horizontal, com L variando desde 4 até 20. Topo do corpo na profundidade de 4 metros.

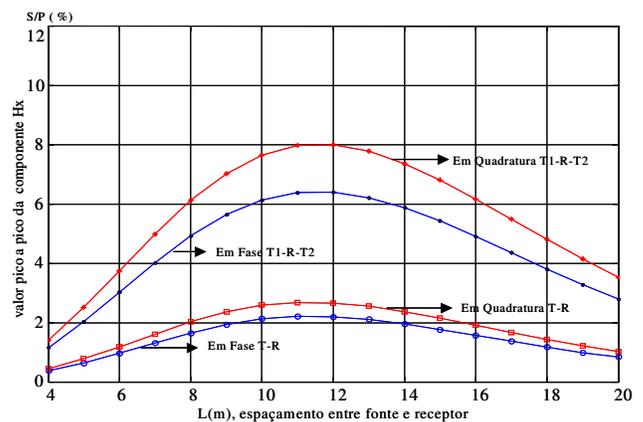


Figura 17 – Valores pico a pico das componentes Hx – em fase e quadratura para T-R e para o campo focalizado com polarização horizontal, com L variando desde 4 até 20. Topo do corpo na profundidade de 4 metros.

Respostas dos campos com polarização vertical

As Figuras 18 e 19 mostram as componentes verticais secundária (Hz) e as Figuras 20 e 21 a componente horizontal secundária (Hx), medidas em fase, das respostas de um prisma horizontal 6mx1m na presença de campos com polarização vertical, essas dimensões são escolhidas de modo que o condutor receba a máxima focalização e polarização.

O espaçamento entre T-R foi variado de L = 6, 11 e 14 metros e para T1-R-T2 foi variado de L = 6, 13 e 16 metros.

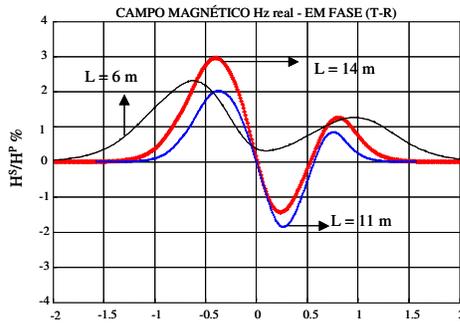


Figura 18 – Componente secundária Hz em fase de T-R, com espaçamento L variado.

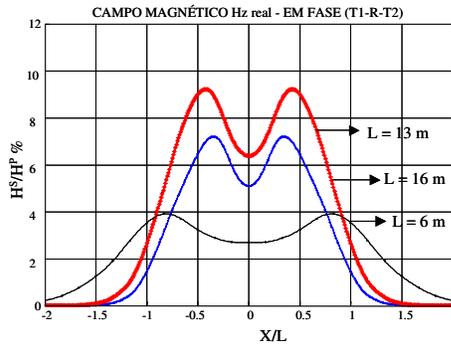


Figura 19 – Componente secundária Hz em fase de T1-R-T2 focalizado com campo primário verticalmente polarizado, com espaçamento L variado.

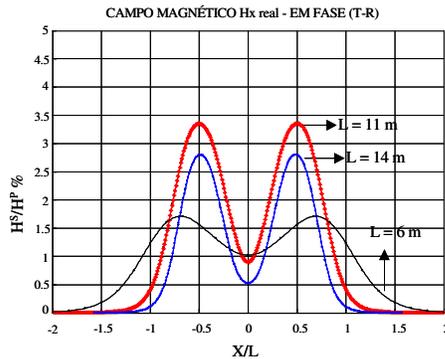


Figura 20 – Componente secundária Hx em fase de T-R, com espaçamento L variado.

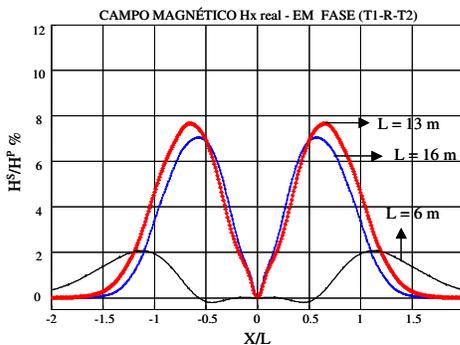


Figura 21 – Componente secundária Hx em fase de T1-R-T2 focalizado com campo primário verticalmente polarizado, com espaçamento L variado.

As Figuras 22 e 23 mostram as componentes verticais secundária (Hz) e as Figuras 24 e 25 a componente horizontal secundária (Hx), medidas em quadratura das respostas de um prisma horizontal 6mx1m na presença de campos com polarização vertical.

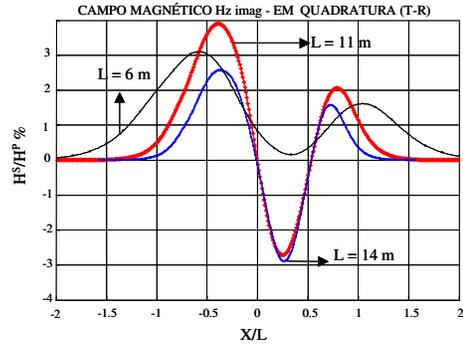


Figura 22 – Componente secundária Hz em quadratura de T-R, com espaçamento L variado.

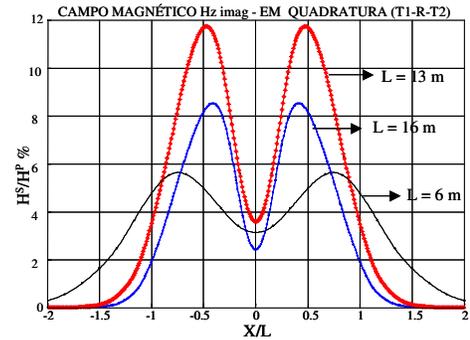


Figura 23 – Componente secundária Hz em quadratura de T1-R-T2 focalizado com campo primário verticalmente polarizado, com espaçamento L variado.

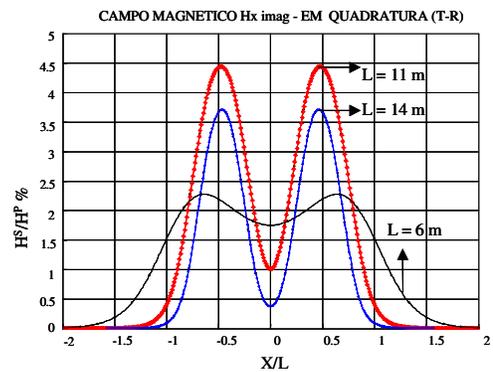


Figura 24 – Componente secundária Hx em quadratura de T-R, com espaçamento L variado.

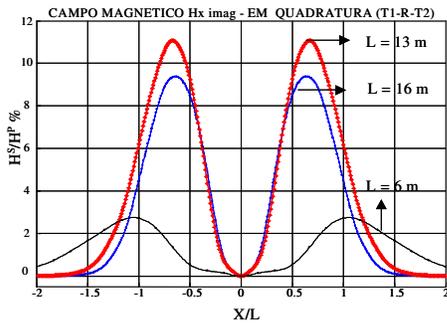


Figura 25 – Componente secundária Hx em quadratura de T1-R-T2 focalizado com campo primário verticalmente polarizado, com espaçamento L variado.

Os valores pico a pico das componentes Hz e Hx – em fase e quadratura para T-R e para T1-R-T2, variando L desde 4 metros até 20 metros, são ilustrados nas Figuras 26 e 27. Pode-se observar que a resposta para o sistema polarizado-focalizado é maior que duas vezes do valor medido empregando apenas um transmissor após devida normalização levando em consideração emprego de dois transmissores no sistema focalizado-polarizado.

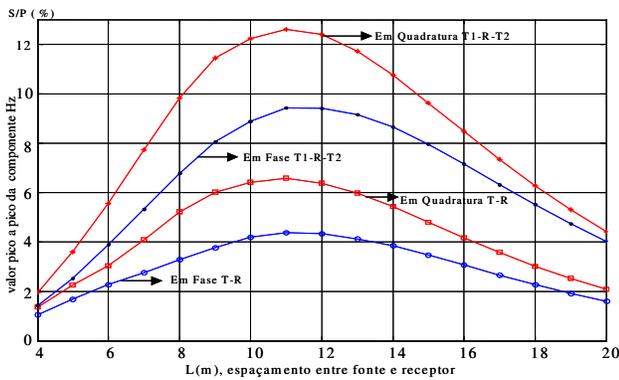


Figura 26 – Valores pico a pico das componentes Hz– em fase e quadratura para T-R e para o campo focalizado com polarização vertical, com L variando desde 4 até 20. Topo do corpo na profundidade de 4.5 metros.

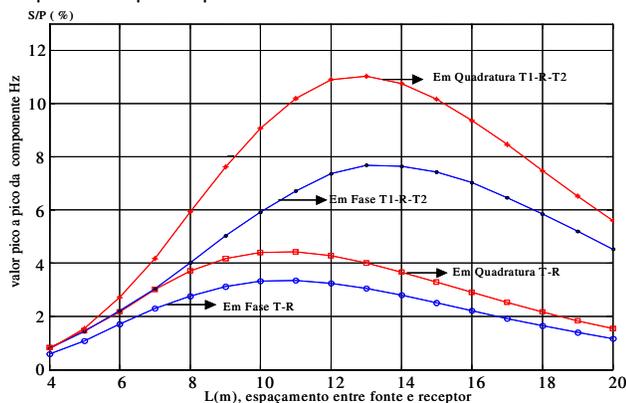


Figura 27 – Valores pico a pico das componentes Hx– em fase e quadratura para T-R e para o campo focalizado com polarização vertical, com L variando desde 4 até 20. Topo do corpo na profundidade de 4.5 metros.

Conclusões

Empregando dois transmissores (DMVs antiparalelos e DMHs anti-coaxiais) é possível gerar campos magnéticos primários focalizados com polarização horizontal e vertical.

Utilizando técnica numérica dos Elementos Finitos método de Galerkin se obteve respostas de anomalias geradas por corpos condutores prismáticos (vertical e horizontal). Quando se utiliza sistema de dois transmissores focalizado-polarizado, as componentes Hz e Hx em fase e em quadratura produzem anomalias simétricas ou anti-simétricas. Contudo, quando se emprega apenas um transmissor, por exemplo, produzem anomalias simétricas e assimétricas dependendo da configuração de bobinas empregada e a geometria do corpo condutor como visto nas Figuras 10 e 14

Além de se obter anomalias simétricas ou anti-simétricas empregando sistema polarizado-focalizado o valor das anomalias são maiores que duas vezes quando se utiliza apenas um transmissor, como visto nas Figuras 16, 17 e 26, 27.

Assim, para se obter melhores respostas das anomalias de corpos condutores é recomendável se utilizar dois transmissores (DMVs antiparalelos e DMHs antioaxiais) capazes de focalizar e polarizar os campos magnéticos primários.

Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de doutorado a Antonio Vinícius Corrêa Barbosa, ao Prof. Dr. Luiz Rijo e a Marcos Welby para esclarecimento no emprego dos métodos numéricos.

Agradecemos a CNPQ pelo apoio financeiro, a esse projeto de pesquisa.

Bibliografia

Barbosa, A. V. C. & Verma, O. P., 2001, Geração de Campos Magnéticos Direcionais e Focalizados por combinações de Dipolos magnéticos. 7º Congresso Internacional da Sociedade brasileira de Geofísica.

Hohmann, G. W., 1988, Numerical Modeling for Electromagnetic Methods of Geophysics, Chapter 5, in Nabighian, M. N. (Ed) *Electromagnetic Methods in applied Geophysics*, Vol 1 Theory. Society of Exploration Geophysics, Tulsa, USA, p. 313-316.

Rijo, L, 1989, Teoria dos Métodos Elétricos e Eletromagnéticos I e II, Notas de Aula do curso de Pós-Graduação em Geofísica, CG, UFFa