

RESPOSTA ELETROMAGNÉTICA DE UM CORPO TABULAR VERTICAL SOB MANTO DE INTEMPERISMO EM MULTIFREQUÊNCIA, MULTI-SEPARAÇÃO OBTIDAS NO LABORATÓRIO, COM DIFERENTES SISTEMAS DE BOBINAS

JOAQUIM CARLOS BARBOSA QUEIROZ e OM PRAKASH VERMA

*Departamento de Geofísica
Centro de Geociências - UFPA.
C.P. 1611, 66.000 - Belém - PA, Brasil*

Overburden effects on EM response of a vertical tabular conductor are studied through model experiments by varying: a) frequencies between 250 Hz to 35 kHz; b) coil separation and c) coil systems i.e., horizontal coplanar, vertical coplanar and vertical coaxial systems. The results demonstrate that EM response are affected varyingly in different coil systems by the overburden. At low frequencies the response of overburden-orebody approximates the response of the orebody alone while at high frequencies it corresponds to that of the overburden alone. Increase in separation moves the response to lower frequencies. This study shows that it is possible to know in advance the band of frequencies where the EM response of the target is least affected by the overburden. This will help in planning an EM survey in a region of known overburden parameters.

INTRODUÇÃO

A aplicação dos métodos indutivos de prospecção eletromagnética na exploração mineral em regiões tropicais e semi-áridas, apresenta dificuldades devido à presença de uma camada superficial condutiva comumente encontrada nessas regiões. Com isto, os modelos físicos e teóricos que utilizam condutores homogêneos e isotrópicos imersos no espaço livre estão sujeitos a erros consideráveis quando aplicados nestas áreas (Parasnis, 1971; Preston, 1975; Lajoie & West, 1977; Palacky & Kadokaru, 1978 e Silva & Verma, 1986).

Dentre os trabalhos realizados para estudar os efeitos do manto de intemperismo destacamos: i) Lowrie & West (1965), utilizando o sistema HLEM para um condutor tabular vertical, observou que as medidas de profundidade e condutância do corpo serão maiores quando interpretadas baseando-se em diagramas convencionais; ii) Parasnis (1971) e Lajoie & West (1977) baseados em levantamentos EM para o sistema HLEM em diversas frequências e separações transmissor-receptor também observaram discrepâncias sistemáticas pela presença do manto de intemperismo; iii) Villegas-Garcia (1979) estudou a resposta de um manto não uniforme utilizando o sistema HLEM em multifrequência e multiseparação. Foram modelados mantos com três tipos de descontinuidades na forma de escada, colina e vale. Quando foi colocado um condutor embaixo de um manto não uniforme a resposta do modelo em frequência muito baixas pôde ser considerada como a superposição da resposta do corpo e do manto tomadas separadamente. Isto ocorre porque em baixas frequências quase não há interação EM entre os condutores.

Enquanto a resposta do manto diminui progressivamente com a diminuição da frequência, a resposta do conjunto corpo-manto experimenta um suave decaimento até uma aparente saturação em frequências onde o efeito do manto é quase completamente eliminado. O reconhecimento da resposta característica do manto é facilitada com o uso do sistema em diversas frequências e separações; iv) Silva & Verma (1986) estudaram os efeitos do manto sobre semi-planos em várias inclinações com o sistema HLEM. Além de confirmar os efeitos observados por Lowrie & West (1965) para semi-planos verticais, verificaram o aparecimento de um pico extra na quadratura no caso de semi-planos com pequenas inclinações.

Neste trabalho estudamos a resposta de um corpo tabular vertical sob manto de intemperismo com o objetivo de encontrar a faixa de frequências e arranjo de bobinas onde a resposta esteja o mais livre possível de sinais indesejáveis, como os causados pelo manto de intemperismo.

MODELAMENTO ANALÓGICO

A técnica de modelos em escala reduzida é muito utilizada para estudar a resposta EM de depósitos minerais para auxiliar na interpretação de anomalias.

Teoria da Similitude

O modelamento analógico é baseado na teoria da similitude, que estabelece que dois sistemas EM em escalas diferentes são equivalentes se ambos satisfazem as mesmas equações físicas (Sinclair, 1948). De acordo com esta teoria o parâmetro encontrado em

baixas frequências é $\omega\mu\sigma L^2$, onde σ é a condutividade elétrica, μ a permeabilidade magnética, ω a frequência angular do campo e L a dimensão linear no espaço. Este parâmetro, também conhecido como número de indução, deve permanecer igual em ambos os sistemas; modelo e escala real. Consequentemente a redução nas dimensões lineares é compensada por um aumento na frequência e/ou aumento na condutividade dos modelos no laboratório.

Assim, os corpos minerais de boa condutividade tais como os sulfetos ($\sigma = 10$ a 10^3 S/m) podem ser simulados por metais com condutividade entre 10^6 a 10^7 S/m nos modelos reduzidos para uma escala em torno de 1:500, conservando a mesma frequência de campo. Enquanto corpos minerais de baixa condutividade podem ser simulados por grafite ($\sigma \approx 10^5$ S/m), carbono ($\sigma \approx 10^4$ S/m) ou aço inox ($\sigma \approx 10^6$ S/m).

Comumente são selecionados modelos de geometria simples para aproximar as várias formas de corpos minerais encontrados. São dados abaixo alguns corpos geométricos frequentemente utilizados e as formas geológicas que eles representam.

1. Esfera – lente mineralizada
2. Cilindro – conduto cilíndrico mineral
3. Disco inclinado – pequeno veio ou depósito tabular
4. Disco horizontal – porção limitada de manto de intemperismo
5. Semi-plano inclinado – largo veio, fratura ou falha com material condutivo
6. Plano total horizontal – cobertura extensa de manto de intemperismo
7. Semi-espaço – rocha encaixante

No parâmetro de resposta $\omega\mu\sigma L^2$, a dimensão linear, L , tem diferentes significados de acordo com o sistema EM e com os modelos utilizados. Assim:

1. Esfera em campo uniforme, $L = R$; ($R =$ raio da esfera)

2. Cilindro em campo uniforme, $L = R$ ($R =$ raio do cilindro)
3. Semi-plano em campo dipolar, $L^2 = t(l^2 + h^2)^{1/2}$ onde, t é a espessura da folha, l o espaçamento entre as bobinas e h a altitude sobre a superfície.

Nos sistemas terrestres $h = 0$ e nos sistemas aéreos $l \ll h$. No caso da folha fina condutiva não é possível separar o efeito da espessura e condutividade e a interpretação é feita para o produto σt .

MODELO SIMULADO

Os corpos que possuem uma dimensão, como a espessura, muito pequena em relação à largura e comprimento, podem ser simulados por modelos do tipo semi-plano. Neste caso encontra-se o dique, que é comumente encontrado em prospecção mineral. O manto de intemperismo que também possui duas de suas dimensões bastante grandes em relação à espessura, pode ser adequadamente simulado por modelos do tipo plano. Estes modelos foram adotados neste trabalho. Para simular o manto foram utilizadas três folhas de aço inox com dimensões de 2,00 m x 1,00 m e para o corpo três folhas de alumínio de 1,00 m x 0,80 m. Esses valores satisfazem as condições de modelamento para o plano e o semi-plano, isto é, as bordas dos modelos estão a mais de 0,75 L das bobinas e o comprimento do corpo que simula o semi-plano é maior do que $2L$, onde L é a separação entre as bobinas. A Tabela 1 contém os valores da espessura e condutividade dessas folhas. O halo de disseminação de sulfetos, a condutividade da rocha encaixante e a presença de materiais ferromagnéticos são desprezados em nosso estudo.

Tabela 1 – Características das folhas metálicas utilizadas no modelamento.

Modelo	Material	Condutividade elétrica, σ (10^7 S/m)	Espessura da folha, t (10^{-3} m)	Condutância, σt (10^4 S)	"Skin-depth", δ (10^{-3} m)							
					Frequência (Hz)							
					250	500	1k	3k	5k	10k	20k	35k
Corpo 1	Alumínio	3,148	0,514	1,6181	5,637	4,017	2,837	1,138	1,268	0,897	0,634	0,479
Corpo 2	Alumínio	3,3529	1,008	3,3797	5,497	3,887	2,75	1,59	1,23	0,87	0,675	0,465
Corpo 3	Alumínio	3,4376	2,135	7,3393	5,429	3,84	2,714	1,567	1,214	0,86	0,607	0,46
Manto 1	Aço Inox	0,1538	0,48	0,0738	25,00	18,00	12,00	7,409	5,793	4,058	2,87	2,169
Manto 2	Aço Inox	0,2009	0,40	0,0804	22,00	16,00	11,00	6,483	5,022	3,551	2,511	1,898
Manto 3	Aço Inox	0,1397	0,812	0,1134	27,00	19,00	13,00	7,774	6,032	4,258	3,011	2,276

EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O conjunto de modelamento consiste dos sistemas de energização, recepção e de disposição dos modelos Silva & Verma (1986).

Sistema de energização

Este sistema compõe-se de uma bobina transmissora alimentada por um oscilador de frequência 10 Hz a 100 kHz e de potência 1,6 W, com distorções inferiores a 1,0%. Este oscilador também fornece duas voltagens de referência ao detetor de fase, uma em fase com a saída e outra em quadratura. A bobina transmissora foi enrolada com fio esmaltado de cobre bitola nº 20 SWG, possuindo 37 espiras e diâmetro de 0,025 m.

Sistema de recepção

Este sistema é constituído por uma bobina receptora, um detetor de fase e um registrador gráfico.

A bobina receptora é semelhante à bobina transmissora e contém 680 espiras de fio de cobre nº 36 SWG. A f.e.m. induzida na bobina receptora é analisada pelo detetor de fase. Este detetor é sintonizável e de alto ganho, possuindo amplificação linear na faixa de frequências de 10 Hz a 100 kHz. Sua sensibilidade é < 50 nVrms entre a faixa de frequências de 200 Hz a 500 Hz e 35 nVrms entre 500 Hz a 100 kHz. Possui também um deslocador de fase que pode girar de 0° a 360° ambos os sinais de referência, tendo um ajuste fino de 10° controlado por dois verniers.

Os resultados obtidos no detetor são registrados por um registrador gráfico de dois canais. Este registrador possui ainda um marcador de eventos que relaciona as leituras com as posições das bobinas em relação às dos modelos.

Sistema de disposição dos modelos

É constituído por duas estruturas de madeira. Na estrutura menor, 2,00 m x 1,10 m, o corpo é colocado em uma prancha de madeira que é presa à estrutura por meio de parafusos de acrílico em furos existentes na parte central dos lados da estrutura, formada por duas placas grossas de acrílico. O manto é colocado em cima da estrutura menor.

A estrutura maior que envolve a menor, contém dois trilhos horizontais de madeira ao longo dos quais se desloca um carrinho de acrílico, movido por um motor passo-a-passo, contendo as bobinas na altura desejada. A cada 0,05 m do trilho estão dispostos 19 microinterruptores que são ligados ao registrador gráfico. Uma pequena peça de acrílico, presa ao lado do carrinho em uma posição correspondente ao centro do sistema T-R, aciona os microinterruptores quando o sistema é posto em movimento, permitindo, deste mo-

do, posicionar o perfil obtido através do marcador de eventos do registrador.

Calibração

As voltagens em-fase e quadratura fornecidas pelo oscilador ao detetor de fase são calibradas de modo a ficarem iguais à f.e.m. produzida pelo campo primário da seguinte maneira: primeiramente coloca-se a componente em-fase do sinal de referência em quadratura com o campo primário através do deslocador de fase. Nesta situação a caneta do registrador que corresponde à componente em-fase é colocada para a posição zero no papel de registro. Em seguida gira-se o sinal de referência de 90° , de modo que o sinal em-fase do oscilador fique em-fase e igual em amplitude com o do campo primário. Isto é conseguido levando-se a caneta do registrador, através de ajuste potenciométrico, a uma posição correspondente a 100%. Analogamente faz-se a calibração para a componente em quadratura de modo que esta fique 90° fora de fase com o campo primário.

Depois dessas operações o sinal de referência passa a corresponder à f.e.m. produzida pelo campo primário. Então as canetas são levadas para uma posição escolhida como base, onde as componentes serão nulas na ausência de um campo secundário, ou seja, quando houver apenas o campo primário o sinal de referência não sofrerá alterações. As calibrações foram feitas na ausência do manto. Isto é equivalente à calibração feita sobre rocha resistiva no campo. Os efeitos devidos a qualquer condutor devem estar ausentes na calibração.

Medições

Os perfis foram tomados para cada combinação de um corpo vertical do tipo semi-plano e um manto de intemperismo. Para cada conjunto corpo-manto, foram realizadas medidas utilizando-se as bobinas nos arranjos horizontal coplanar, vertical coplanar e vertical coaxial, colocadas em linha e caminhando transversalmente ao corpo. Foram utilizadas três separações entre as bobinas de $L = 0,15$ m; $0,20$ m e $0,25$ m e oito frequências na faixa de 250 Hz a 35 kHz. As profundidades do corpo e do manto em relação à linha que passa pelo centro das bobinas, foram mantidas constantes em todos os perfis, sendo respectivamente $0,2 L$ e $0,1 L$.

EFEITOS DO MANTO DE INTEMPERISMO

Efeito da frequência: os perfis (c) e (d) nas Figs. 1, 2 e 3 com sistemas de bobinas horizontal coplanar, vertical coplanar e vertical coaxial, mostram as respostas do corpo C_1 obtidas na presença do manto M_1 . Em todos os sistemas ocorre o deslocamento das bases dos perfis em relação à base de referência, a redução da amplitude e a reversão da componente em quadratu-

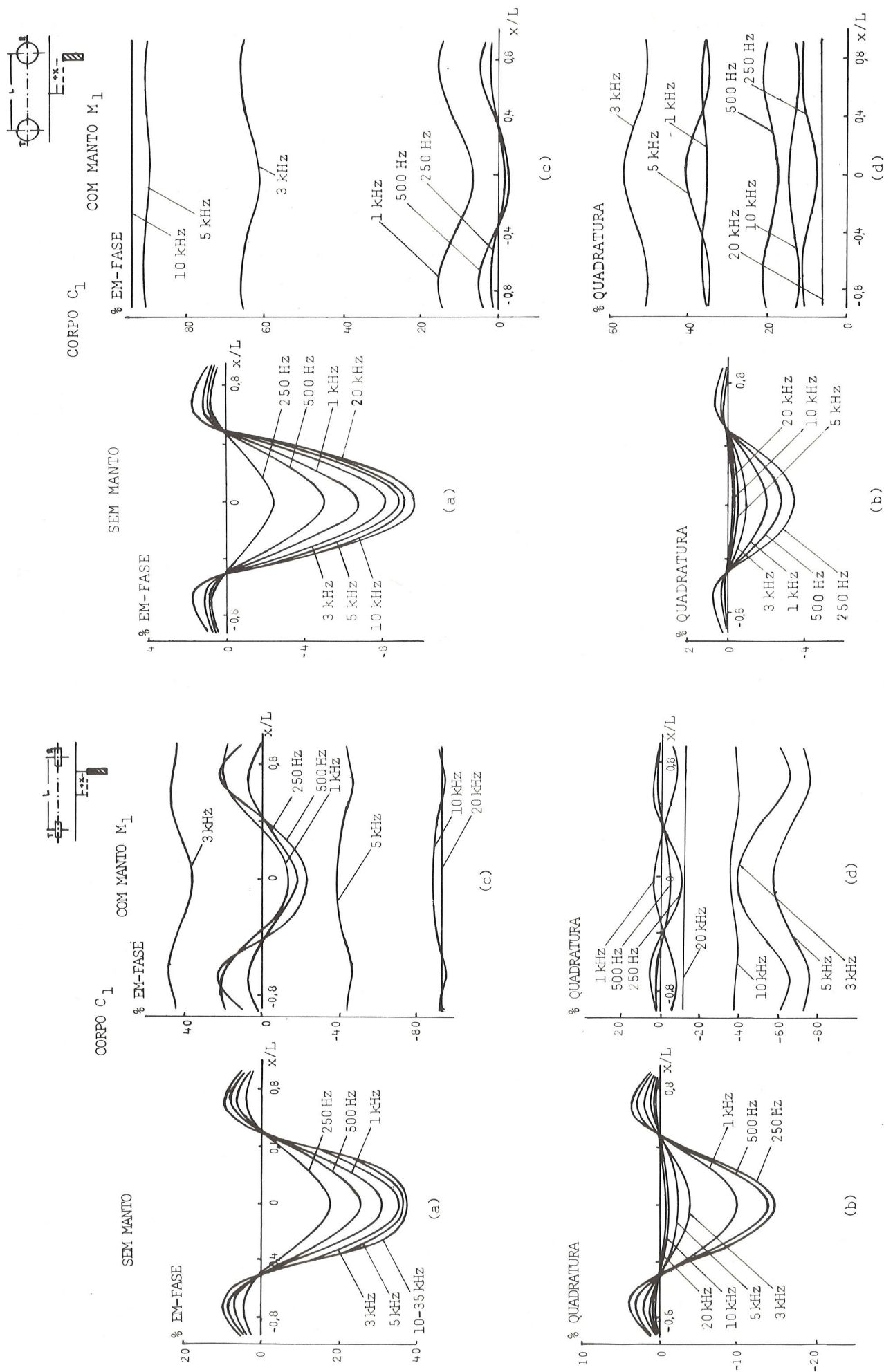


Figura 1 - Mudança dos perfis com a variação de frequência; sistema horizontal coplanar; $L = 0,25$ m.

Figura 2 - Mudança dos perfis com a variação da frequência; sistema vertical coplanar; $L = 0,25$ m.

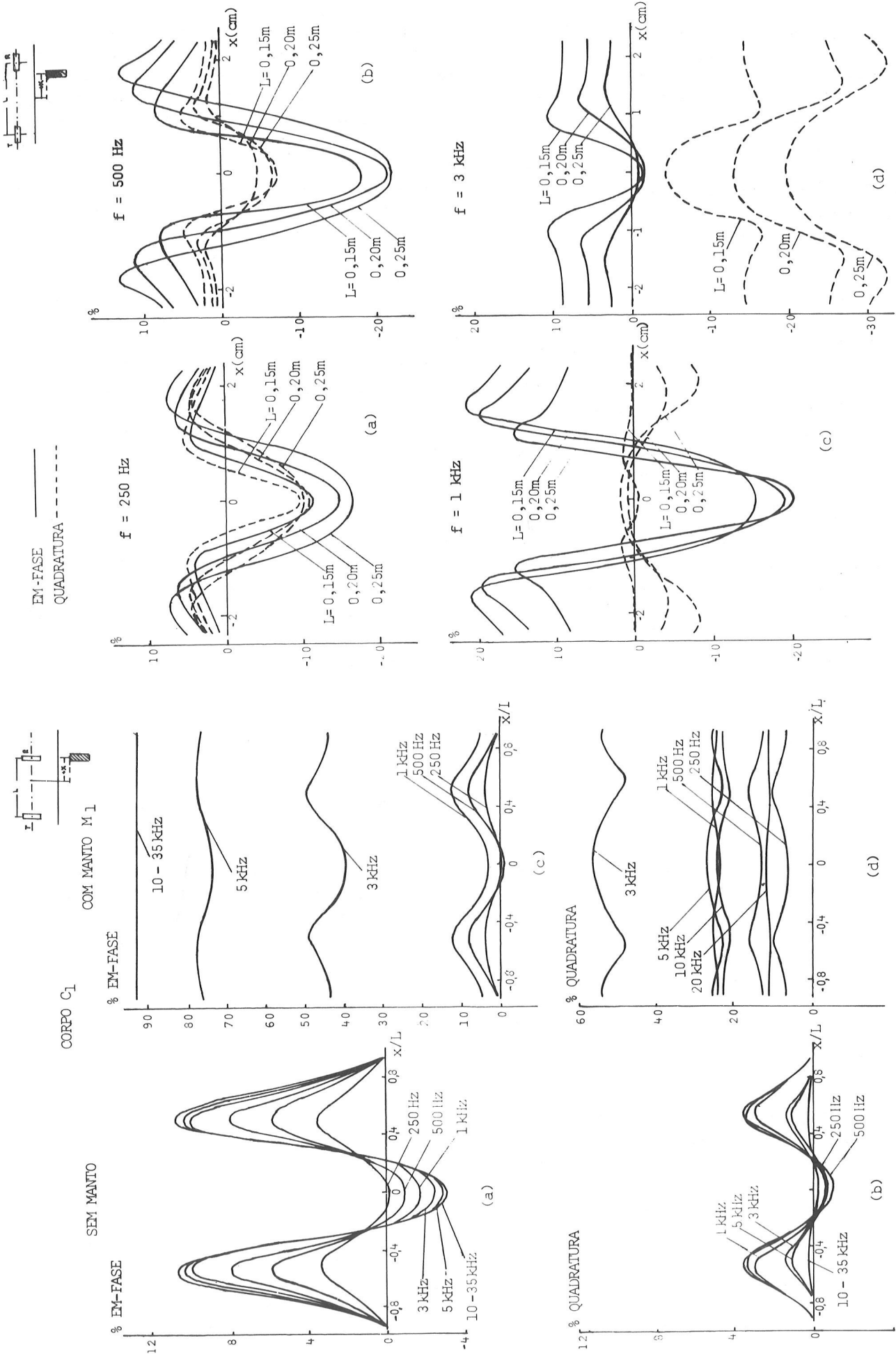


Figura 3 - Mudança dos perfis com a variação da frequência; sistema vertical coaxial; $L = 0,25$ m.

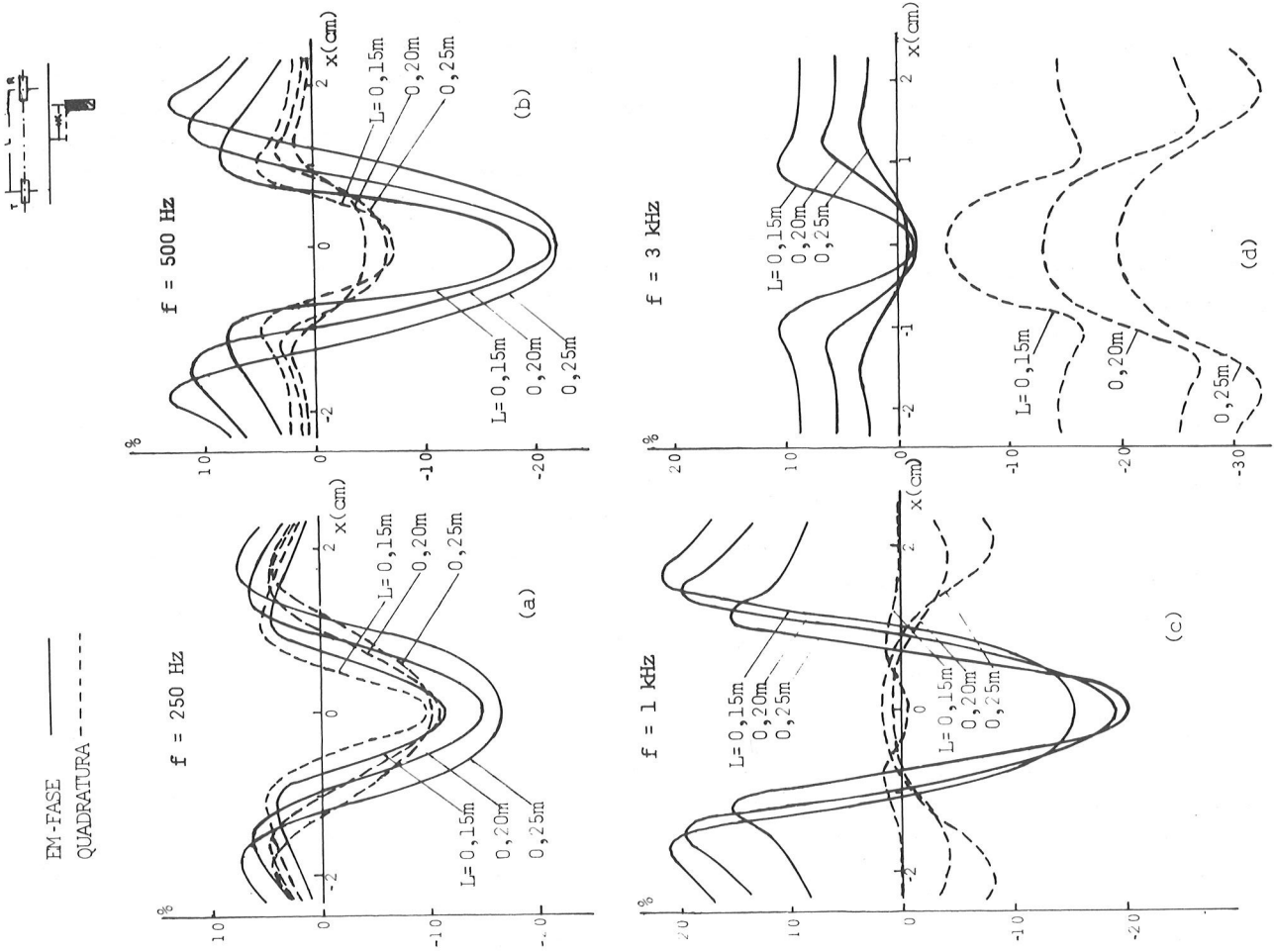


Figura 4 - Mudança dos perfis com a variação da separação T-R; sistema horizontal coplanar; conjunto C_1M_1 .

ra. Esses efeitos também foram observados por Lowrie e West (1965) utilizando o sistema horizontal coplanar. Em altas frequências a resposta do corpo é quase que totalmente blindada pela presença do manto. A reversão da componente em quadratura ocorre mais rapidamente no sistema horizontal coplanar do que nos outros dois. Em altas frequências ($f > 5$ kHz) os perfis do sistema horizontal coplanar deslocam-se abaixo da base de referência enquanto nos sistemas vertical coplanar e vertical coaxial os deslocamentos são sempre acima da base.

Efeito da separação transmissor-receptor: esses efeitos são mostrados na Fig. 4 para as frequências de 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, no sistema horizontal coplanar, onde, embora a presença do manto já seja marcante sobre a resposta obtida, pode-se ainda notar a anomalia de vida ao condutor. Em todos os perfis os dois picos positivos afastam-se do centro ($x = 0$) conforme aumenta a separação T-R. A reversão da componente em quadratura ocorre mais cedo se a separação é aumentada. Até a frequência de 1 kHz a componente em-fase apresenta menor valor pico-a-pico na menor separação T-R ($L = 0,15$ m). Em 3 kHz a menor separação apresenta maior valor pico-a-pico. Estas observações mostram que as respostas obtidas nos vários sistemas de bobinas, são afetadas de diversas maneiras pela presença do manto de intemperismo.

Análise das respostas

Os valores pico-a-pico das componentes em-fase e quadratura foram plotados com objetivo de se conhecer a posição e a largura da banda de frequência que dá a resposta diagnóstica do corpo na presença do manto.

As componentes em-fase sofrem um pequeno acréscimo, em baixas frequências, na presença do manto para todos os sistemas de bobinas estudados (ver por exemplo a Fig. 5 para o sistema horizontal coplanar). Esses valores vão crescendo até atingirem um valor máximo em determinada frequência e em seguida diminuem bruscamente até zero ou próximo de zero, em altas frequências. Nesta região de altas frequências a resposta do corpo está totalmente encoberta pela presença do manto e, conseqüentemente acusando somente o manto. Na quadratura os valores pico-a-pico, vão diminuindo, mudam de sinal, atingem um valor máximo negativo, em seguida diminuem até se anularem (Fig. 6).

Na presença do manto, os picos máximos positivos das componentes em-fase se situam aproximadamente na frequência onde a quadratura se anula, e os

picos máximos negativos da quadratura ocorrem aproximadamente onde as componentes em-fase, após brusca diminuição, atingem um valor mínimo em altas frequências. Nas componentes em-fase, os valores pico-a-pico da resposta do corpo, com e sem o manto, caminham próximos um do outro até determinada frequência perto do pico máximo, ou seja, esta é a faixa de frequências onde a resposta do corpo sofre menor influência devido ao manto. Enquanto na quadratura as respostas EM do corpo, na presença e na ausência do manto, tendem a se aproximar somente nas baixíssimas e nas altíssimas frequências (Fig. 5 e 6).

O corpo de maior condutância, C_3 , apresenta maior pico máximo na presença do manto. Um aumento na condutância do corpo (ou do manto) produz um deslocamento no pico máximo das anomalias para baixas frequências, conseqüentemente é diminuída a faixa de frequências onde o manto tem pouca influência sobre o corpo (Fig. 5).

Efeito da separação entre as bobinas

Um aumento na separação entre as bobinas com conseqüente aumento do parâmetro de resposta, provoca um deslocamento das anomalias para baixas frequências. Com isto, a faixa de frequências, na componente em-fase, onde a resposta do corpo é menos afetada pelo manto, diminui com o aumento da separação.

Efeito dos diferentes sistemas de bobinas

A influência do manto é mais fortemente sentida no sistema horizontal coplanar. Isto ocorre porque os sistemas que utilizam bobinas horizontais medem a componente vertical do campo magnético, por isso corpos condutivos com pequena inclinação ou horizontal, como o manto, fornecem excelente acoplamento neste tipo de sistema. Por outro lado, nos sistemas de bobinas verticais, que medem a componente horizontal do campo magnético, o melhor acoplamento é conseguido para corpos com grande inclinação ou verticais.

Análise dos resultados

Para analisar os resultados foram plotadas as amplitudes máximas em função da frequência correspondente, onde estas amplitudes foram obtidas para todos os conjuntos corpo-manto, nos vários sistemas de bobinas e separações T-R (por exemplo, Fig. 7, para o sistema horizontal coplanar).

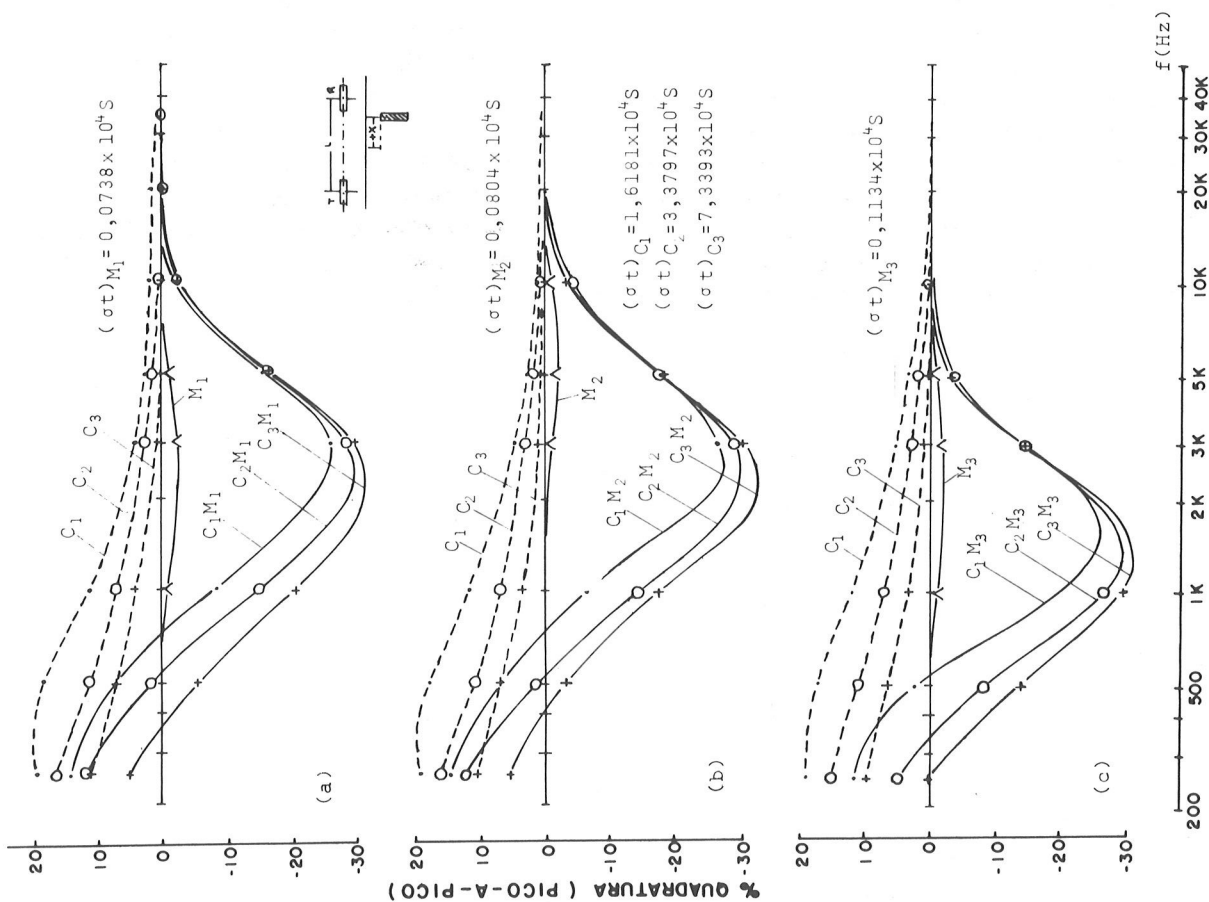


Figura 5 - Variação da componente em-fase com a condutância do corpo; sistema horizontal coplanar; L = 0,25 m.

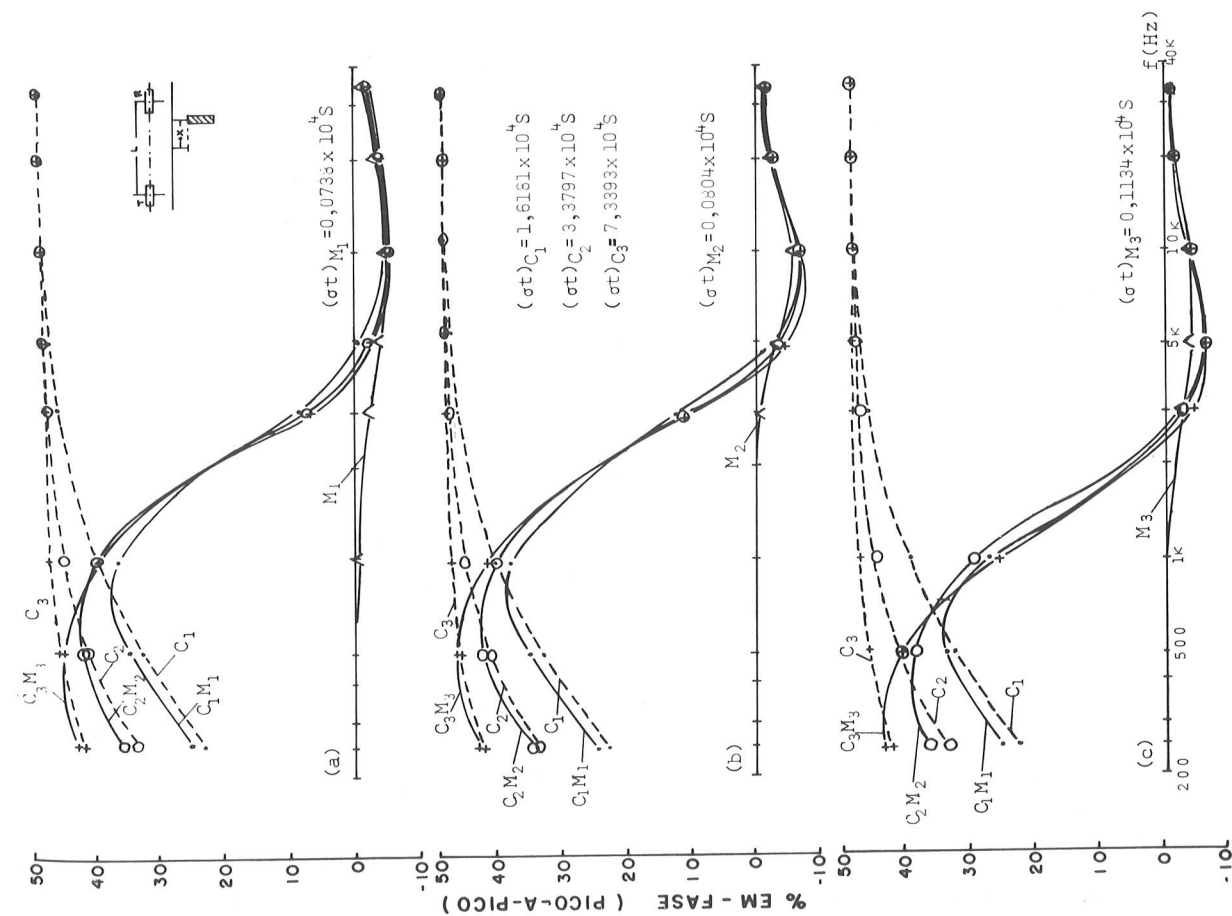


Figura 6 - Variação da componente em-quadratura com a condutância do corpo; sistema horizontal coplanar; L = 0,25 m.

As amplitudes maiores pertencem ao sistema horizontal coplanar seguindo-se o vertical coaxial e vertical coplanar. O aumento na separação T-R provoca um deslocamento das anomalias para baixo frequências em proporção às separações, por exemplo, L_2 (0,20 m) e L_3 (0,25 m) foram deslocados em relação ao eixo L_1 (0,15 m) pelas razões constantes 1,333 (0,20/0,15) e 1,666 (0,25/0,15) respectivamente. Portanto esses valores de amplitude máxima podem ser controlados por uma variação tanto na separação T-R como na frequência.

O sistema que apresenta maior faixa de frequências onde o manto tem menor influência na resposta EM do corpo é o vertical coaxial, cujos picos máximos ocorrem numa faixa de 600 Hz a 3 kHz para as componentes em-fase e 2,2 kHz a 9 kHz para a quadratura. No sistema vertical coplanar esta faixa é de 400 Hz a 2 kHz para a componente em-fase e 1,6 kHz a 6,5 kHz para a quadratura e no horizontal coplanar a faixa é de 300 Hz a 1,6 kHz para a componente em-fase e 1 kHz a 4 kHz para a quadratura.

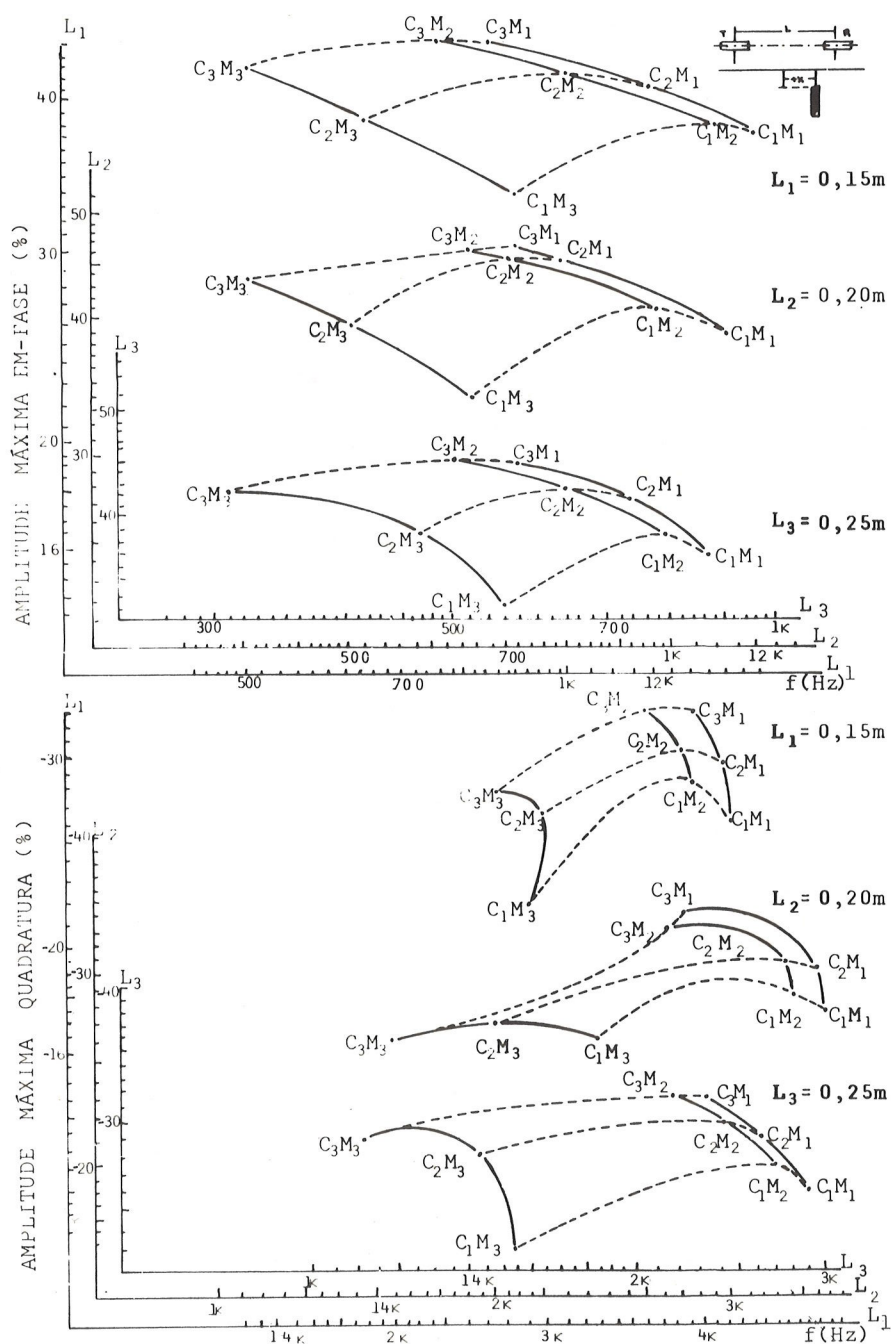


Figura 7 - Variação da amplitude das anomalias com a frequência nas várias separações de bobinas; sistema horizontal coplanar.

Ao manto de maior condutância está associada a maior atenuação, para frequências constantes. Isto ocorre porque quando o campo magnético atravessa o condutor, a uma profundidade de $503,3 (1/f\sigma)^{1/2}$ m, chamada de "skin-depth", δ , sofre uma rotação de 180° e sua amplitude é atenuada de $1/e$ de seu valor original. Desta maneira, tanto o campo primário quanto o campo secundário, ao atravessarem o manto antes de chegarem ao receptor, sofrem uma rotação de $180^\circ\delta$ e uma atenuação de $1/e\delta$ de seu valor original para cada metro de espessura do manto.

As rotações e atenuações sofridas pelo campo primário ao atravessar o manto, são responsáveis pelos deslocamentos dos perfis em relação à base de referência. Esses deslocamentos correspondem à resposta do manto. Observa-se no sistema horizontal coplanar (Fig. 8) – o mais afetado pelo manto – que para altos valores do parâmetro de resposta do manto em frequências maiores que 5 kHz, que a rotação na fase é grande e os deslocamentos das bases dos perfis em-fase e quadratura são negativos, isto é, abaixo da base de referência. Além disso, devido a grande interação entre o corpo e o manto neste caso, ambas as componentes do campo tornam-se reversas.

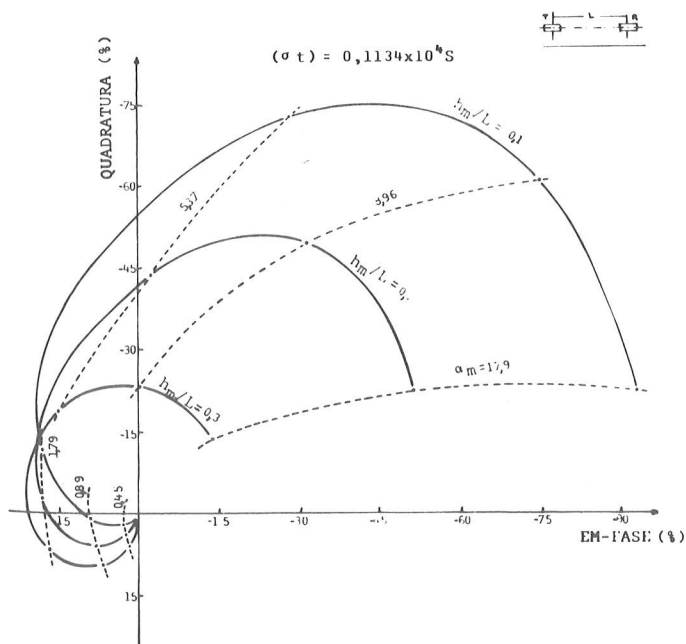


Figura 8 - Resposta obtidas para o manto M_3 variando a frequência. Sistema horizontal coplanar; $L = 0,20$ m.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados conhecidos pode-se verificar que a resposta EM de corpos condutores em regiões com manto de intemperismo, são afetadas em maior ou menor intensidade dependendo do sistema de prospecção e das frequências e/ou separações de bobinas utilizadas.

O sistema horizontal coplanar apresenta a menor faixa de frequências onde a resposta do corpo é menos influenciada pela presença do manto e a faixa mais larga pertence ao vertical coaxial. Para todos os corpos de condutância no intervalo de 30 S a 150 S e os mantos entre 1,3 S a 2,3 S simulados neste trabalho, a influência do manto será fortemente sentida no sistema horizontal coplanar para frequências maiores de 900 Hz na maior separação utilizada de 125 m aproximadamente (para um fator de escala em torno de 500). Enquanto esta influência no sistema vertical coplanar será verificada depois de 1,3 kHz e no vertical coaxial depois de 1,7 kHz.

Assim em trabalhos de campo, a partir do conhecimento da condutância do manto por meio de outro método, para o uso de sistemas com bobinas horizontais, recomenda-se que sejam utilizadas frequências abaixo de 1 kHz em casos de mantos com condutância igual a M_3 , ou seja, $\sigma t \approx 2,27$ S para uma separação T-R em torno de 75 m (neste caso, $L_1 = 0,15$ m). Até esta frequência obtém-se a melhor razão em-fase/quadratura com pouca influência do manto. Se for necessário aumentar (ou diminuir) a separação para um valor L_2 qualquer, basta diminuir (ou aumentar) a frequência pela razão L_2/L_1 que a amplitude máxima sofrerá pouca alteração. No caso de mantos com condutância em torno de M_1 ($\sigma t \approx 1,4$ S), frequências abaixo de 1,6 kHz são aconselháveis para a mesma separação acima.

No sistema vertical coplanar a melhor resposta EM na presença de manto com condutância M_3 , se obtém em frequências abaixo de 1,4 kHz para separações em torno de 75 m. Uma diminuição na condutância do manto para M_1 , aumenta esta faixa de frequências para abaixo de 2 kHz, na mesma separação.

Em sistemas verticais coaxiais, nas mesmas situações acima, isto é, sobre mantos com condutância M_3 , a melhor resposta se obtém para frequências abaixo de 1,8 kHz e sobre mantos com condutância M_1 , a melhor resposta foi conseguida em frequências abaixo de 3 kHz, para separações em torno de 75 m. No caso de aumento (ou diminuição) na separação, o mesmo critério utilizado no sistema horizontal coplanar poderá ser usado nos sistemas verticais.

REFERÊNCIAS

- LAJOIE, J.J. & WEST, G.F. - 1977 - Short note: Two selected fields examples of EM anomalies in a conductive environment. *Geophysics*, **42**: 655-660.
- LOWRIE, W. & WEST, G.F. - 1965 - The effect of a conducting overburden on electromagnetic prospecting measurements. *Geophysics*, **30**: 624-632.
- PALACKY, G.J. & KADEKARU, K. - 1978 - Efeito do intemperismo tropical nos levantamentos eletromagnéticos. *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife*, **5**: 2323-2330.
- PARASNIS, D.S. - 1971 - Analysis of some multi-frequency, multi-separation electromagnetic surveys. *Geophys. Prospect.*, **19**: 163-179.
- PRESTON, B. - 1975 - Review - Difficulties for the electromagnetic method in Australia. *Geoexploration*, **13**: 29-43.
- SILVA, L.M.C. & VERMA, O.P. - 1986 - Efeitos do manto de intemperismo sobre anomalias eletromagnéticas (HLEM) geradas por corpos tabulares inclinados. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**: 285-293.
- SINCLAIR, G. - 1948 - Theory of electromagnetic system. *Proc. I.R.E.* **36**: 1364-1370.
- VILLEGAS-GARCIA, C.J. - 1979 - On the electromagnetic response of nonuniform overburden layers: Scale model experiment. *Res. Appl. Geophys.*, Department of Physics, University of Toronto. 44 pp.

Versão original recebida em Ago./86;
Versão final, em Nov./87.