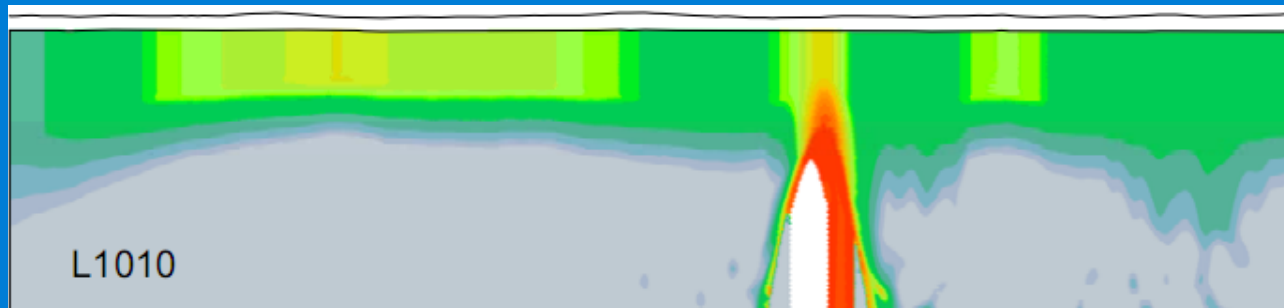


Curso Básico de Geofísica Forense

Profa. Mônica G. Von Huelsen



Geofísica Forense

Bibliografia:

Livros:

An Introduction to Applied and Environmental Geophysics
(Paperback)

by John M. Reynolds (Author)

Applied Geophysics

by W. M. Telford (Author), L. P. Geldart (Author), R. E. Sheriff

Electromagnetic Methods Vol.1: Theory (Investigations in
Geophysics Series No. 2)

by Misac N. Nabighian (Author), M. N. Nabighian (Editor)

Electromagnetic Methods Appl Geophys., Vol 2 (Investigations in
Geophysics, No. 3)

by Misac N. Nabighian (Editor)

Geofísica Forense

Bibliografia:

Artigos e sites:

- . <http://www.geonics.com/html/technicalnotes.html>
- . Electrical Conductivity of Soils and Rocks (7.5MB)
- . Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers (4.8MB)
- . Survey Interpretation Techniques (1.4 MB)
- . EM34 Measurements at Two Inter-Coil Spacings to Reduce Sensitivity to Near-Surface Material (145 kB)
- . Application of "Dipole-Dipole" Electromagnetic Systems for Geological Depth Sounding (303 kB)
- . A VLF Magnetic Field "Relative Conductivity" Filter.
- . Aplicação do EM 34 em pluma contaminante em lençóis de água por cromo de curtume.
- . AQUINO VF. 2000. Métodos geofísicos eletromagnéticos aplicados ao diagnóstico do solo e das águas subterrâneas em área de infiltração de resíduos industriais. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 121 pp. .
- . JUNHA LFJ da. 2005. Mapeamento da Pluma de Contaminação em Depósitos de Resíduos da Indústria do Couro, Através de Métodos Geofísicos - Dois casos em Mato Grosso. Dissertação de Mestrado em Física e Meio Ambiente, ICET/UFMT, Cuiabá - MT, 105 pp.
- . ELIS VR & ZUQUETTE LV. 1998. Avaliação de contaminação por resíduos de curtume com a utilização de métodos elétricos. In: Anais do Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, 2º Workshop de Geofísica Aplicada, CD-ROM, Rio Claro - SP. ABGE.

Métodos eletromagnéticos

INTRODUÇÃO

Desde 1930 estudos vem sendo realizados na aplicação da condutividade elétrica ao mapeamento geológico, com ênfase nos sistemas eletromagnéticos. Estes sistemas usam o campo eletromagnético secundário obtido por contrastes em propriedades elétricas em subsuperfície em resposta a perturbações criadas por fontes eletromagnéticas naturais ou artificiais.

A diversificação na aplicação do sistema EM, que são geralmente portáteis, permite inúmeras combinações geométricas e eletrônicas do par de bobinas transmissora e receptora. Sua portabilidade permite que sejam utilizados nas vários levantamentos geofísicos, como nos de superfície que usam transmissores fixos e móveis e o receptor móvel, de subsuperfície (*drill holes*), e naqueles em que são portados em plataformas móveis (marítimas ou aéreas).

Todo processo segue as leis de Maxwell e as respostas que são medidas dependem do modo em que se processa a medição (domínio da frequência ou do tempo), dos equipamentos empregados e da geometria transmissor/receptor que formam com o alvo energizado.

Propõe-se embasar o aluno com os assuntos: Equações de Maxwell; Equação da onda; Soluções da equação da onda e Princípios físicos dos equipamentos EM. Fornecendo subsídio, aos estudantes, para a compreensão das técnicas aeroeletromagnéticas empregadas num levantamento geofísico que visa à prospecção mineral, estudo em pluma contaminante, agricultura, etc

Métodos eletromagnéticos

Histórico

- Karl Sundberg (Sueco) – 1931
- 1934 – mapeamento estrutural
- V.R. Bursian (Russo) – início da década de 1930

Histórico

Após a Segunda Guerra Mundial

reconstrução da economia pós-guerra exigiu grande demanda por recursos minerais.

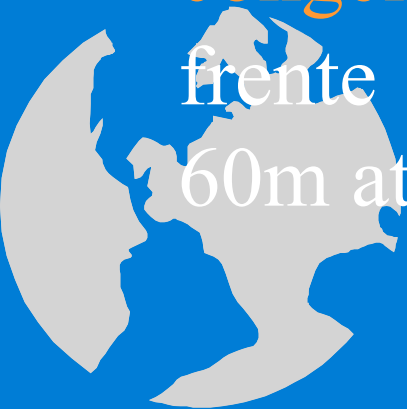
Guerra Fria - busca de recursos em países politicamente fechados.

Canadá: país vasto e pouco explorado

Com população esparsa; de clima frio; com depósitos estratégicos de cobre, zinco, níquel e chumbo.



origem dos sistemas AEM data de 1946 quando a Stanmac e a McPhar Engineering desenvolveram um sistema EM portátil o qual foi reprojetoado para mapear um lago congelado, tendo o transmissor colocado na frente de um trailer e o receptor, rebocado a 60m atrás.



Sistemas EM

- 1946: EM portátil - lago congelado



Com o sucesso do método, em 1947 foi montado um sistema semelhante num avião configuração que obteve êxito e serviu de base no desenvolvimento de outros sistemas (Collet, 1986).



Sistemas AEM

1950/60: plataforma aérea



Geofísica Forense

1962 – A Geonics lança o EM -16 (VLF);

1979 – EM34 é lançado (60m),

EM31 – 6 m, EM38 – 1,5m

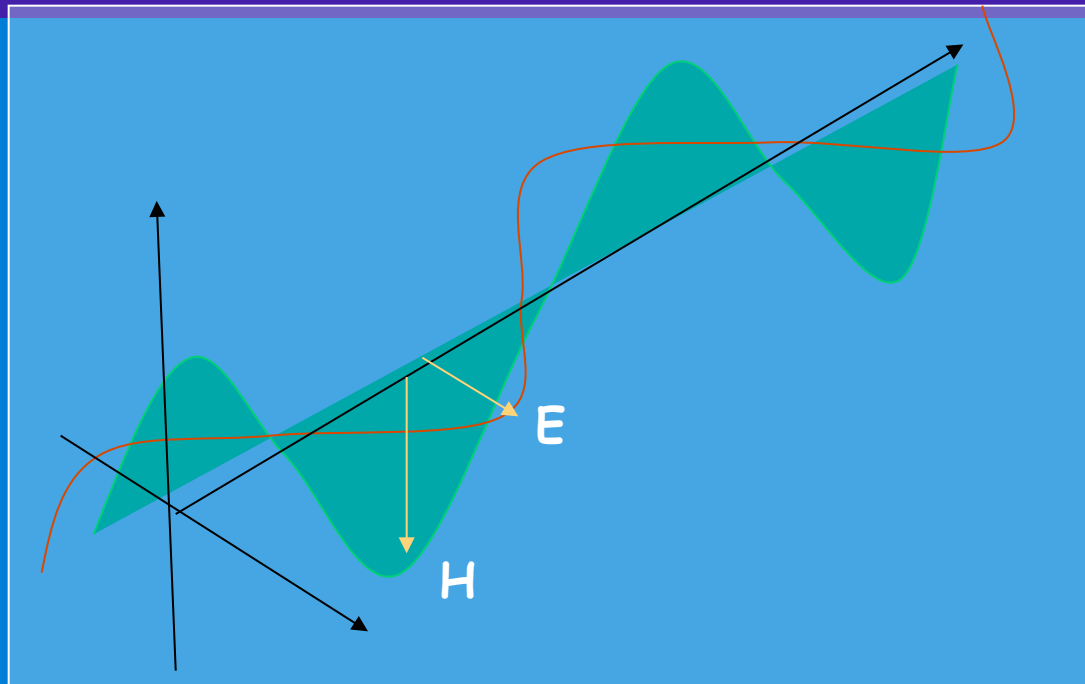


Métodos eletromagnéticos

Conceitos e Princípios

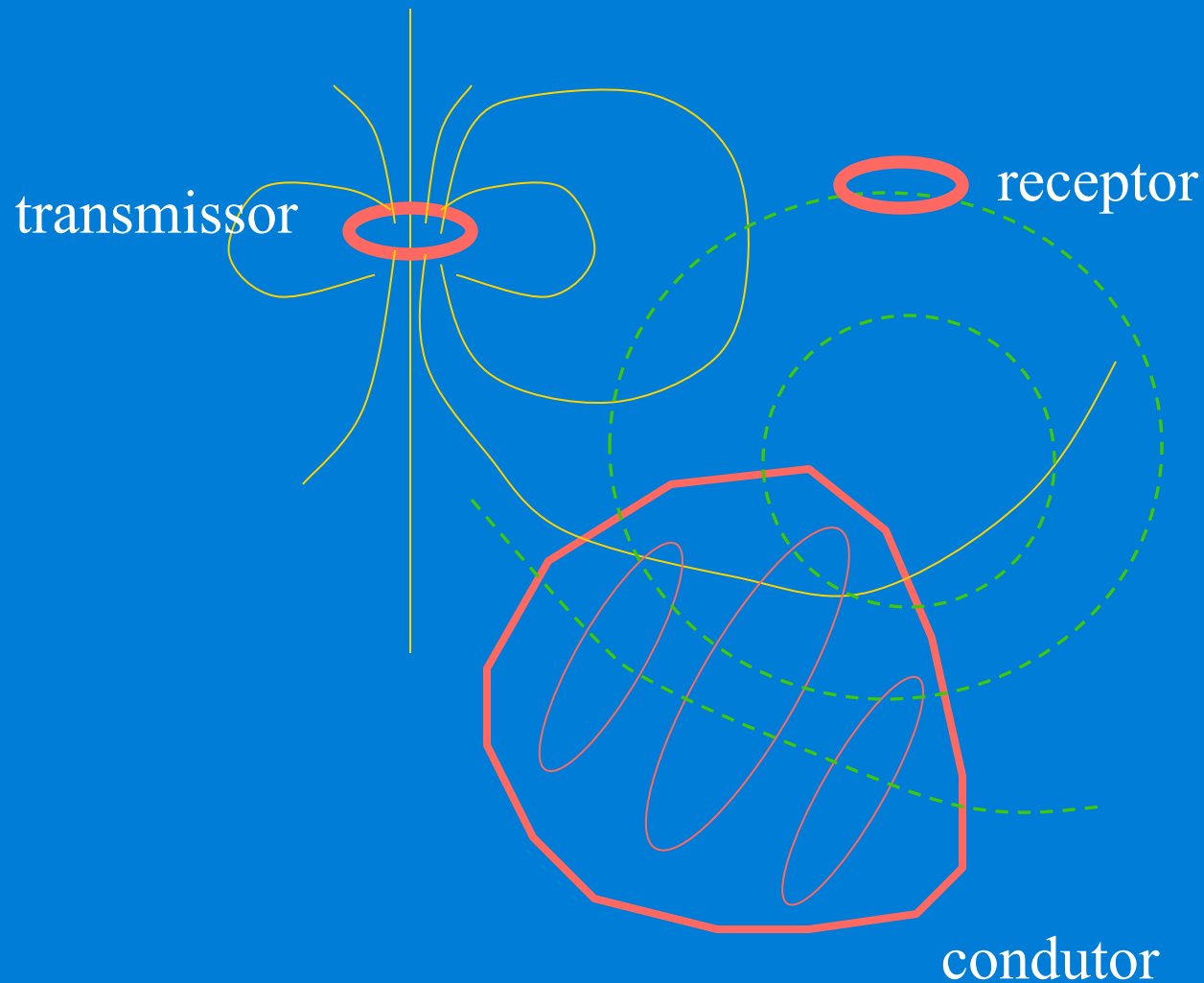
INTENSIDADE ELÉTRICA (E) – E_x e E_y

INTENSIDADE MAGNÉTICA (H) – H_x e H_y



Métodos eletromagnéticos

PRINCÍPIO do método AEM



Metodologia

TDEM - OFF

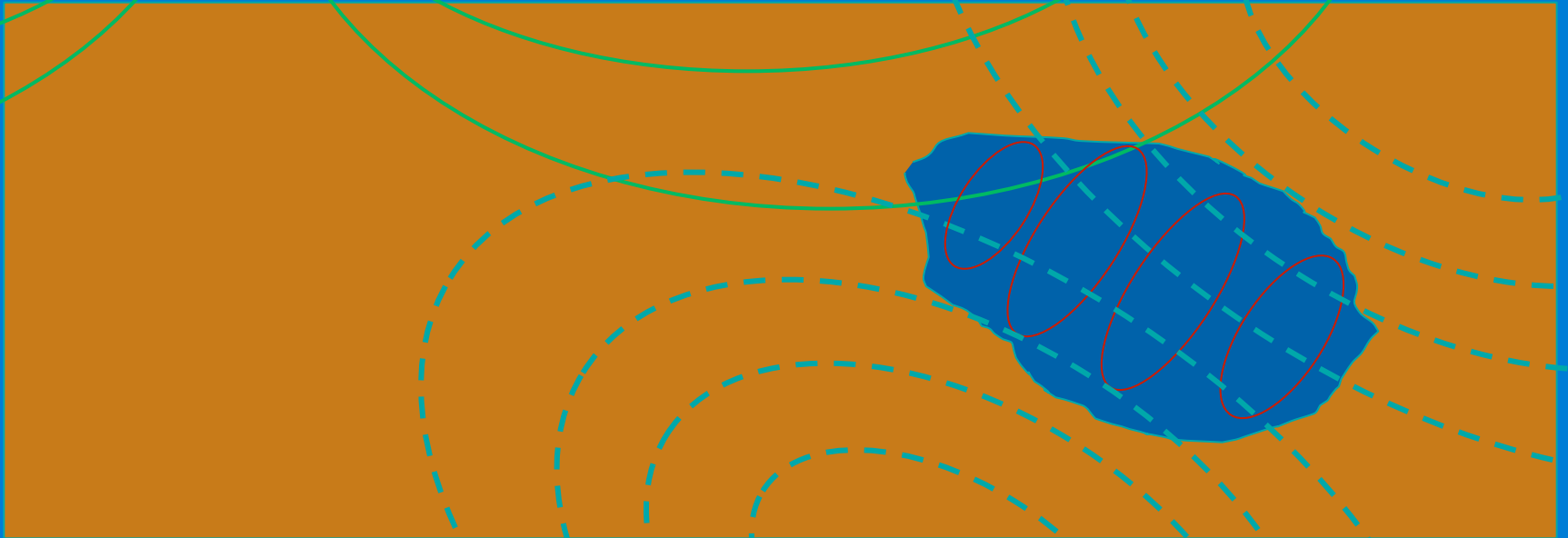
Janelas de tempo



Tx



Rx

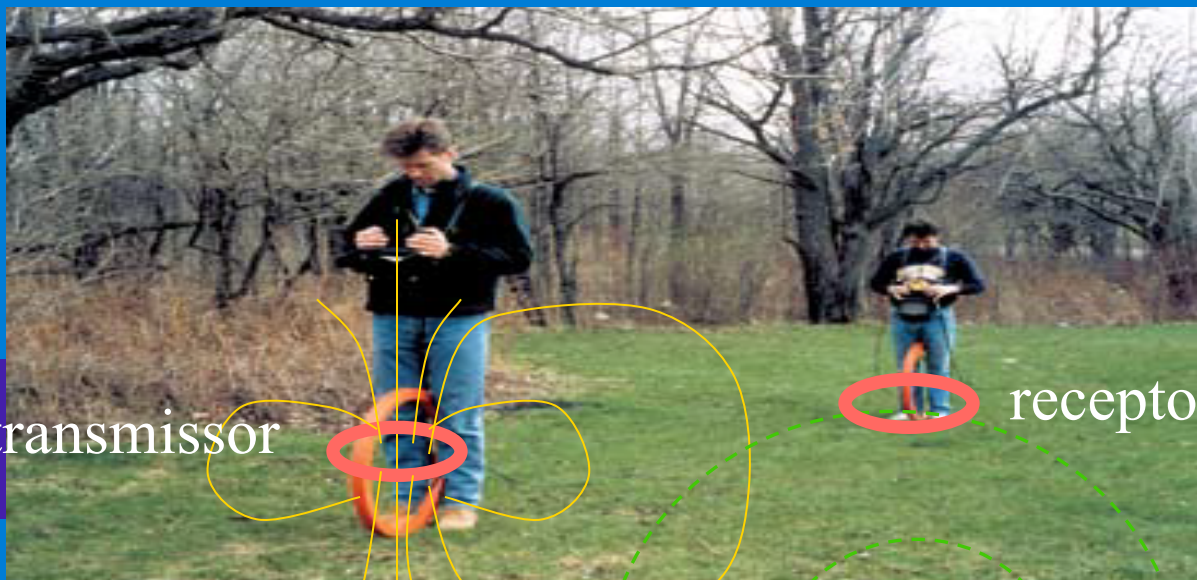


Geofísica Forense

Em Terrestre: Em 34



Geofísica Forense

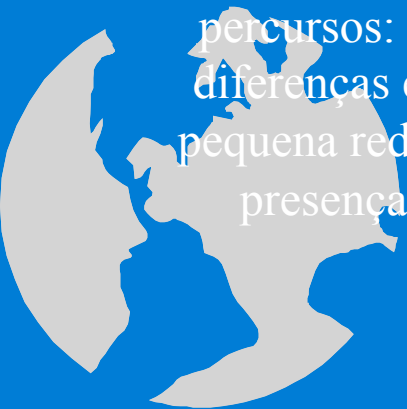


conductor

Geofísica Forense

Estes métodos fazem uso da resposta do solo à propagação de ondas eletromagnéticas. Os campos eletromagnéticos (**e.m.**) primários podem ser gerados pela passagem de uma corrente alternada numa bobina. A resposta do solo a esse estímulo é a geração de correntes induzidas, que são alternadas que por sua vez, geram campos magnéticos, que induzem correntes na bobina de recepção.

O campo **e.m.** primário viaja da bobina de emissão à de recepção por dois percursos: pelo solo e acima do solo. Quando o solo é homogêneo não existem diferenças entre os campos que se propagam acima e abaixo (para além de uma pequena redução em amplitude do segundo em relação ao primeiro). Contudo, na presença de um condutor, a componente magnética do campo **e.m.** induz a formação de correntes alternadas no condutor.



Geofísica Forense

- As correntes elétricas geram o seu próprio campo **e.m.** secundário que viaja
- até ao receptor. O receptor responde assim à resultante dos campos **e.m.**
- primário e secundário, de maneira que a resposta difere tanto em fase como em amplitude da resposta devida somente ao campo primário. Estas diferenças entre os campos transmitido e recebido revelam a presença de um condutor e fornecem informação sobre as suas propriedades elétricas.

A indução de correntes resulta do efeito da componente magnética do campo **e.m.**. Consequentemente, não há necessidade de contato físico, quer do emissor quer do receptor, com o solo. Deste modo, os levantamentos **e.m.** efetuam muito mais rapidamente que os levantamentos com corrente contínua (e podem ser feitos por avião).



Geofísica Forense

As ondas e.m. são atenuadas durante a sua passagem pelo solo, sendo que a sua amplitude decresce exponencialmente com a profundidade. A profundidade de penetração, d , pode ser definida como a profundidade para a qual a amplitude do campo, A_d , decresce por um fator $1/e$ (comparada com a amplitude à superfície, A_0):

A profundidade de penetração aumenta assim quando f e σ diminuem. Em consequência, a.



$$A_d = A_0 e^{-1}$$

Geofísica Forense

•
•
•
•
•
•
•
•
•
•
• Na prática, uma profundidade efetiva de penetração, Z_e , pode ser definida como sendo aquela para a qual um condutor ainda produz uma anomalia mensurável. E então $Z_e \approx 500 (\sigma f)^{-1/2}$

Esta relação é aproximada porque a penetração depende também de fatores tais como, variações superficiais da condutividade, da geometria do condutor e do ruído instrumental. A dependência em frequência da profundidade de penetração coloca limites à aplicabilidade dos métodos e.m.

Normalmente, as frequências muito baixa são difíceis de gerar (necessitam de muita energia) e medir e por isso a máxima profundidade de penetração é da ordem de 500 metros (exagero).

A maioria dos instrumentos não vai abaixo dos 100 Hz, e as frequências na banda 800-7000 Hz são as mais utilizadas.



Geofísica Forense

Em Terrestre: Em 34. Frequência 400 a 6400 Hz



Geofísica Forense

Profundidade de penetração das ondas e.m.

A profundidade de penetração de uma onda eletromagnética depende da sua frequência e da condutividade elétrica ($\sigma=1/\rho$) do meio através do qual ela se propaga. As ondas e.m. são atenuadas durante a sua passagem pelo solo, sendo que a sua amplitude decresce exponencialmente com a profundidade. A profundidade de penetração, d , pode ser definida como a profundidade para a qual a amplitude do campo, A_d , decresce por um fator $1/e$ (comparada com a amplitude à superfície, A_0):

Neste caso $d \approx 500 (\sigma f)^{-1/2}$ (d = metros; $\sigma = S\ m^{-1}$; $f = Hz$)



Métodos eletromagnéticos

Pontos relevantes

Os levantamentos e.m. não requerem contacto físico do receptor/emissor com o solo, podendo ser feitos de avião.

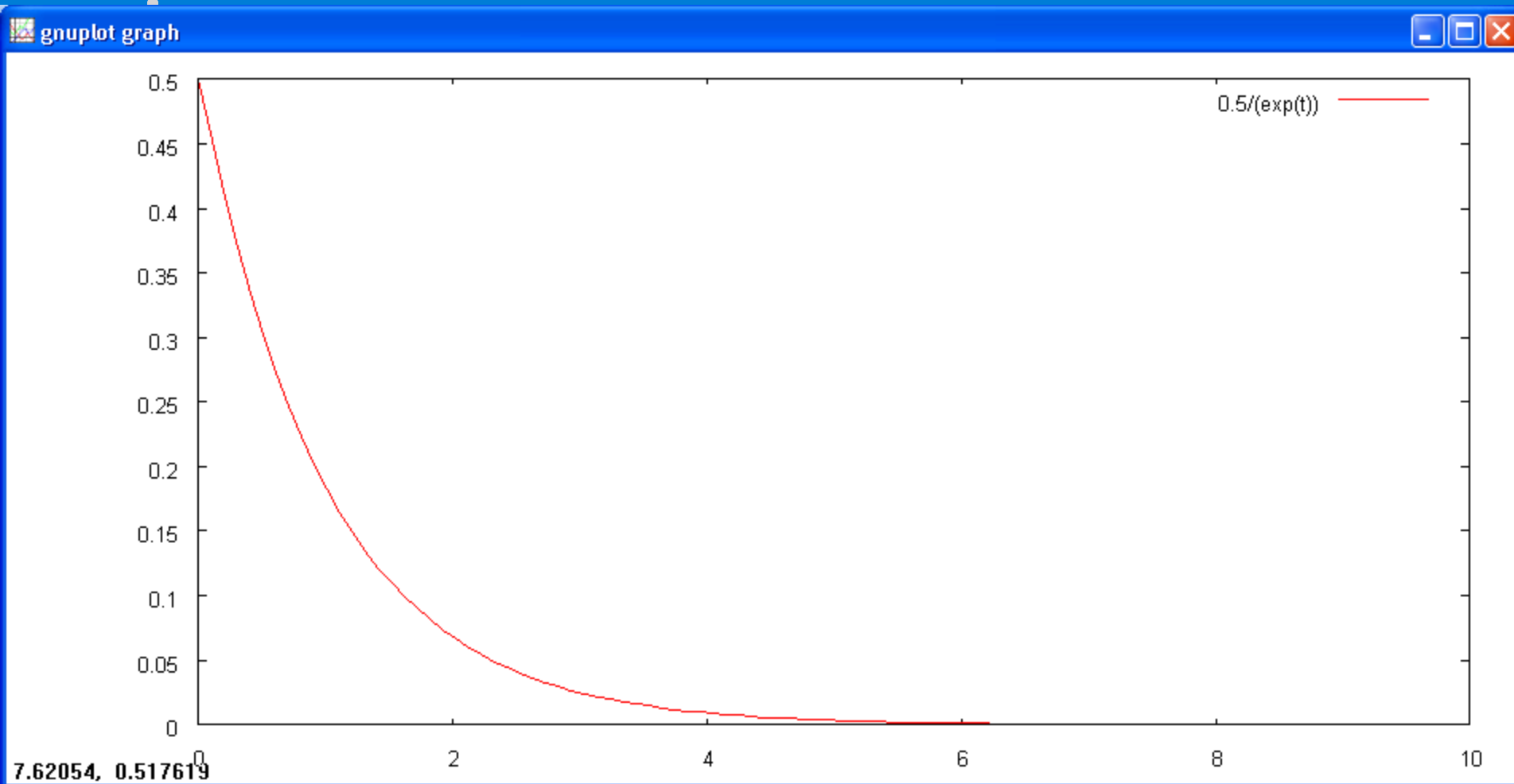
A profundidade de penetração de uma onda eletromagnética depende

- da sua frequência
- da condutividade eléctrica ($\sigma=1/\rho$) do meio

A profundidade de penetração, d , pode ser definida como a profundidade para a qual a amplitude do campo, A_z , decresce por um factor $1/e$ (comparada com a amplitude à superfície, A_0):

$$A_z = A_0 e^{-1}$$

Métodos eletromagnéticos



A_0 :

$$Az = A_0 e^{-1}$$

Métodos eletromagnéticos

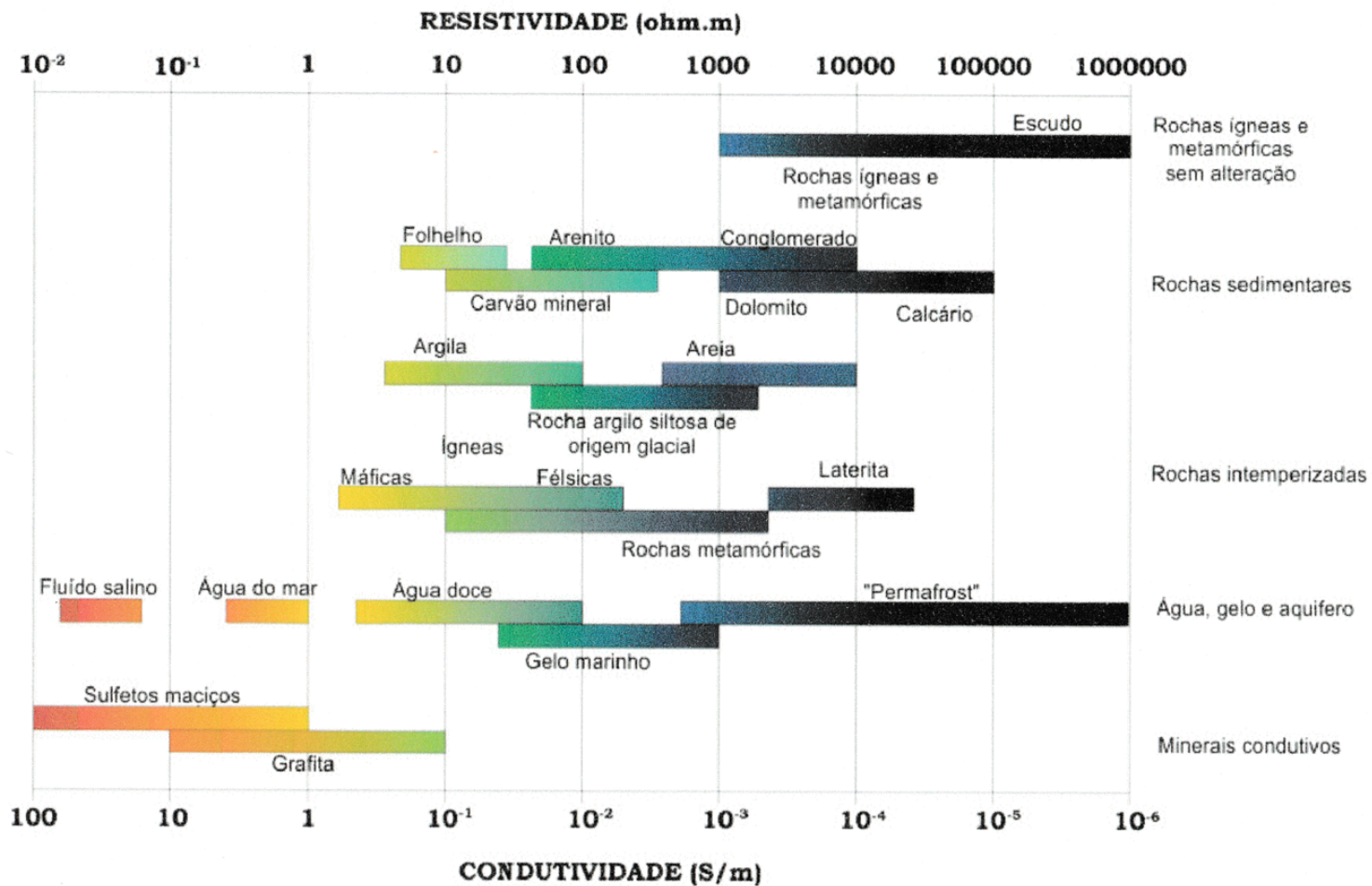
A profundidade de penetração é aproximadamente dada por :

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} = 503 \left(\frac{1}{f \sigma} \right)^{1/2}$$

($\omega = 2\pi f$; $\sigma = \text{S m}^{-1}$; $f = \text{Hz}$; $\mu = 1 = \text{permeabilidade magnética}$)

A maioria dos instrumentos não vai abaixo dos 100 Hz, e as frequências na banda 800-7000 Hz são as mais utilizadas





Métodos eletromagnéticos

A profundidade de penetração é aproximadamente dada por :

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} = 503 \left(\frac{1}{f \sigma} \right)^{1/2}$$

($\omega = 2\pi f$; $\sigma = \text{S m}^{-1}$; $f = \text{Hz}$; $\mu = 1 = \text{permeabilidade magnética}$)

Resistividade: 10 ohm.m

Condutividade: $\sigma = 1/10 = 0,1 \text{ S/m}$

$f_1 = 100 \text{ Hz}$ e $f_2 = 5000 \text{ Hz}$

F1 Profundidade = $503(1/(100 \cdot 0,1))^{1/2} = 159 \text{ m}$

F2 Profundidade = $503(1/(5000 \cdot 0,1))^{1/2} = 22 \text{ m}$

Sistemas AEM

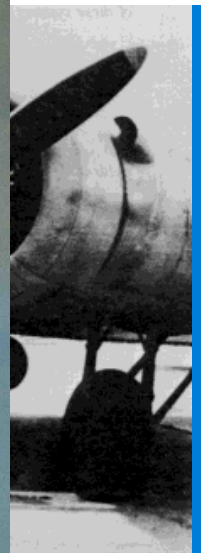
- 1946: EM portátil - lago congelado

1950/60: Geometria e plataforma
avião, ch
INPUT



VTEM - 2002

Spectrem - 2000



Geofísica Forense

ESPECIFICAÇÕES do EM 34

PARÂMETRO MEDIDO: CONDUTIVIDADE APARENTE EM em mS/m

FONTE DO CAMPO PRIMÁRIO: SENSOR - Dipolo Transmissor
Sensor – Dipolo Receptor

Cabos de referência - 2

Espaçamento entre Bobinas:	10m 6,4 kHz
	20m 1,6 kHz
	40m 0,4 kHz

Bateria –

Transmissor: 8 pilhas descartáveis ou recarregáveis

Receptor: 8 pilhas descartáveis ou recarregáveis

Faixas de Condutividade: 10, 100 e 1000 mS/m

Resolução da medida (“capacidade de leitura”): 0,1% da escala total

Precisão da medida: 5% a 20 mS/m.



Geofísica Forense

Nível de ruído: 0.2 mS/m, podendo ser maior em regiões com interferência de fios de alta tensão.

Dimensões: Console do receptor: 19 x 13.5 x 26 cm

Console do Transmissor: 155 x 8 x 26 cm

Bobina Receptora e Transmissora: 63 cm diameter

Peso completo: 20.5 kg



Geofísica Forense

Vantagens

- 1 – boa resolução na condutividade
- 2 – Não ocorre problemas de injeção de corrente
- 3 – medidas obtidas de forma rápida e fácil
- 4 – não destrutivo e não invasivo



Geofísica Forense

desvantagens

1 – intervalo de medida dinâmica é limitado 1-1000 m S/m

2 – Equipamento deve ser calibrado

3 – Capacidade de sondagem vertical é limitada



Geofísica Forense

Aplicações

1 – condutividade tem sido usada há anos para determinar salinidade e umidade em solos; mapear intrusões salinas.

2 – Limite e profundidade de aterros;

3 – Exploração mineral, de óleo e gás;

4 – Agricultura;

5 – Mapear topografia do embasamento;

6 - Mapear regiões com água congelada;

7 – mapear regiões de cascalho (depósitos);

9 – detecção de cavidades nas rochas carbonáticas ou de cavidades;

10 - Hidrogeologia



Geofísica Forense

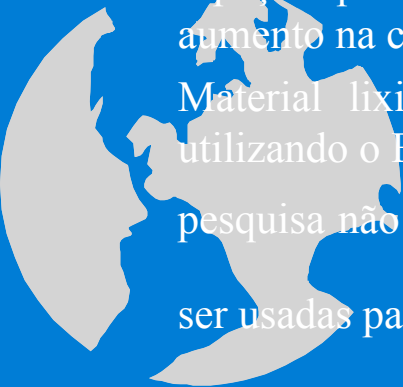
Casos históricos

- Os levantamentos EM são usados principalmente para detecção de limites em aterros sanitários e detecção de plumas contaminantes do resto lixiviado.
- no uso de pesquisas EM para identificar plumas orgânicas voláteis como a gasolina .
- usado para auxiliar na localização de novos aterros sanitários
- As pesquisas de EM também podem ser usadas para monitorar a eficácia de um sistema de tratamento.

A condutividade elétrica do solo é uma função da porosidade, permeabilidade e fluidos no espaços porosos (McNeill, 1980). Degradação de resíduos sólidos putrescíveis gera aumento na condutividade;

Material lixiviado que preenche espaços porosos e pode ser facilmente visualizado utilizando o EM 34;

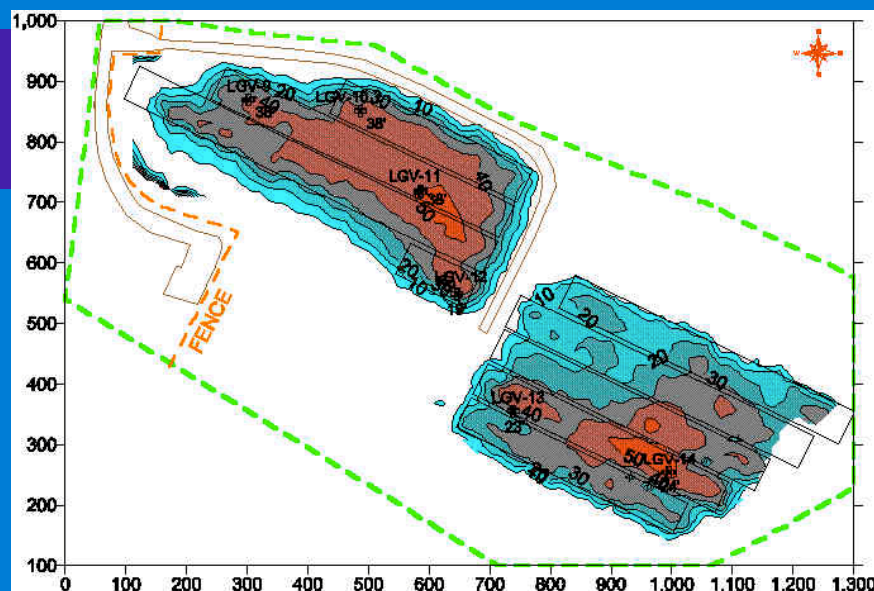
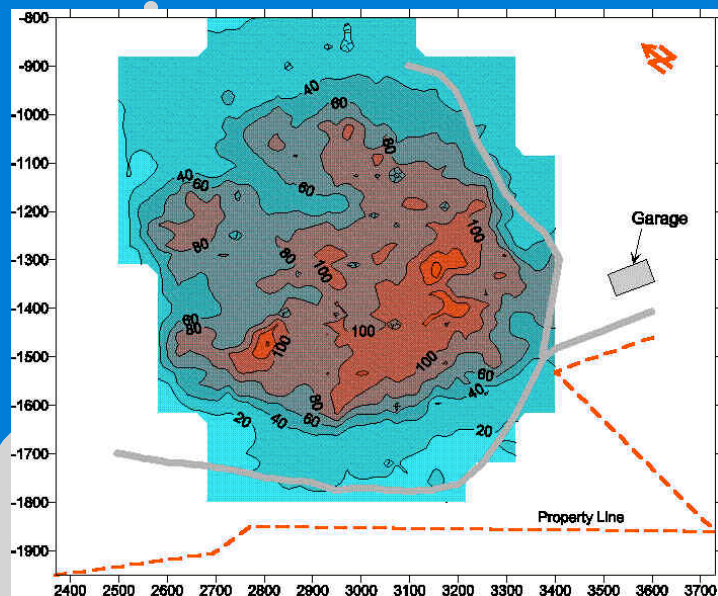
pesquisa não são necessariamente diagnósticos, mas as variações na condutividade podem ser usadas para identificar anomalias;



Geofísica Forense

Casos históricos

1 e 2— Resíduos enterrados — área de resíduos Kentucky, Virgínia.



Geofísica Forense

Casos históricos

- O mapeamento de condutividade eletromagnética do terreno provou ser eficaz e de baixo custo.
- Ajuda para delinear limites de resíduos. A profundidade dos resíduos pode ser inferida e um cálculo de volume pode ser gerado.
- A profundidade de medição de resíduos e o cálculo volumétrico de os resíduos podem ser recolhidos de forma não intrusiva e barata e fornecer ao operador do aterro com uma estimativa de resíduos no local dentro de um grau razoável de precisão.



T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Casos históricos

3 – Exploração mineral, de óleo e gás;

Ontário, Cavendish – localização de condutores metálicos

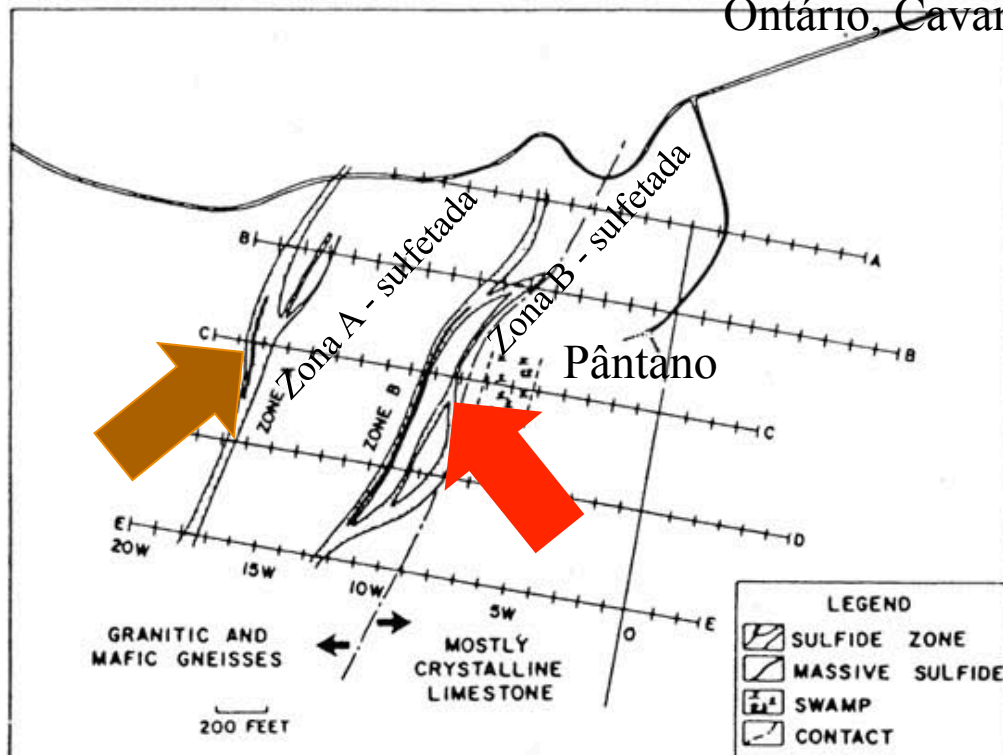


FIGURE 17. Geologic map of the Cavendish test site and the grid of traverse lines used in geophysical studies (after Ward et al [3]).

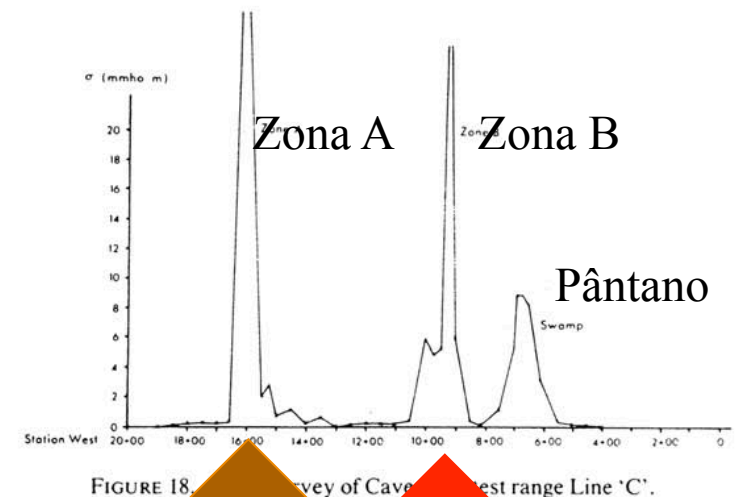


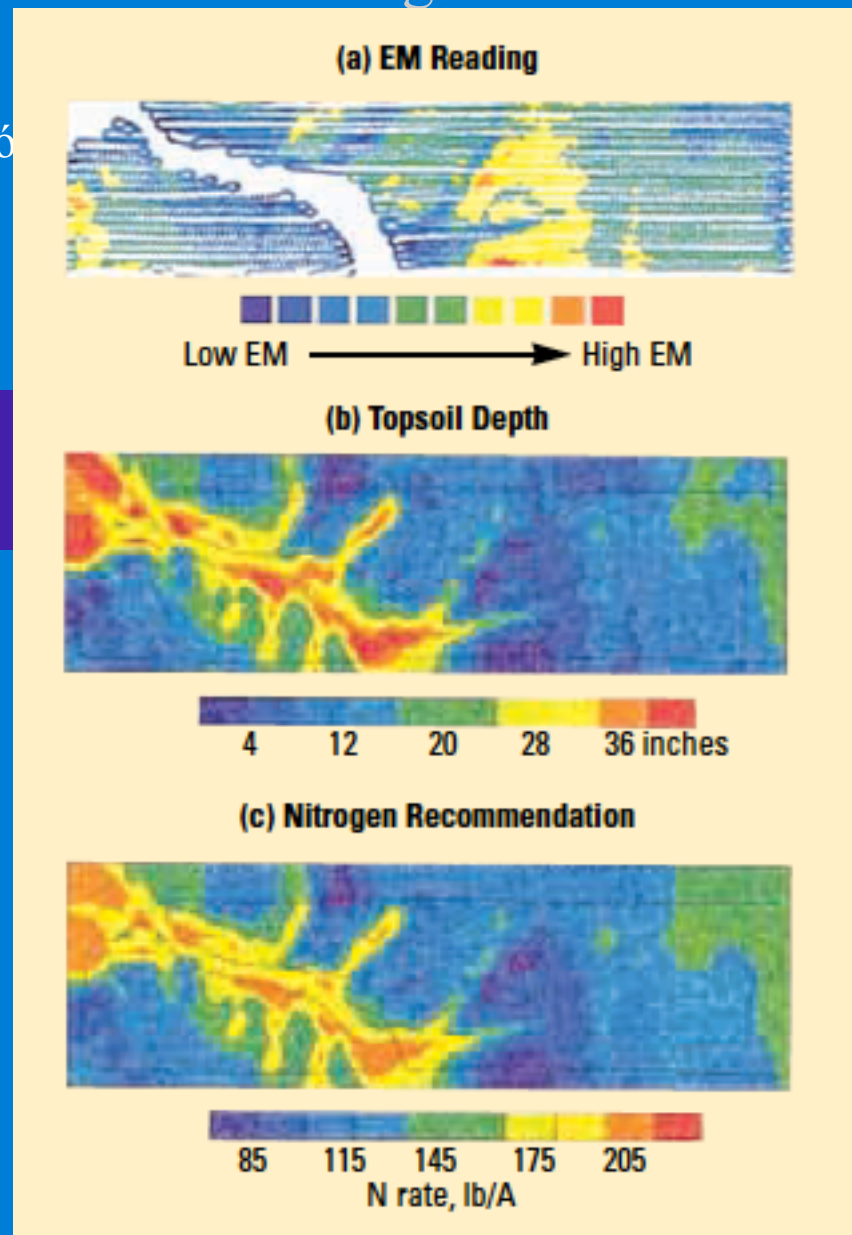
FIGURE 18. Survey of Cavendish test range Line 'C'.

T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Casos histó

4 – Agricultura. Profundidade do solo superficial interfere na produtividade de grãos de milho. As áreas com solo superficial raso são as primeiras a terem plantas com estresse hídrico. Claramente, tendo informações sobre a profundidade do solo superficial seria uma ferramenta valiosa para adaptar a gestão para as necessidades das culturas.

Ex.: Missouri. Plantação de milho.



T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Casos históricos

Aplicação do EM 34 em pluma contaminante
em lençóis de água por cromo de
curtume.

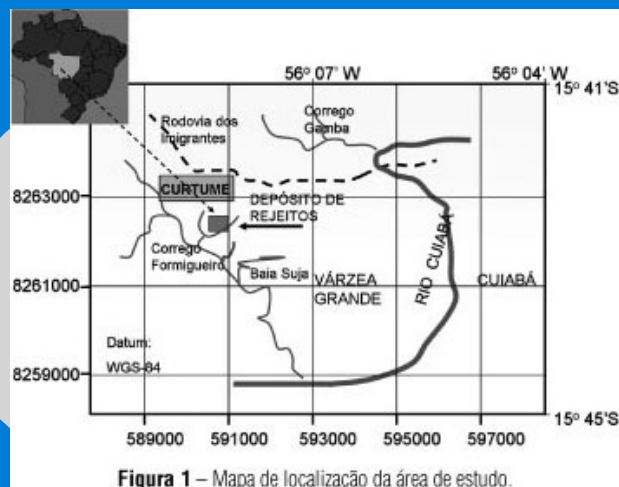


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

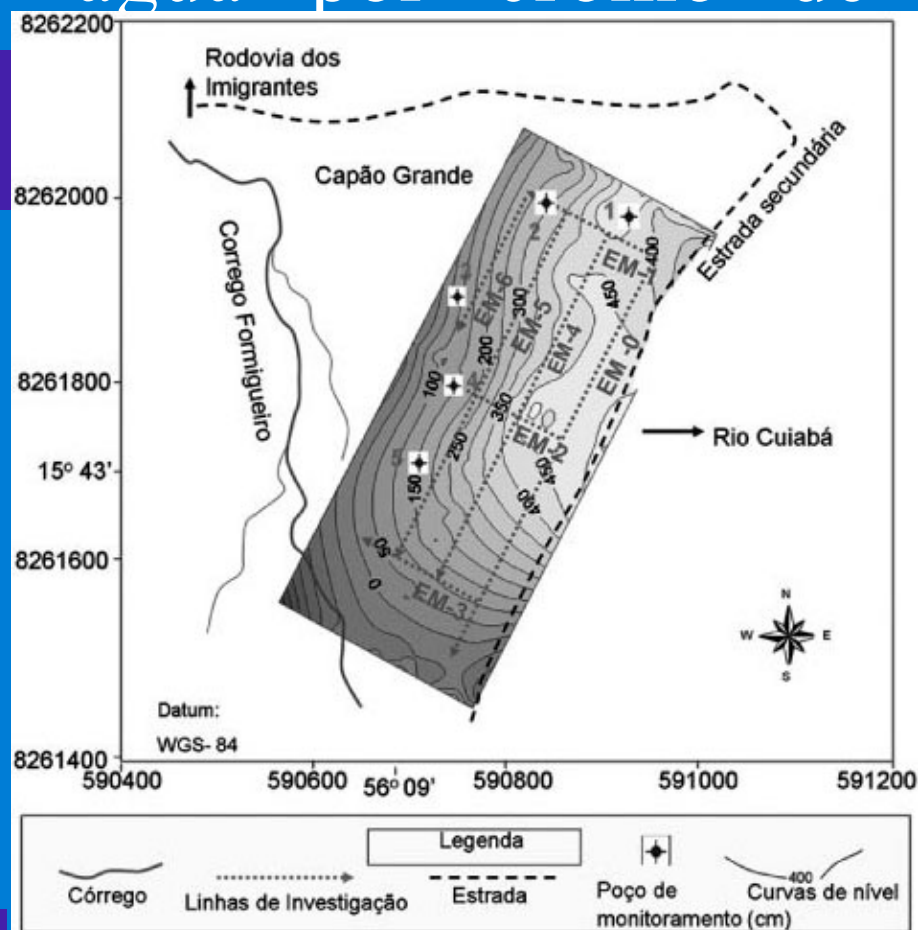


Figura 3 – Mapa de localização dos perfis de investigação e poços de monitoramento.

T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Casos históricos

Aplicação do EM 34 em pluma contaminante em lençóis de água por cromo de

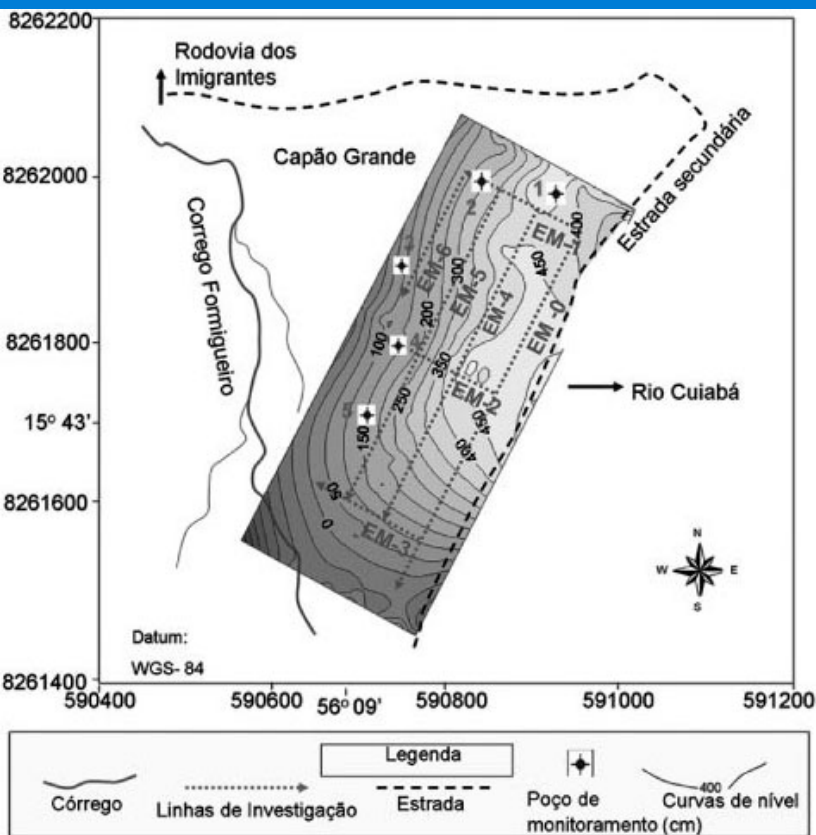


Figura 3 – Mapa de localização dos perfis de investigação e poços de monitoramento.

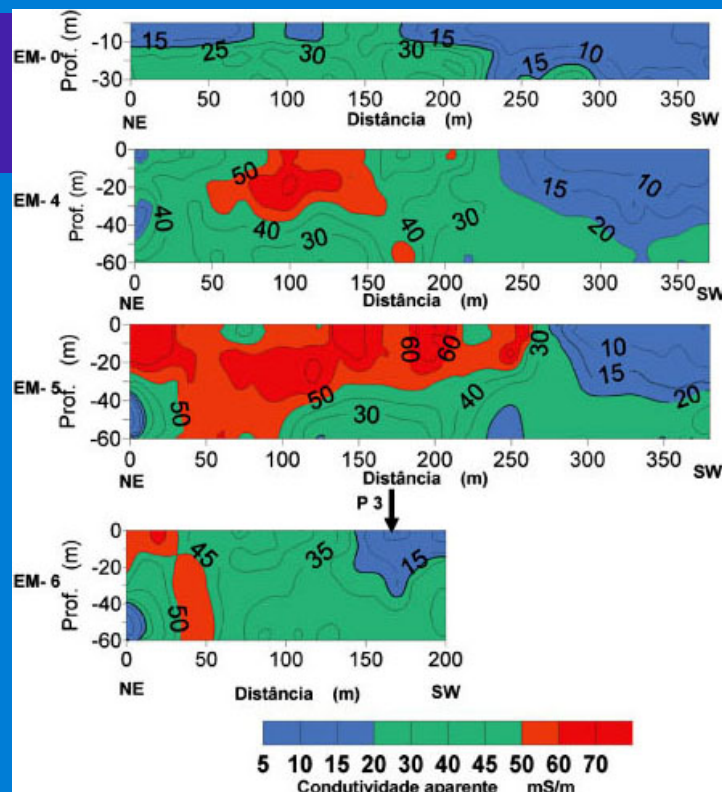
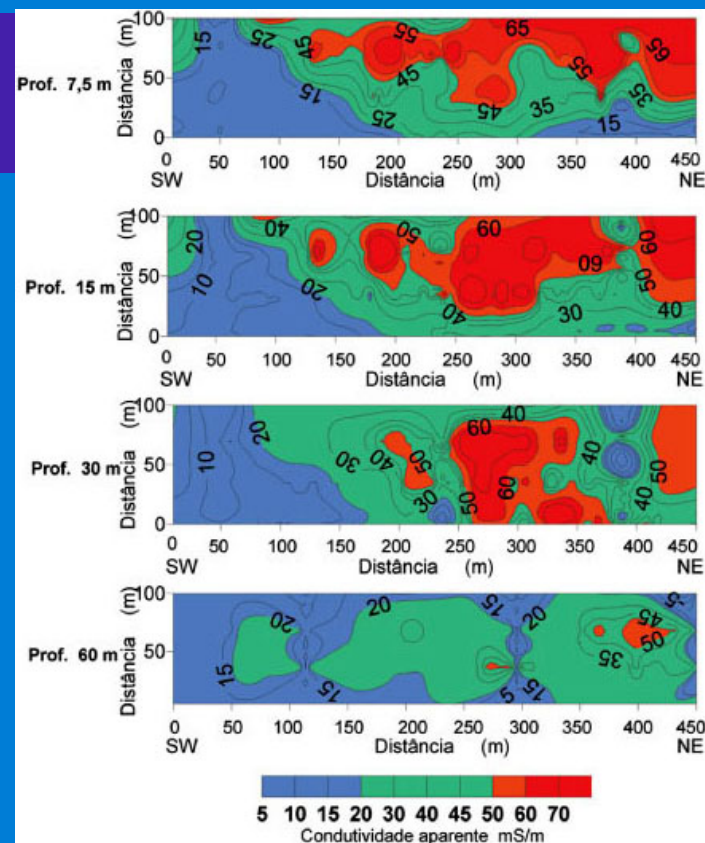
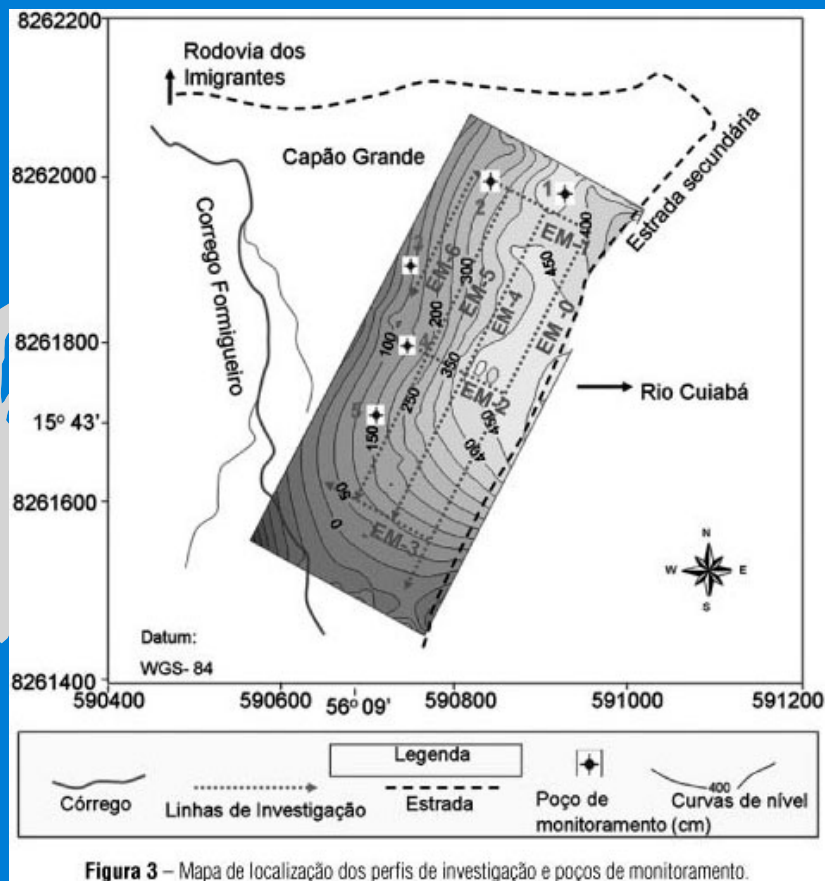


Figura 4 – Seções de condutividade aparente das linhas EM-0, EM-4, EM-5 e EM-6 sentido NE-SW da área de disposição de resíduos.

T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Casos históricos

Aplicação do EM 34 em pluma contaminante em lençóis de água por cromo de



T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

PROTEM



Receptor



TEM-67



Borehole

Métodos eletromagnéticos

Configurações usuais do domínio da frequência

Máximo Acoplamento
HCP, VCP, VCA



HCP – Horizontal coplanar

PERP (perpendicular)



VCP (Vertical coplanar)



VCA (vertical Coaxial)



NULL



PAR (paralela)



H wavetilt



V wavetilt



Mínimo Acoplamento:
PERP, NULL, PAR a 54,74 graus

Métodos eletromagnéticos

INTRODUÇÃO

Desde 1950 estudos vem sendo realizados na aplicação da condutividade elétrica ao mapeamento geológico, com ênfase nos sistemas aeroeletromagnéticos. Estes sistemas usam o campo eletromagnético **secundário** obtido por contrastes em **propriedades elétricas em subsuperfície** em resposta a perturbações criadas por fontes eletromagnéticas **naturais ou artificiais**.

A diversificação na aplicação do sistema EM, que são geralmente portáteis, permite inúmeras combinações geométricas e eletrônicas do par de bobinas transmissora e receptora. Sua portabilidade permite que sejam utilizados nas vários levantamentos geofísicos, como nos de **superfície** que usam transmissores fixos e móveis e o receptor móvel, de subsuperfície (*drill holes*), e naqueles em que são portados em **plataformas móveis** (marítimas ou aéreas).

Todo processo segue as **leis de Maxwell** e as respostas que são medidas dependem do modo em que se processa a medição (domínio da **frequência ou do tempo**), dos equipamentos empregados e da geometria transmissor/receptor que formam com o alvo energizado.

Propõe-se embasar o aluno com os assuntos: **Equações de Maxwell; Equação da onda; Soluções da equação da onda e Princípios físicos dos equipamentos EM. Fornecendo subsídio, aos estudantes, para a compreensão das técnicas aeroeletromagnéticas empregadas num levantamento geofísico que visa à prospecção mineral, estudo em pluma contaminante, agricultura, etc**