

## EFEITOS DA TOPOGRAFIA NA RESPOSTA ELETROMAGNÉTICA DE CORPOS BIDIMENSIONAIS NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

Sérgio Brochado<sup>1</sup> & Luiz Rijo<sup>2</sup>

O método dos elementos finitos foi utilizado para modelar a influência da topografia nas respostas eletromagnéticas de um declive, aclave, vale e colina num meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente. Verificou-se que a amplitude da componente vertical do campo magnético, praticamente, não varia com a topografia em nenhum dos modelos analisados. A fase, entretanto, apresenta claramente uma rotação no sentido anti-horário devido ao declive e no sentido horário devido ao aclave, com relação ao valor da fase do modelo com topografia plana. Esses efeitos são observados apenas sobre a parte inclinada da topografia e aumentam de intensidade à medida que a resistividade do meio decresce. Os efeitos de um vale na fase de  $H_z$  são a combinação dos efeitos do declive e do aclave que formam as paredes laterais do vale. A presença do vale faz com que o efeito da parede inclinada, oposta à linha de corrente, seja bem maior do que a de um aclave isolado. Os efeitos de uma colina são inversos e mais intensos do que os do vale. Esses modelos simples serviram de base para se analisar a influência da topografia na resposta eletromagnética de um corpo condutivo num meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente. Para isso, foram investigados modelos com o corpo sob um vale e sob uma colina. A amplitude e a fase de  $H_z$  devido ao corpo, crescem na presença do vale e decrescem na presença da colina. Os efeitos na fase são mais intensos do que na amplitude. Observou-se que a amplitude de  $H_x$  apresenta o mesmo comportamento da componente vertical, enquanto que a fase de  $H_x$ , ao contrário da fase de  $H_z$ , praticamente não varia com a topografia. Devido ao comportamento peculiar das componentes  $H_x$  e  $H_z$  com respeito a topografia, torna-se possível discriminá-los de outros efeitos.

EFFECTS OF THE TOPOGRAPHY ON THE ELECTROMAGNETIC RESPONSE OF BIDIMENSIONAL CONDUCTIVE BODIES IN THE FREQUENCY DOMAIN – The finite element modelling was carried out to study the topography effects on the electromagnetic response of a downward slope, upward slope, valley and hill in an homogeneous media. It was observed that the amplitude of the vertical magnetic component is not affected by the topography in any of the studied models. The phase, however, shown clearly a counterclockwise rotation due to the downward slope and a clockwise due to the upward slope, compared to the phase of the homogeneous medium with flat topography. These effects are restricted only to the inclined portion of the topography. Their intensity increases when the resistivity decreases. The effects of a valley on the  $H_z$  phase are the combination of those of a downward and upward slopes. The presence of the valley makes the effect due to the inclined wall, far side to the line source, much greater than due to an isolated upward slope. The effects due to a hill are opposite to and larger than those of a valley of same dimension. These simple models were used as a base to analyse the influence of the topography on the electromagnetic earth. With this objective, models with a body under a valley and under a hill were analysed. The amplitude and the phase due to the body increases in the presence of the valley and

1 Curso de Pós-Graduação em Geofísica, CG, Universidade Federal do Pará, Caixa Postal 309, 66000 Belém, PA

2. Departamento de Geofísica - CG, Universidade Federal do Pará, Fax: (091) 229,9677 Caixa Postal 1611, 66050 Belém, PA

decreases in the presence of a hill. The effects in the phase is much intense than in the amplitude. The effects on the  $H_x$  amplitude show the same behaviour that of a vertical component. However, the  $H_x$  phase, contrary to the  $H_z$ , practically does not change with the topography. Because of the distinctive behaviour of  $H_x$  and  $H_z$  components due to the topography, this may help in discriminating it from other effects.

## INTRODUÇÃO

Em vários países, principalmente Canadá, Escandinávia e Austrália, entre todos os métodos geofísicos, os métodos eletromagnéticos têm sido os mais eficientes na prospecção de metais básicos. Além da tradicional aplicação na prospecção mineral, os métodos eletromagnéticos também são usados na prospecção de petróleo e água subterrânea.

O princípio básico dos métodos eletromagnéticos é muito simples. Consiste, essencialmente, de um transmissor de energia eletromagnética e um receptor que capta as interferências nas ondas eletromagnéticas do transmissor devido a presença de bons condutores na subsuperfície. Na prática, entretanto, a situação é bem mais complicada, visto que não apenas as estruturas de interesse econômico (e.g. corpos mineralizados) respondem à excitação eletromagnética como também as rochas encaixantes e o manto de intemperismo. Além disso, os levantamentos de prospecção eletromagnética nem sempre são realizados em áreas de topografia plana, um fator que pode complicar ainda mais o comportamento das respostas eletromagnéticas. Nos últimos anos tem havido, por parte de muitos pesquisadores, um grande esforço para compreender detalhadamente a influência de cada um desses fatores, visando aprimorar os procedimentos de interpretação das respostas eletromagnéticas.

Os estudos sobre os efeitos da topografia nos métodos eletromagnéticos são ainda muito escassos. Recentemente, Wannamaker et al. (1986) investigaram os efeitos da topografia nas respostas magnetotélúricas e concluíram que o posicionamento dos sensores de campo magnético no plano horizontal reduz sensivelmente os efeitos topográficos com relação aos sensores localizados paralelamente à topografia. Travassos & Beamish (1988) verificaram que a topografia de uma rampa introduz um falso gradiente nas curvas MT dando a impressão da presença de uma camada fictícia extra na secção geoeletrica de um meio estratificado. No caso dos métodos galvânicos (corrente contínua), Rijo (1977) fez um estudo detalhado dos efeitos da topografia nos dados de resistividade aparente e polarização induzida (IP). Fox et al. (1980) continuando o trabalho de Rijo (1977) propôs um esquema para corrigir os efeitos da topografia nos dados de resistividade aparente. Segundo esses autores, os efeitos da to-

pografia são causados tanto pelo fator geométrico no cálculo da resistividade aparente, como na redistribuição das linhas de corrente na subsuperfície. As correntes divergem abaixo de uma colina e convergem abaixo de um vale, produzindo, respectivamente, baixas e altas resistividades aparentes. O PFE (percent frequency effect), segundo esses autores, não sofre o efeito da topografia.

Com exceção do trabalho de Travassos & Beamish (1988), o modelamento da topografia nos trabalhos acima citados foi realizado através da técnica numérica dos elementos finitos. Devido a flexibilidade do uso de malhas com elementos isoparamétricos, o método dos elementos finitos é, atualmente, o mais adequado para simular modelos com topografia, Rijo (1982).

O nosso objetivo no presente trabalho é, investigar os efeitos da topografia nas anomalias eletromagnéticas, no domínio da frequência, de corpos bidimensionais na presença de uma linha infinita de corrente paralela ao "strike" do corpo. A linha de corrente age como transmissor de energia eletromagnética enquanto o receptor são pequenas bobinas para medir as componentes vertical e horizontal do campo magnético. Este modelo, denominado de 2D-2D, tem sido estudado exaustivamente por vários pesquisadores, Coggon (1971), Hohmann (1971), Rijo (1977), Oristaglio & Hohmann (1984), Adhijaja et al. (1985), entre outros. Contudo, em nenhum desses trabalhos os efeitos da topografia foram levados em consideração. A importância prática do modelo 2D-2D é na prospecção mineral de diques mineralizados através do método Turam (Ward, 1967).

## GENERALIDADES SOBRE OS MODELOS

Embora o nosso objetivo primordial seja analisar os efeitos da topografia nas anomalias eletromagnéticas de corpos condutivos na subsuperfície, é preciso, de antemão, compreender com clareza os efeitos da topografia de um meio homogêneo, ou seja, do meio encaixante sem o corpo condutivo. Com isso em mente, selecionamos quatro modelos contendo declive, aclave, vale e colina num meio homogêneo. Com a experiência adquirida nesses quatro modelos iniciais, selecionamos, em seguida, dois modelos para estudar o efeito topográfico de um corpo condutivo: um com o corpo

sob um vale e o outro com o corpo sob uma colina. Portanto, ao todo, serão analisados seis modelos.

Os resultados dos quatro modelos iniciais estão apresentados tanto em termos de amplitude da componente  $H_z$  normalizada pelo valor do campo magnético primário de uma linha infinita de corrente contínua localizada no ar ( $H_{ar} = 1/(2\pi x)$ ) como também em termos de fase de  $H_z$ . Além da componente  $H_z$ , os resultados dos modelos com o corpo condutivo também estão apresentados em termos da componente  $H_x$ .

Para facilitar a visualização dos efeitos da topografia, os gráficos dos resultados dos modelos com topografia (linha cheia) são comparados com os respectivos gráficos dos modelos sem topografia (linha tra-

cejada). Em todos os modelos apresentados, a frequência da corrente na linha infinita é de 1000 Hz.

### Modelo 1. Declive num meio homogêneo

O modelo 1 ilustrado na Fig. 1 representa um declive com 3 graus de inclinação, 400 m de comprimento na horizontal e 20 m de desnível na vertical. A linha de corrente do transmissor está situada a 200 m à esquerda do início do declive na sua parte mais alta. Três valores de resistividades (10, 100 e 1000  $\Omega.m$ ) correspondentes a um meio homogêneo condutivo, um meio moderadamente condutivo e um meio resistivo foram utilizados nesse modelo.

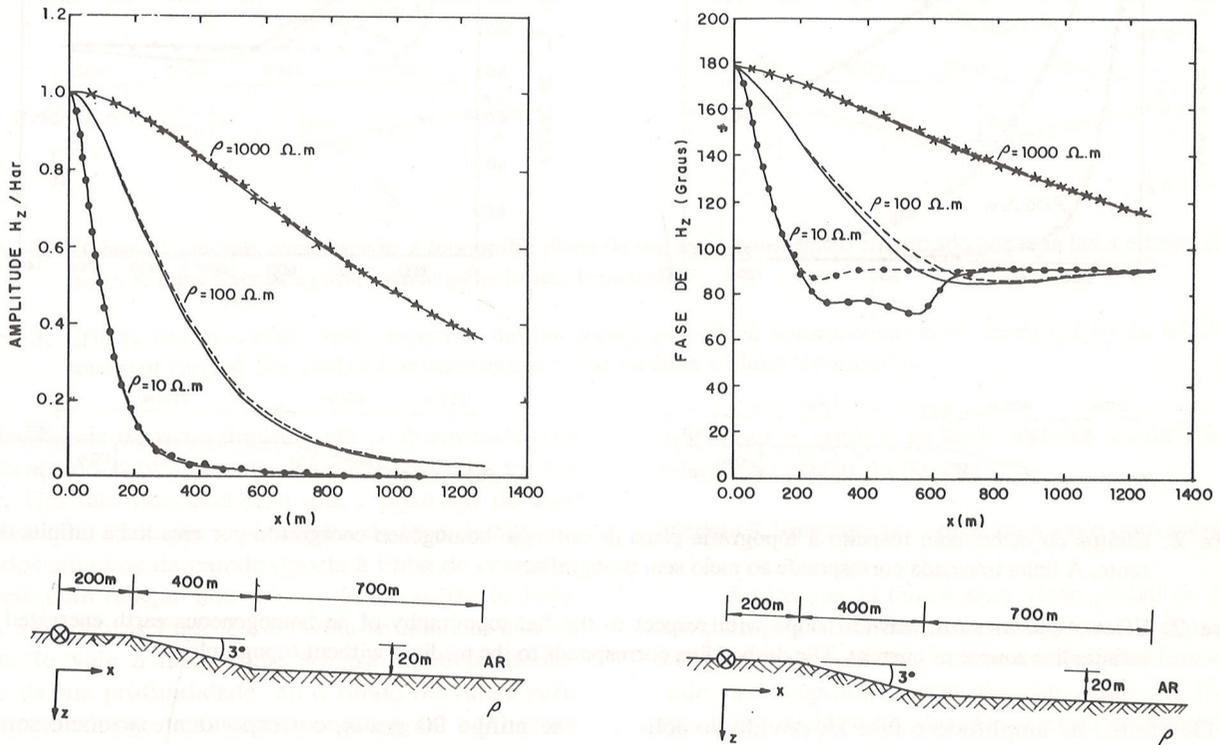


Figura 1. Efeitos do declive com respeito à topografia plana de um meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente. A linha tracejada corresponde ao meio sem topografia.

Figure 1. Effects due to an upward slope with respect to the flat topography of an homogeneous earth energized by an infinite line source of current. The dashed line corresponds to the medium without topography.

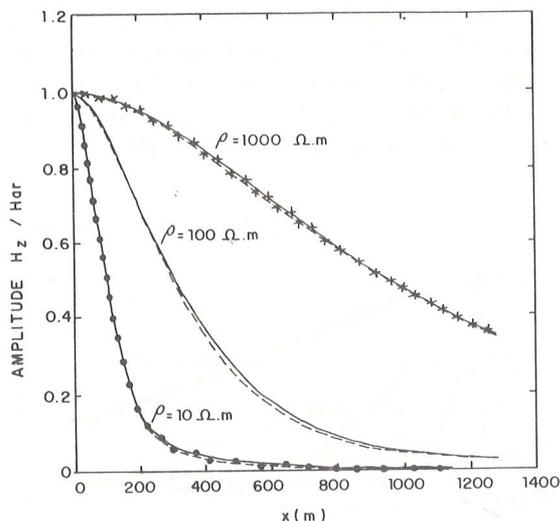
Observando a Fig. 1, nota-se que os valores da amplitude normalizada  $H_z/H_{ar}$ , praticamente não são afetados pela topografia, independentemente se o meio for condutivo, moderadamente resistivo ou resistivo. Por outro lado, observa-se nos dados da fase de  $H_z$  um aumento gradativo da influência do declive à medida que o meio torna-se mais condutivo. Este efeito corresponde a uma rotação da fase no sentido anti-horário com relação a de um meio sem topografia e se restrin-

ge, praticamente, às observações feitas sobre o declive. É interessante observar que após cessar a influência de declive, a fase retorna ao valor de 90 graus correspondente ao meio sem topografia, mesmo levando em conta o desnível entre os pontos de observação e a linha de corrente. O fato do efeito topográfico só se manifestar nos valores da fase e não da amplitude é um bom resultado, porque, dessa maneira, é possível discriminá-lo de qualquer outro efeito que modifique si-

multaneamente a amplitude e a fase.

### Modelo 2. Aclive num meio homogêneo

O modelo 2 ilustrado na Fig. 2 representa um aclive tendo 3 graus de inclinação, 400 m de comprimento na horizontal e 20 m de desnível na vertical.



A linha de corrente do transmissor está situada a 200 m à esquerda do início do aclive na sua parte mais baixa. A exemplo do modelo anterior, foram utilizados três valores de resistividades (10, 100 e 1000  $\Omega.m$ ) para simular meios homogêneos condutivos, meios moderadamente condutivos e meios resistivos.

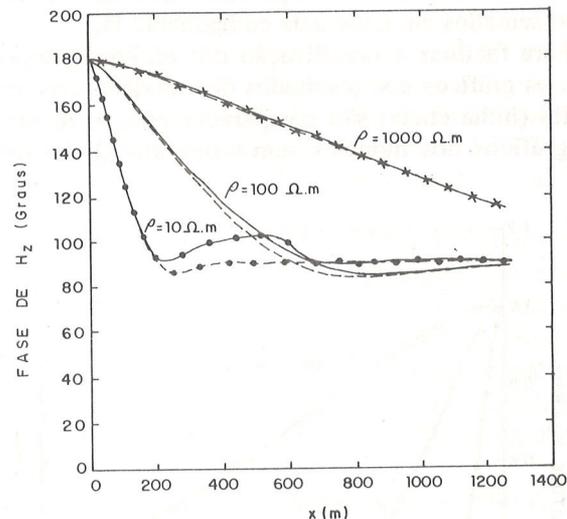


Figura 2. Efeitos do aclive com respeito à topografia plana de um meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente. A linha tracejada corresponde ao meio sem topografia.

Figure 2. Effects due to an downward slope with respect to the flat topography of an homogeneous earth energized by an infinite line source of current. The dashed line corresponds to the medium without topography.

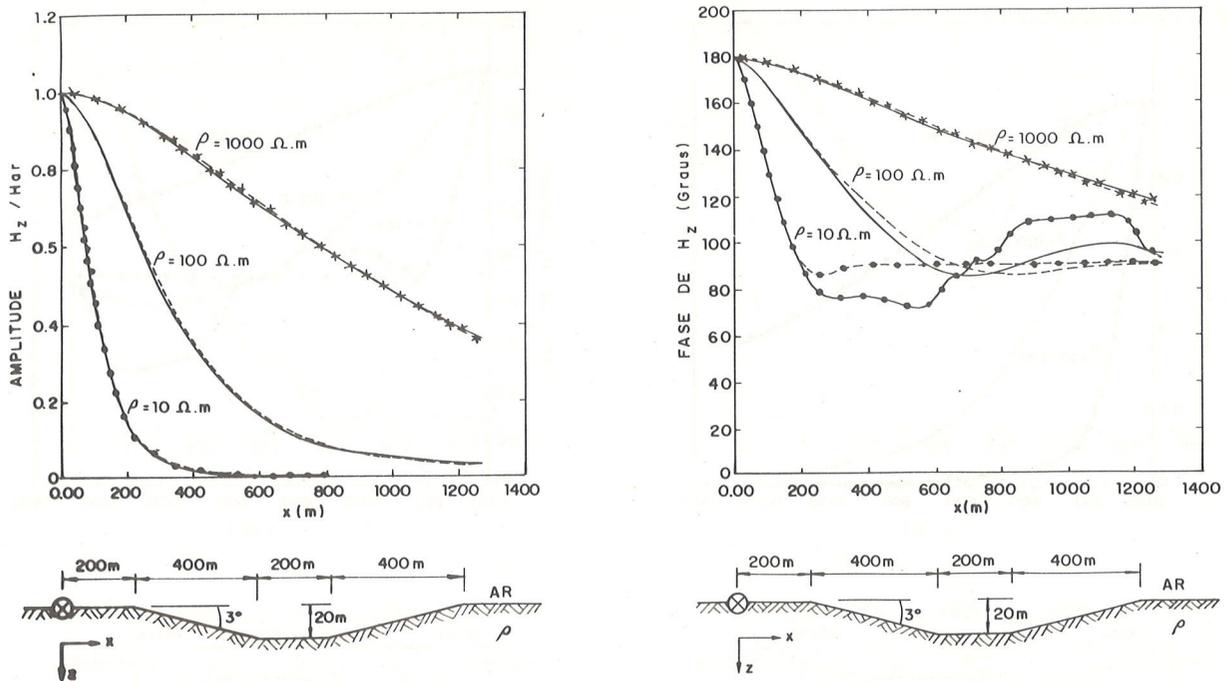
Os efeitos na amplitude e fase  $H_z$  devido ao aclive são praticamente inversos aos do aclive como ilustram as Figs. 1 e 2. De fato, observando atentamente os gráficos da amplitude normalizada  $H_z/H_{ar}$  nota-se um pequenino desvio, para cima no caso do declive e para baixo no caso do aclive, com relação aos valores de um meio sem topografia. Embora presentes, esses desvios são tão pequenos que na prática eles dificilmente serão detectados em virtude do ruído nos dados. Aqui, eles são observados porque o erro numérico nessas curvas é muito menor que o valor do desvio. Com respeito a fase de  $H_z$ , o efeito devido ao aclive corresponde a uma rotação no sentido horário, com relação ao meio sem topografia, conseqüentemente, oposto ao observado no declive. A exemplo desse, os efeitos na fase só se manifestam, em cima do aclive, diminuindo rapidamente logo após atingir o topo. A partir daí a fa-

se atinge 90 graus, correspondente ao meio sem topografia, mesmo considerando o patamar acima da linha de corrente.

### Modelo 3. Vale num meio homogêneo

O terceiro modelo, como mostra a Fig. 3, corresponde a um vale simétrico de 1000 m de largura, 20 m de profundidade e paredes laterais de 400 m de comprimento na horizontal e inclinação de 3 graus.

Observando-se as Figs. 1, 2 e 3, nota-se que os efeitos do vale na amplitude de  $H_z/H_{ar}$  e na fase de  $H_z$  é, praticamente, a combinação dos efeitos de um declive e de um aclive. Os valores da amplitude de  $H_z/H_{ar}$  são praticamente insensíveis à topografia, exatamente como nos casos do aclive e do declive. Do mesmo modo, os efeitos na fase de  $H_z$ , aumentam na medida que



**Figura 3.** Efeitos de um vale com respeito à topografia plana de um meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente. A linha tracejada corresponde ao meio sem topografia.

**Figure 3.** Effects due to a valley with respect to the flat topography of an homogeneous earth energized by an infinite line source of current. The dashed line corresponds to the medium without topography.

a resistividade do meio diminui, em conformidade com o aumento do contraste entre a resistividade da terra e do ar. Um fato interessante é que a presença do vale faz com que a rotação dos valores da fase de  $H_z$ , observados em cima da parede oposta à linha de corrente, aumente com relação aos valores de um aclave isolado, como mostram as Figs. 2 e 3. Nota-se também que no centro do vale a fase atinge 90 graus independentemente da sua profundidade. Se o fundo do vale é suficientemente longo, a fase permanece igual a 90 graus até atingir a parede oposta à linha. Exatamente como nos casos do aclave e declive, os efeitos topográficos aumentam com a diminuição da resistividade.

#### Modelo 4. Colina num meio homogêneo

O modelo da colina num meio homogêneo está ilustrado na Fig. 4. As suas dimensões são idênticas às do vale.

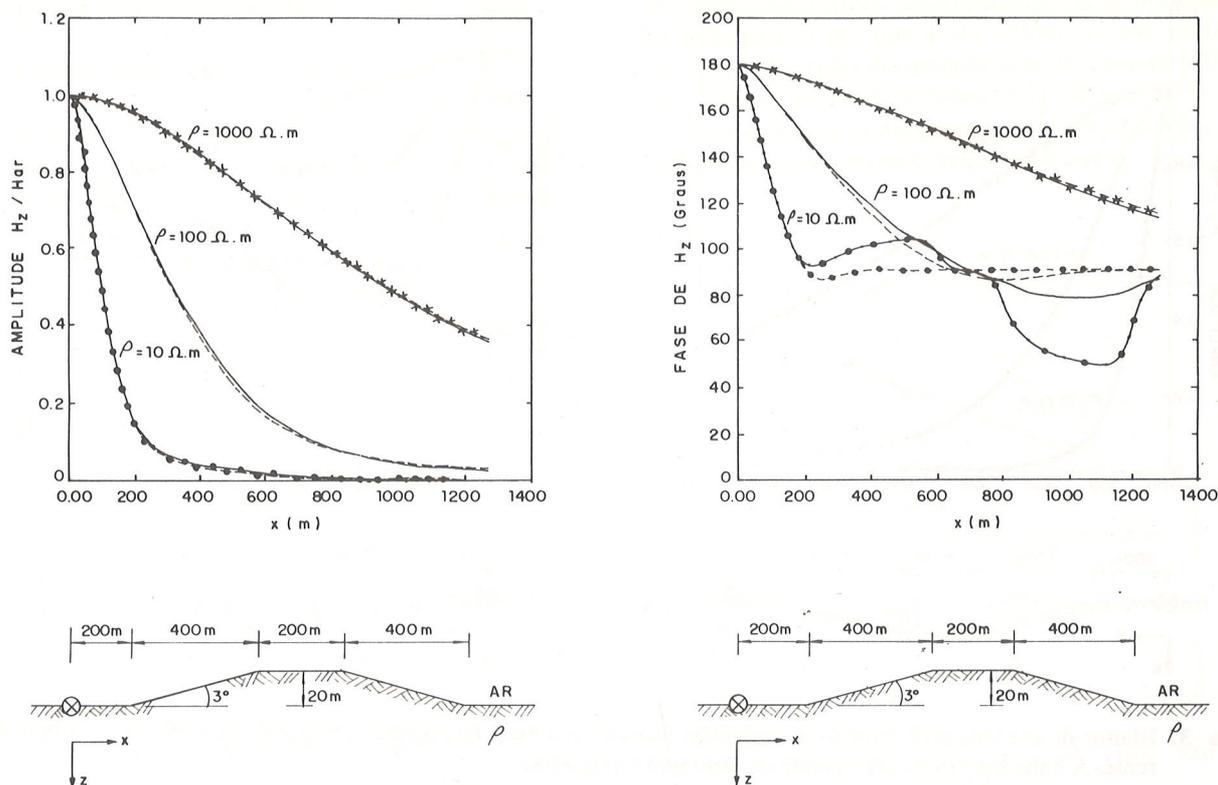
Da mesma maneira como os efeitos da topografia no caso do aclave são opostos aos do declive, os efeitos de uma colina na amplitude de  $H_z/H_{ar}$  e na fase de  $H_z$  de um meio homogêneo são praticamente opostos aos do vale. Contudo, observa-se que o efeito na rotação da fase sobre a parede oposta à linha de corrente, é maior no caso da colina do que no caso do vale, o

que torna o gráfico da fase bastante assimétrico com relação ao centro da colina.

#### Modelo 5. Vale com um corpo num meio homogêneo

Agora que já temos uma visão global da influência da topografia num meio homogêneo energizado por uma linha de corrente, vamos analisar os efeitos de um vale nas amplitudes normalizadas  $H_z/H_{ar}$  e  $H_x/H_{ar}$  e nas fases de  $H_z$  e  $H_x$  devido a um corpo condutivo bi-dimensional, num meio homogêneo, energizado por uma linha infinita de corrente paralela ao strike do corpo, como ilustram as Figs. 5a e 5b. As dimensões do vale são idênticas as da Fig. 3. O corpo de resistividade igual a  $2 \Omega.m$ , tem 10 m de altura, 15 m de largura, e está localizado abaixo do centro do vale a 45 m de profundidade.

A Fig. 5a mostra a amplitude de  $H_z/H_{ar}$  e a fase de  $H_z$  devido um corpo condutivo num meio encaixante de resistividade igual a 1000 e 100  $\Omega.m$ , na presença do vale, e também para comparação, as do corpo sem o vale. A influência do vale é intensificar a resposta do corpo em relação a resposta sem o vale, como se o corpo estivesse a uma menor profundidade. Na mesma figura, para fins de comparação, mostra-se também a resposta do semi-espaço homogêneo na pre-



**Figura 4.** Efeitos de uma colina com respeito à topografia plana de um meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente. A linha tracejada corresponde ao meio sem topografia.

**Figure 4.** Effects due to a hill with respect to the flat topography of an homogeneous earth energized by an infinite line source of current. The dashed line corresponds to the medium without topography.

sença do vale (Modelo 3, Fig. 3). A medida que o contraste entre a resistividade do corpo indutivo e do meio encaixante diminui, o efeito topográfico na amplitude praticamente desaparece, enquanto que o efeito na fase se intensifica.

A Fig. 5b mostra as anomalias da componente vertical normalizada  $H_x/H_{ar}$  e a fase de  $H_x$  devido ao mesmo modelo. A exemplo da componente vertical, o efeito do vale na amplitude normalizada da componente vertical é intensificar a anomalia do corpo como se este estivesse a uma profundidade mais rasa. Por outro lado, ao contrário da componente vertical, a fase da componente vertical devido ao corpo é, praticamente, insensível à presença do vale.

#### Modelo 6. Colina com um corpo num meio homogêneo

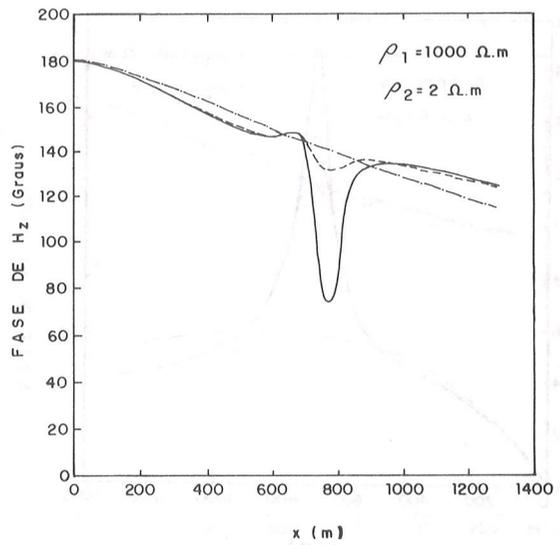
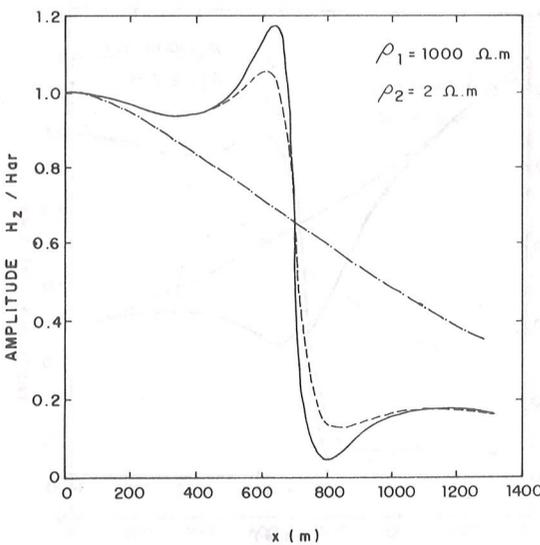
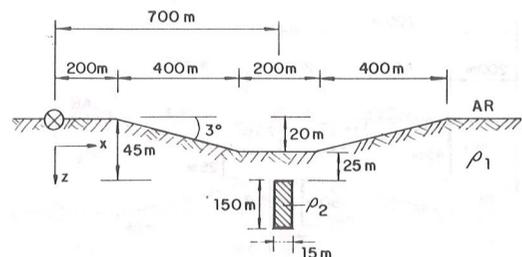
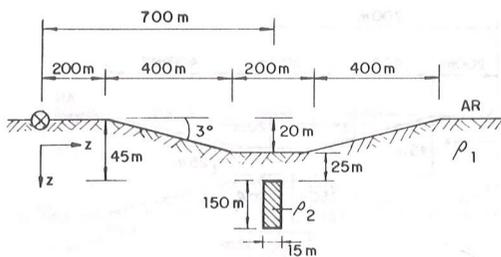
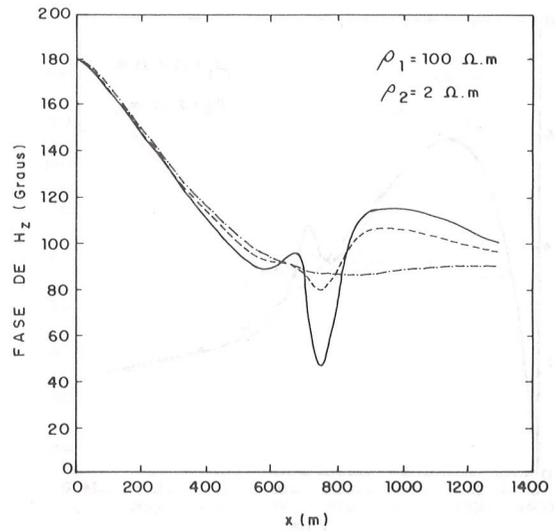
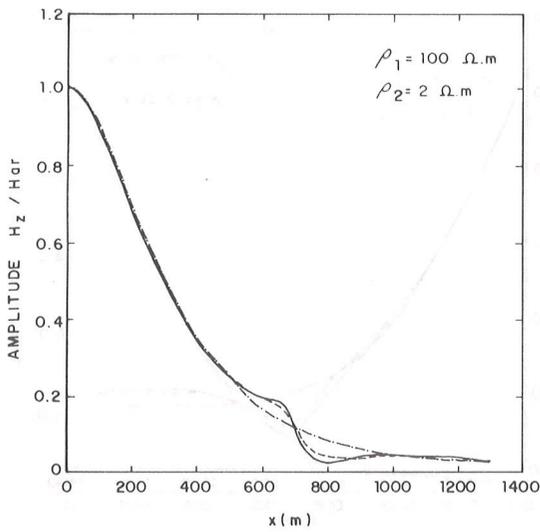
Os diagramas das Figs. 6a e 6b mostram os efeitos de uma colina nas respostas de um corpo condutivo num meio homogêneo, energizado por uma linha infinita de corrente paralela ao "strike" do corpo. As dimensões desse modelo são idênticas as das Figs. 5a e

5b, com exceção da profundidade do corpo que agora é de 65 m, localizado abaixo do centro da colina.

A Fig. 6a ilustra a amplitude de  $H_z/H_{ar}$  e a fase de  $H_z$  das respostas do corpo num meio encaixante de resistividade igual a 1000 e 100  $\Omega.m$  na presença da colina e sem a colina. Comparando as Figs. 5 e 6, conclui-se que os efeitos da colina na resposta do corpo são opostos aos do vale de mesmas dimensões. Isto significa que a influência da colina é diminuir a resposta do corpo, como se esse estivesse a uma maior profundidade. Na mesma figura, com o intuito de comparação, é mostrado também a resposta do meio encaixante apenas com a colina (Modelo 4, Fig. 4). A Fig. 6a ilustra a componente normalizada horizontal  $H_x/H_{ar}$  e a fase de  $H_x$  da resposta do corpo com e sem topografia. A exemplo do modelo anterior, o efeito da colina na fase da componente  $H_x$  é, praticamente, imperceptível.

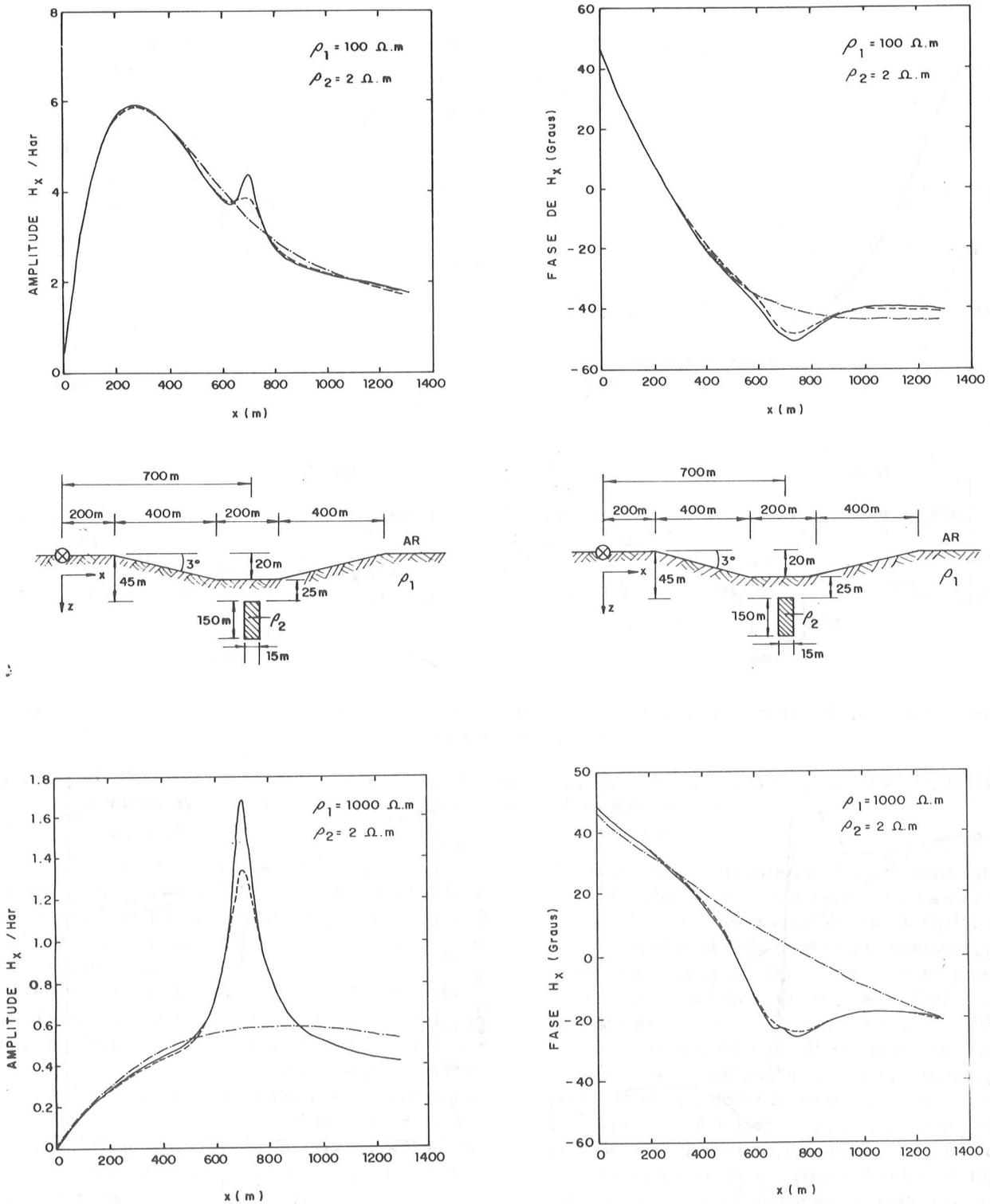
#### CONCLUSÃO

A influência da topografia na amplitude normali-



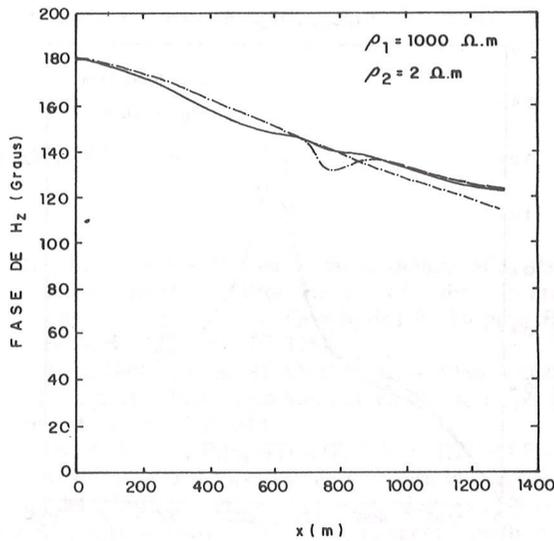
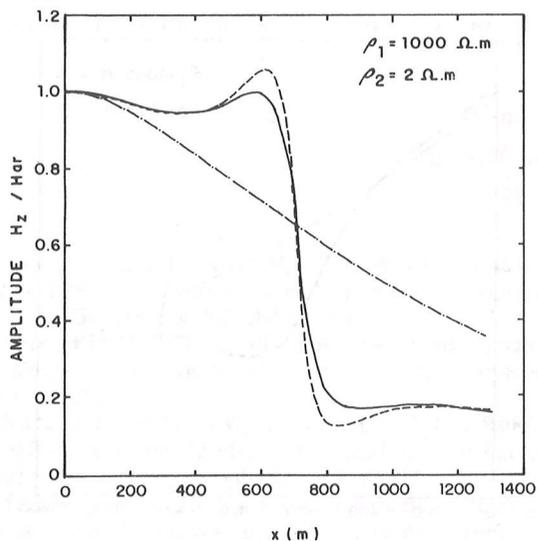
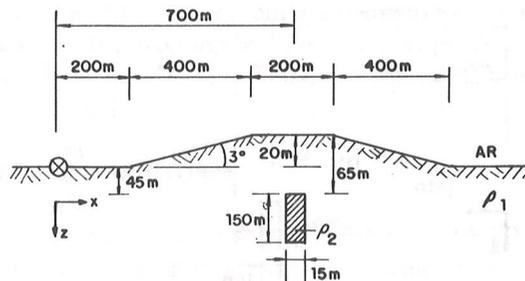
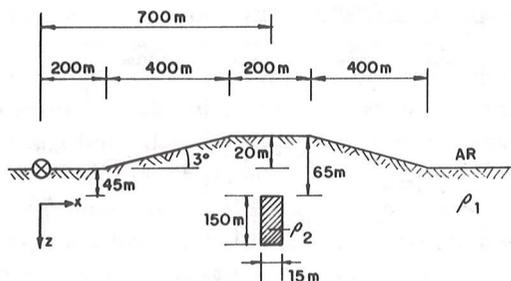
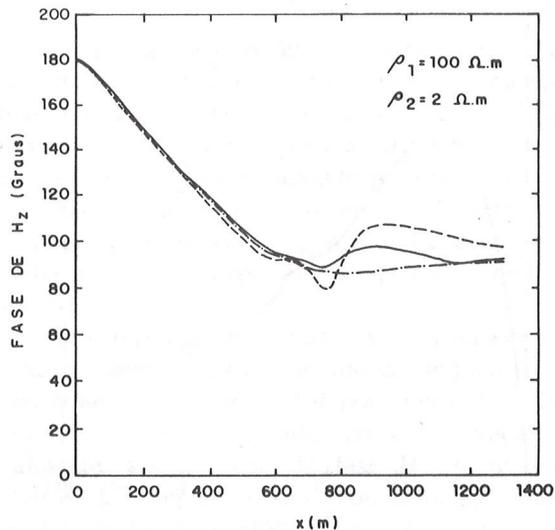
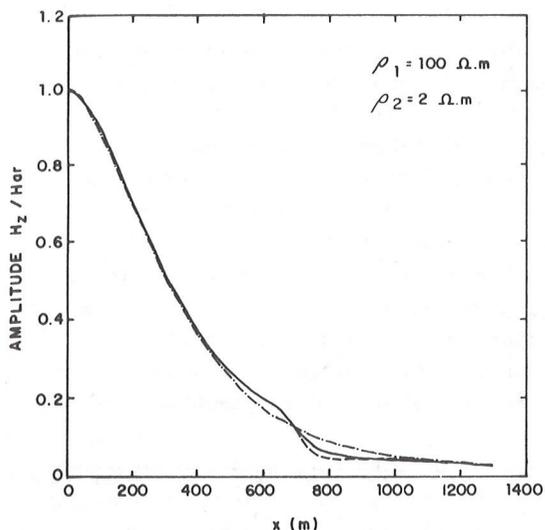
**Figura 5a.** Efeitos de um vale na componente  $H_z$  devido a um corpo condutivo bidimensional energizado por uma linha infinita de corrente paralela ao "strike" do corpo. A linha tracejada corresponde à resposta do corpo sem o vale e a linha traço-pontilhada corresponde ao vale sem o corpo.

**Figure 5a.** Effects of a valley on the  $H_z$  component due to a conductive bidimensional body energized by an infinite line source of current parallel to the strike of the body. The dashed line corresponds to the response of the body without the valley and the dash-dotted line corresponds to the valley without the body.



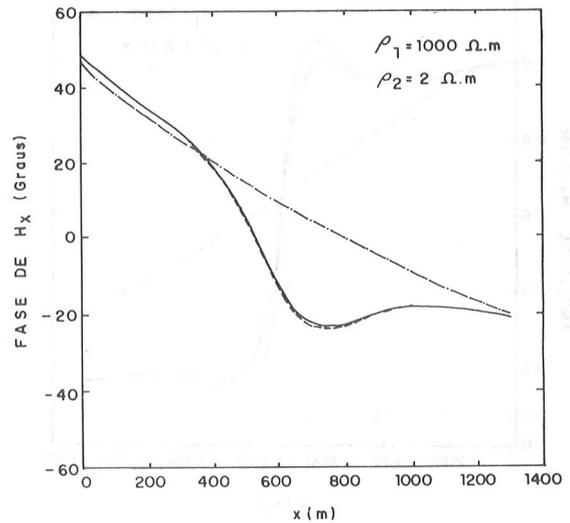
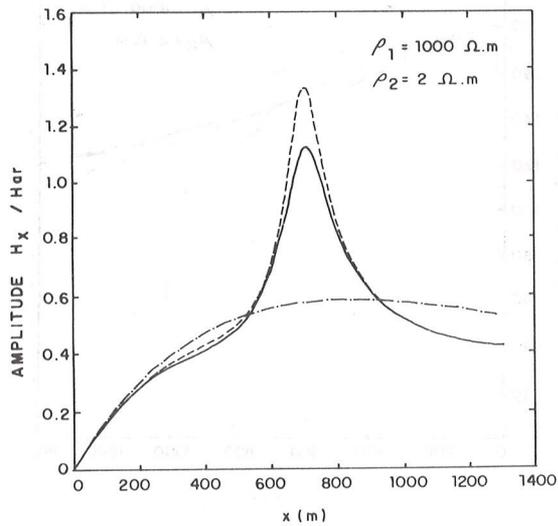
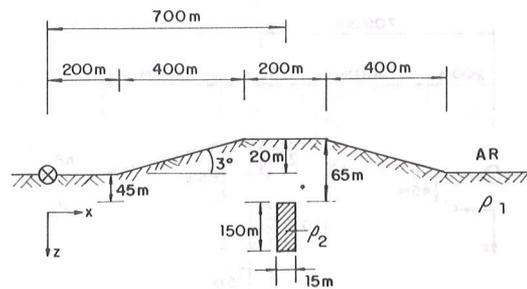
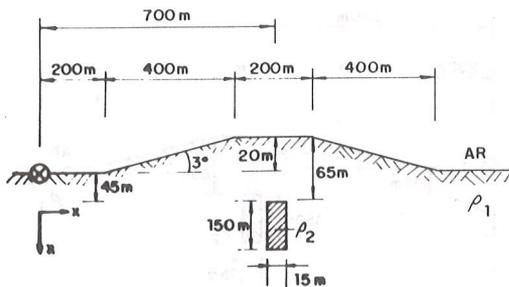
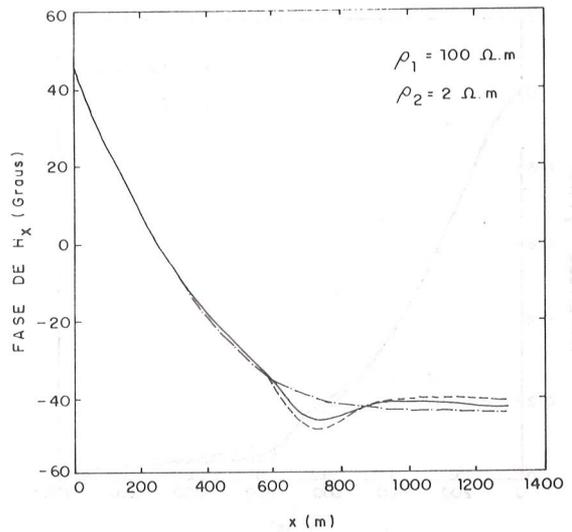
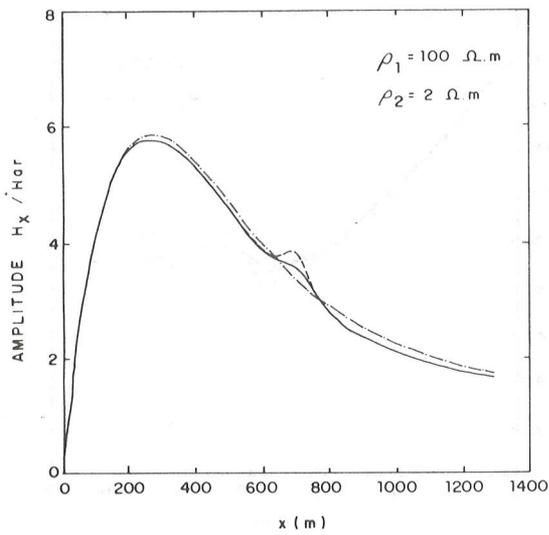
**Figura 5b.** Efeitos de um vale na componente  $H_x$  devido a um corpo condutivo bidimensional energizado por uma linha infinita de corrente paralela ao "strike" do corpo. A linha tracejada corresponde à resposta do corpo sem o vale e a linha tracejada-pontilhada corresponde ao vale sem o corpo.

**Figure 5b.** Effects of a valley on the  $H_x$  component due to a conductive bidimensional body energized by and infinite line source of current parallel to the strike of the body. The dashed line corresponds to the response of the body without the valley and the dash-dotted line corresponds to the valley without the body.



**Figura 6a.** Efeitos de uma colina na componente  $H_z$  devido a um corpo condutivo bidimensional energizado por uma linha infinita de corrente paralela ao "strike" do corpo. A linha tracejada corresponde à resposta do corpo sem a colina e a linha tracejada-pontilhada corresponde à colina sem o corpo.

**Figure 6a.** Effects of a hill on the  $H_z$  component due to a conductive bidimensional body energized by and infinite line source of current parallel to the strike of the body. The dashed line corresponds to the response of the body without the hill and the dash-dotted line corresponds to the valley hill the body.



**Figura 6b.** Efeitos de uma colina na componente  $H_x$  devido a um corpo condutivo bidimensional energizado por uma linha infinita de corrente paralela ao "strike" do corpo. A linha tracejada corresponde à resposta do corpo sem a colina e a linha tracejada-pontilhada corresponde à colina sem o corpo.

**Figure 6b.** Effects of a hill on the  $H_x$  component due to a conductive bidimensional body energized by and infinite line source of current parallel to the strike of the body. The dashed line corresponds to the response of the body without the hill and the dash-dotted corresponds to the hill without the body.

zada  $H_z/H_{ar}$  devido a um meio homogêneo energizado por uma linha infinita de corrente é negligível e independe da resistividade do meio. Na verdade, a intensidade dos efeitos topográficos na amplitude é sempre menor do que o nível de ruído que normalmente acompanha os dados de campo (entre 5 e 10%).

Por outro lado, os efeitos da topografia na fase de  $H_z$  podem ser bastante pronunciados, dependendo da condutividade do meio. Se o meio for bastante condutivo, os efeitos são normalmente grandes. Todavia, as alterações na fase só ocorrem na vizinhança das feições topográficas, principalmente ao redor das paredes laterais inclinadas.

Os efeitos de um declive na fase de  $H_z$  de um meio homogêneo são praticamente opostos aos de um aclave de mesmas dimensões. Os efeitos de um vale na fase de  $H_z$  resultam da combinação dos efeitos do declive e do aclave que formam cada uma das paredes laterais do vale. A colina perturba a fase de maneira oposta a do vale. As paredes da colina causam maior assimetria no gráfico da fase do que as paredes do vale. No centro do vale ou colina, a fase não se altera, mesmo que a linha de corrente esteja situada acima ou abaixo dos pontos de observação.

A amplitude normalizada das componentes vertical ( $H_z/H_{ar}$ ) e a fase de  $H_z$  devido a um corpo condutivo crescem na presença do vale e decrescem no caso da colina, como se o corpo estivesse mais raso. Estes efeitos na fase tornam-se mais pronunciados a medida que o contraste entre a condutividade do corpo e do meio encaixante aumenta. Se o corpo e o meio encai-

xante forem ambos condutivos, com pequeno contraste de condutividade, os efeitos da topografia tendem a mascarar a resposta do corpo, ou seja, a influência da topografia predomina sobre a resposta do corpo. No entanto, se o meio encaixante for resistivo e o corpo moderadamente resistivo, os efeitos da topografia praticamente desaparecem, e conseqüentemente, a anomalia devido ao corpo, embora pequena, pode ser observada.

Em resumo, os efeitos devido à feições topográficas nas respostas (no domínio da frequência) de corpos condutivos energizados por uma linha infinita de corrente devem ser levados em consideração, principalmente nas medidas de fase  $H_z$ . Contudo, esses efeitos são simples de serem quantificados através do modelamento adequado, uma vez que a topografia do terreno é sempre fácil de ser monitorizada. Atualmente, esse tipo de modelamento pode ser realizado sem nenhuma dificuldade, em computadores de mesa de baixo custo, proporcionando assim ao geofísico, maior facilidade para a interpretação mais realista de dados de campo.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, FINEP e PETROBRÁS pelo apoio a essa pesquisa. Estendemos nosso agradecimento ao Prof. Om Verma e os revisores que muito contribuíram para o aprimoramento do trabalho, assim como aos Srs. André Oliveira e Ronald Vieira pela editoração do texto e confecção das figuras.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHIJAJA, J.A., HOHMANN, G.W. & ORISTAGLIO, M.L. - 1985 - Two-dimensional transient electromagnetic response. *Geophysics*, 50: 2849-2861.
- COGGON, J.H. - 1971 - Electromagnetic and electrical modeling by the finite element method. *Geophysics*, 36: 132-155.
- FOX, R.C., HOMANN, G.W., KILLPACK, T.J. & RIJO, L. - 1980 - Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys. *Geophysics*, 45: 75-93.
- HOHMANN, G.W. - 1971 - Electromagnetic scattering by conductors in the earth near a line source of current. *Geophysics*, 36: 101-131.
- ORISTAGLIO, M.L. & HOHMANN, G.W. - 1984 - Diffusion of electromagnetic fields into a two-dimensional earth a finite-difference approach. *Geophysics*, 49: 870-894.
- RIJO, L. - 1977 - Modelling of electric and electromagnetic data. Ph.D. Thesis, Salt Lake City, University of Utah, 242 p.
- RIJO, L. - 1982 - Mathematical modelling of applied geoelectromagnetism. *Proceeding of the International Symposium on Applied Geophysics in Tropical Regions*, Belém, Brazil, 1-8: 429-471.
- TRAVASSOS, J.A. & BEAMISH, D. - 1988 - Distortions of magnetotelluric sounding curves due to slope. *Geoelectromagnetism*, 25: 229-244.
- WANNAMAKER, P.E., STODT, J.A. & RIJO, L. - 1986 - Two-dimensional topographic response in magnetotelluric model using finite elements. *Geophysics*, 51: 2131-2144.
- WARD, S.H. - 1967 - The electromagnetic method in SEG mining. *Geophysics*, 2: 228-372.

Versão recebida em: 18/12/90

Versão revista e aceita em: 20/09/91

Editor Associado: O.A. Lima de Lima