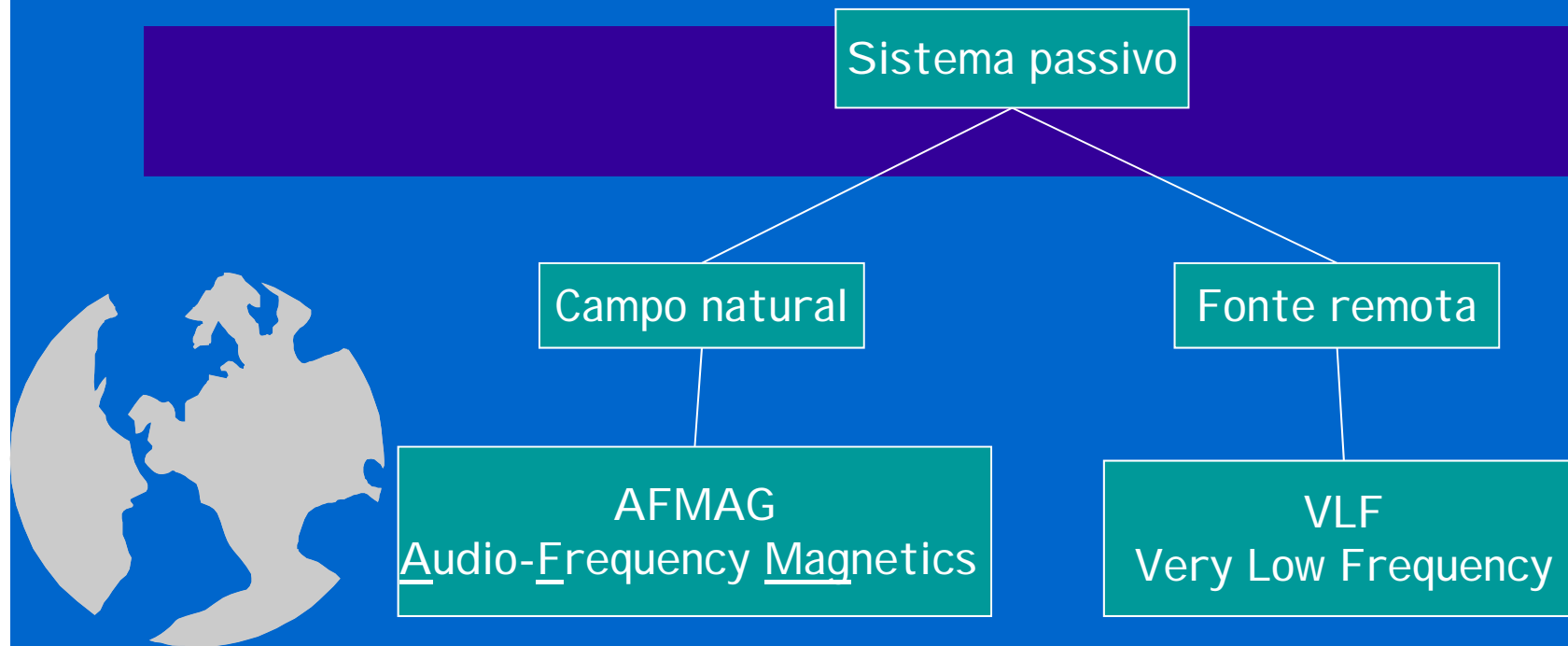


Métodos eletromagnéticos

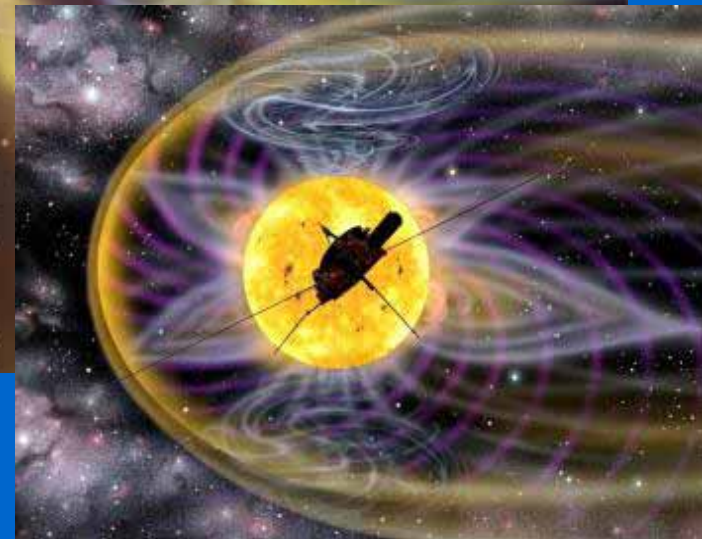
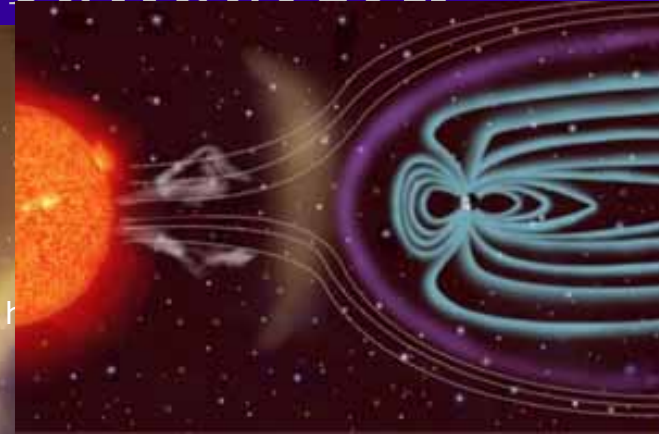
Classificação do Método EM



Métodos eletromagnéticos

Magnetosfera e Ionosfera

- Entre o Sol e a terra espaço preenchido por um gás ionizado constitui de partículas com diferentes energias, que são emitidas pelo Sol e por isso chamado de Vento Solar.

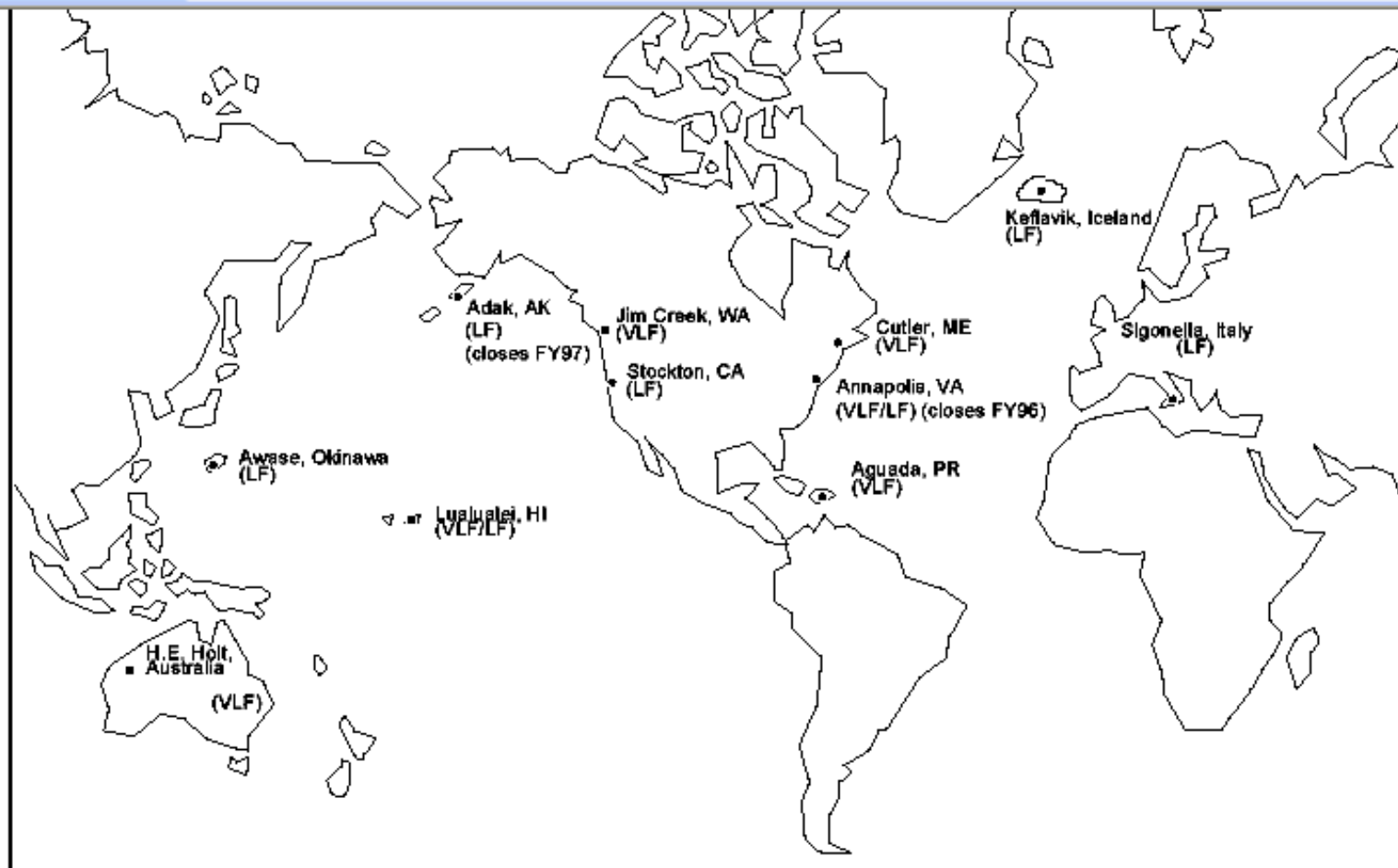


-
-
-

Métodos eletromagnéticos

- VLF – very low frequency
- 3kHz a 30 kHz
- 11 transmissores para comunicação militar

Métodos eletromagnéticos



Very Low Frequency/Low Frequency Site Locations

-
-
-

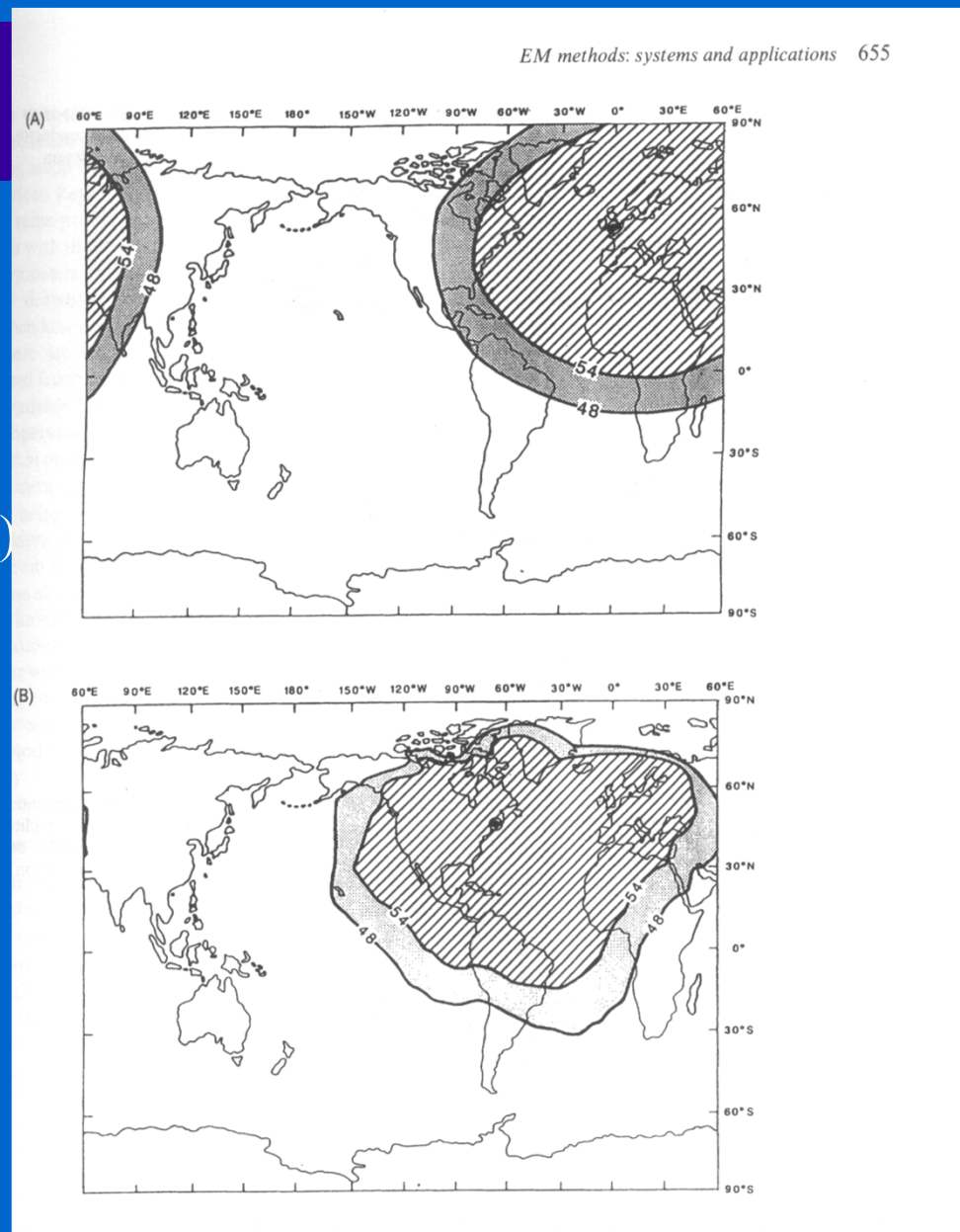
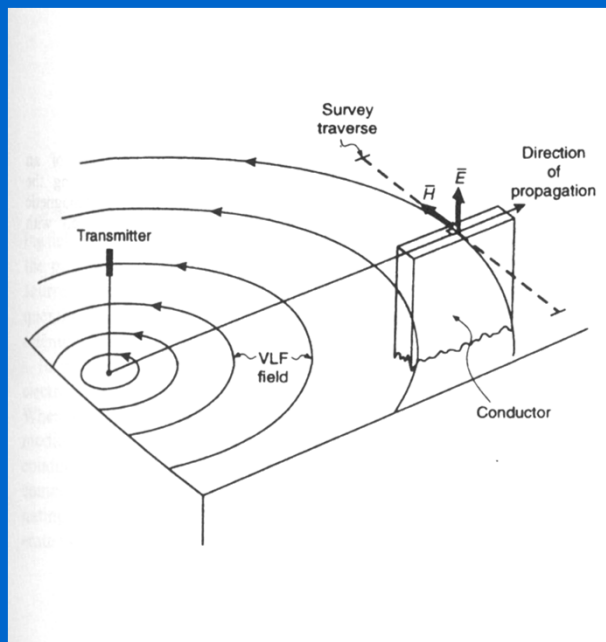
Métodos eletromagnéticos

- Antena transmissora

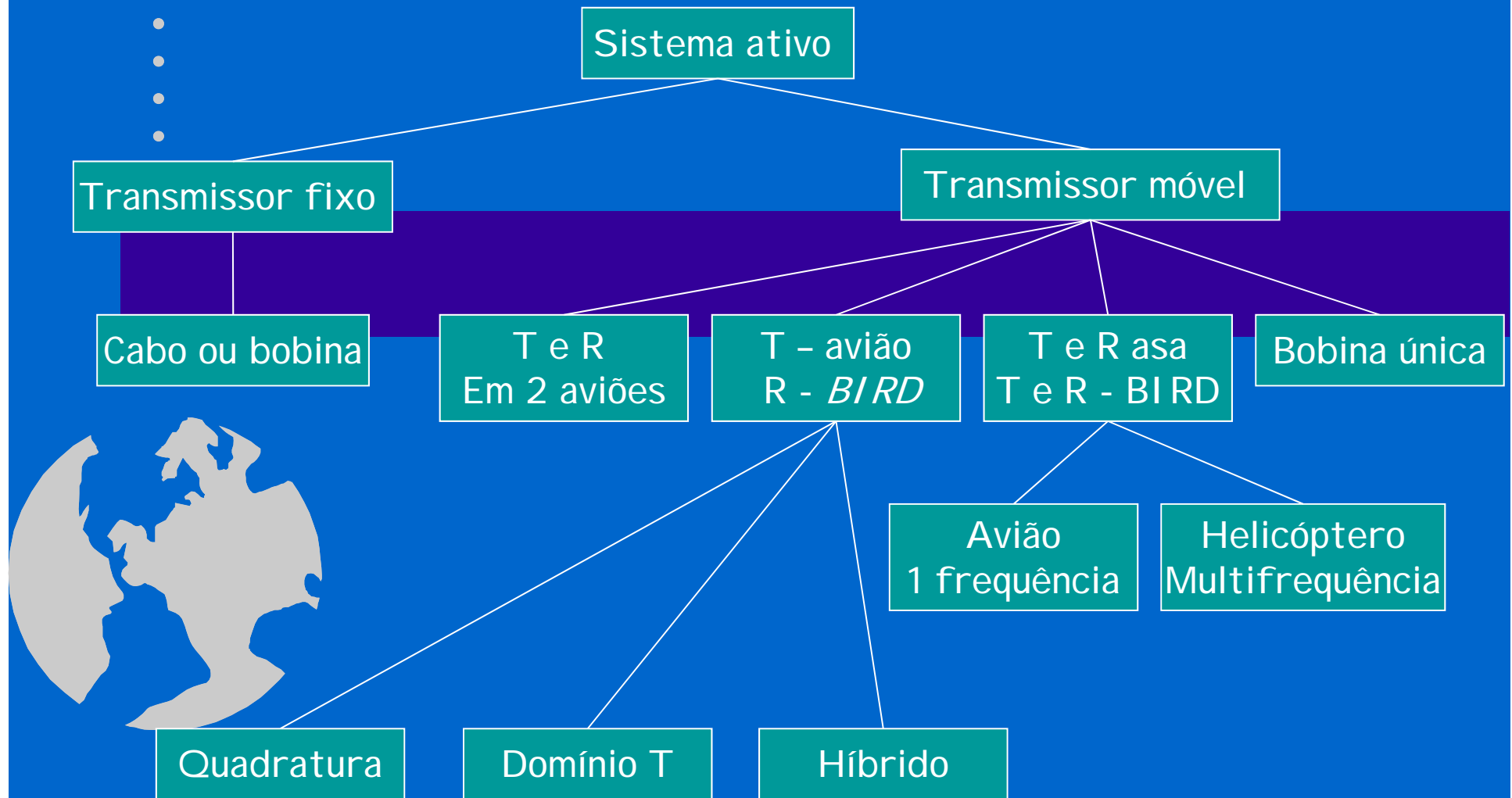


Métodos eletromagnéticos

- Linhas de contorno
- - transmissores VLF
- A)GBR (UK)
- B)NOAA – National Oceanic
- atmosferic administration (USA)



Métodos eletromagnéticos

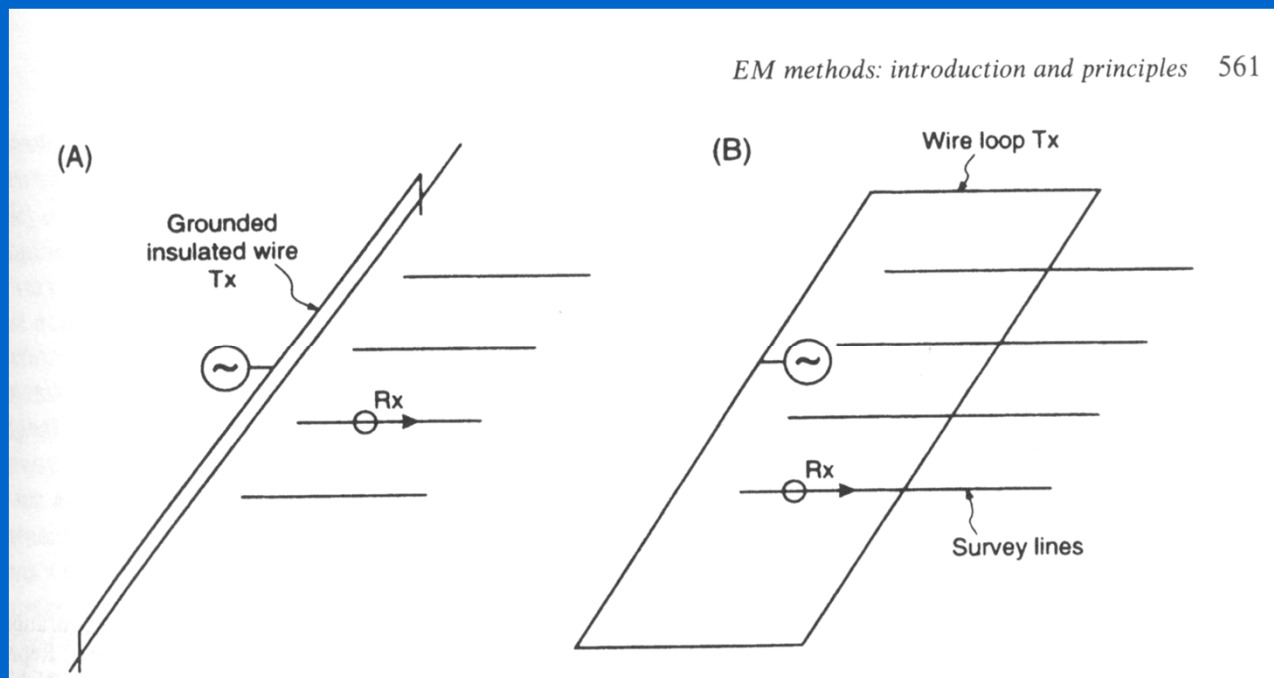


Métodos eletromagnéticos

Configuração – método Sundberg

a) Fio de centenas de metros a kms

B) bobina 1200m x 400m



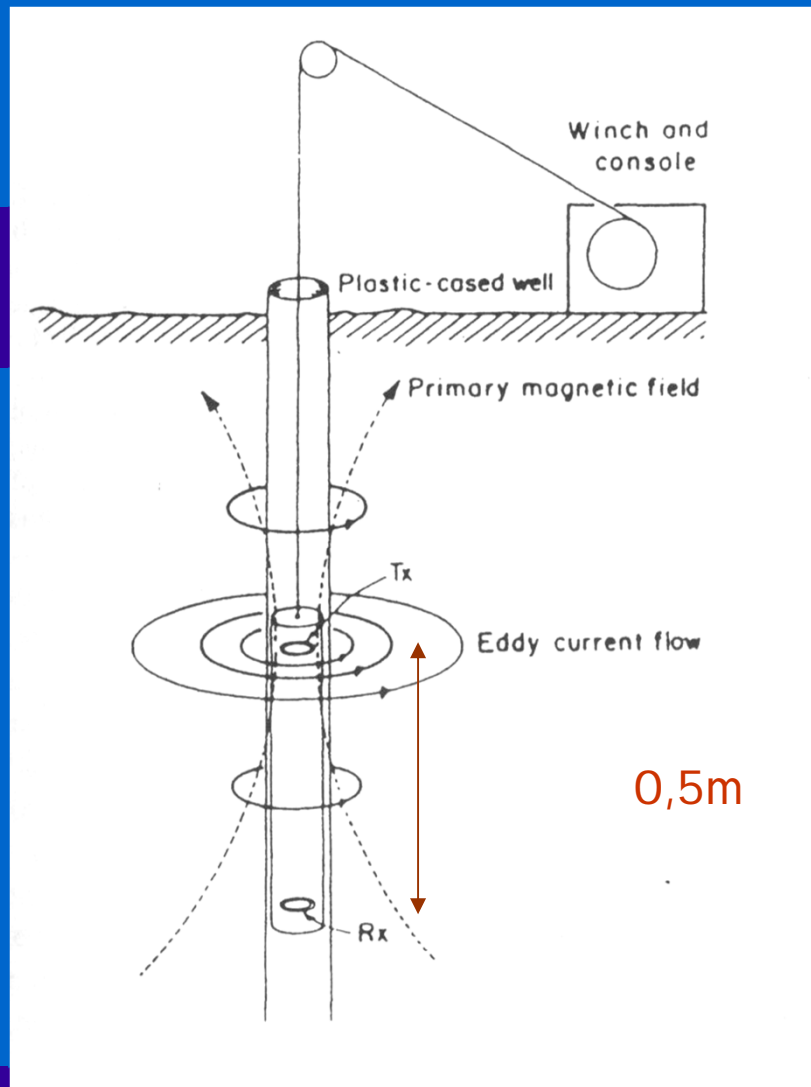
Reynolds, 1997

-
-
-

Transmissor e receptor - terrestre



Sistemas Borehole (sondagem)



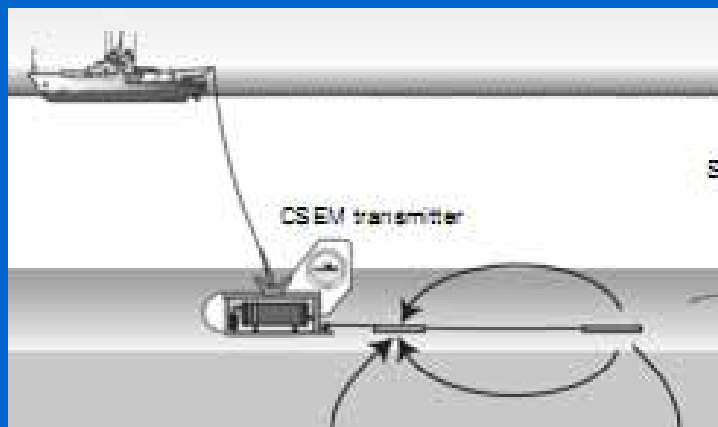
5 a 20 cm de diâmetro

Reynolds, 1997

-
-
-

Perfilagem eletromagnética de fonte controlada

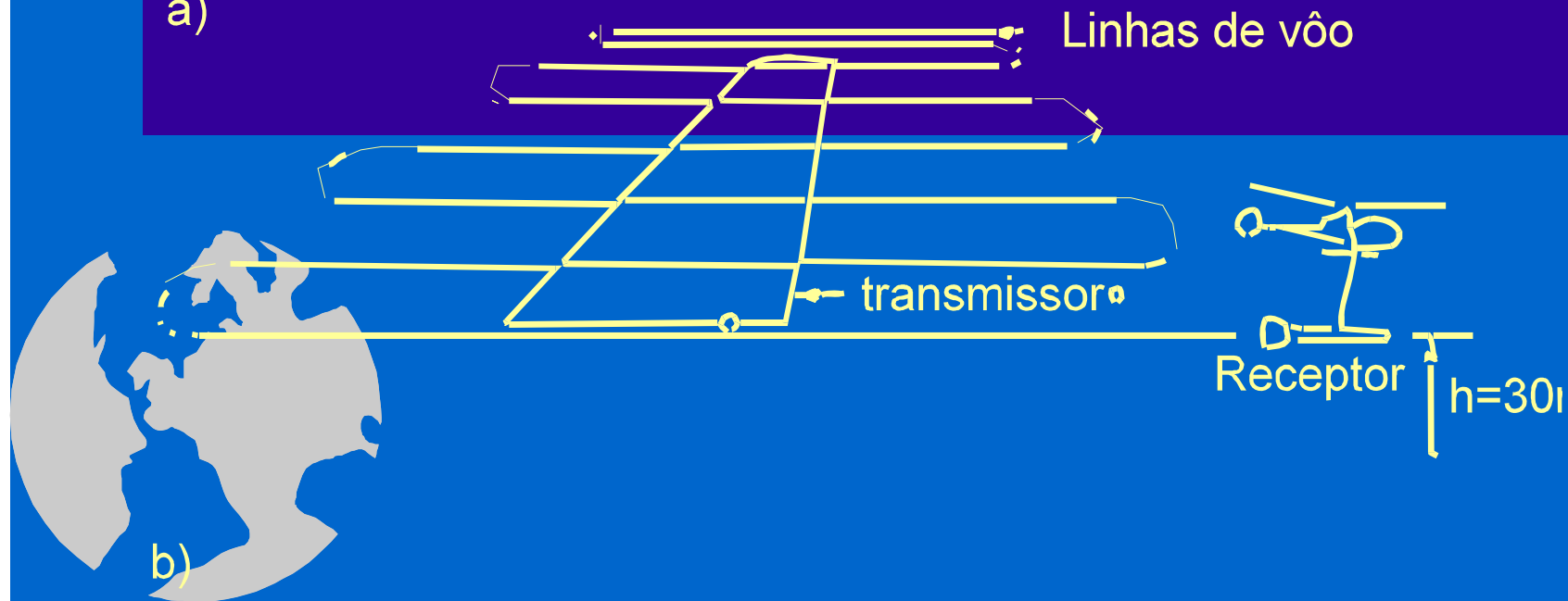
- Equipamentos utilizados:
- Gerador eletromagnético de fonte controlada



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico
-
-
-
-
-
-
-
-

Sistema Ativo
Transmissor fixo

a)

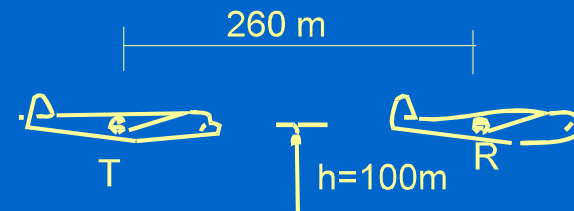


b)

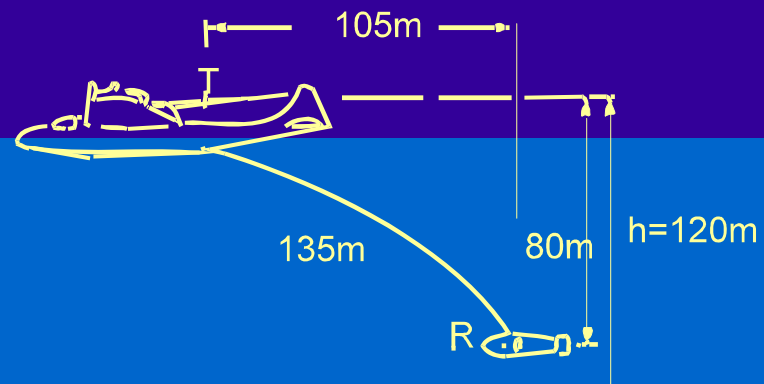
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema Ativo
Transmissor móvel

1 - duas aeronaves

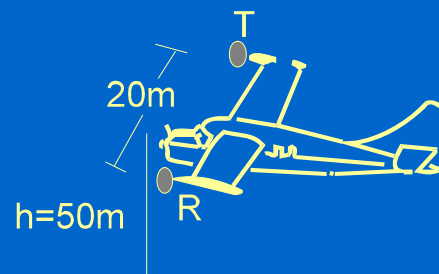


2 - T – avião R no bird

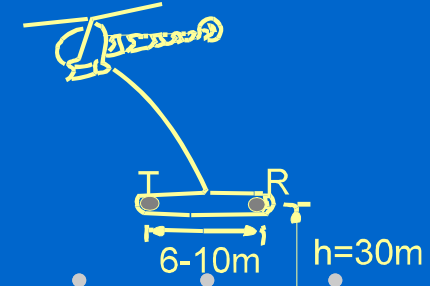


3 - T e R nas asas ou no Bird

d) Wing Tip



Helicóptero



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema VTEM – loop de 26m de diâmetro



Métodos eletromagnéticos

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

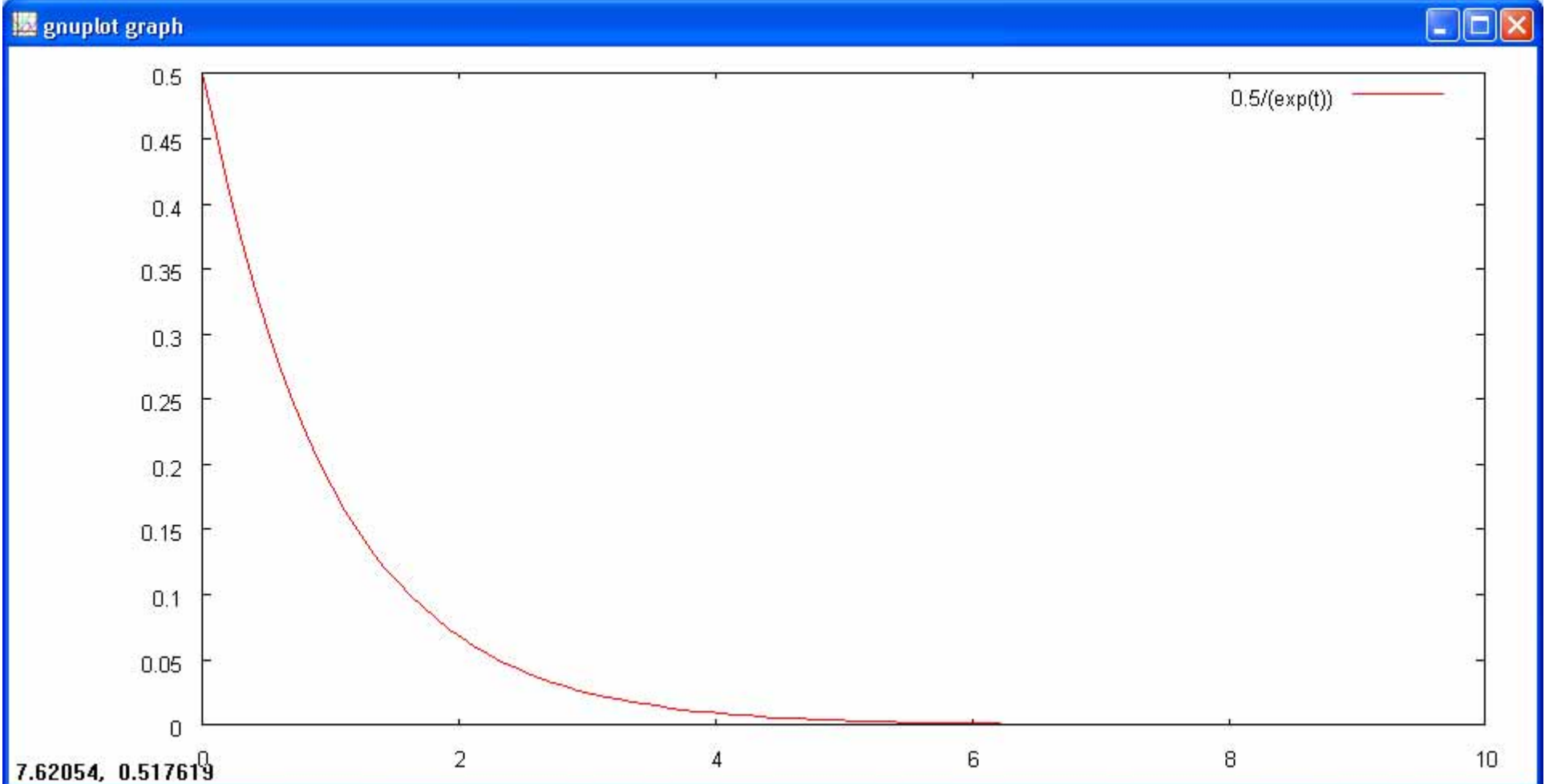
A profundidade de penetração de uma onda electromagnética depende

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

Resistividade Geológica

Prata nativa $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$

Enxofre puro $1 \cdot 10^{16} \Omega\text{m}$

Ígnea

$> \rho$

Matamórfica

Sedimentar

$< \rho$

Idade

- Rocha vulcânica quaternário 10-200 Ωm
- Mesma Pré Cambriano ($\rho >$)
- Antiga – susceptível a processos de mineralização e compactação (interstícios). DIMINUINDO permeabilidade e porosidade

Resistividade de material

Material	Resistividade (Ωm)
<i>Sulfetos</i>	
Calcopirita (semi cond)	$1,2 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-1}$
Pirita (semi cond)	$2,9 \cdot 10^{-5} - 1,5$
Pirrotita (semi cond)	$7,5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-2}$
Galena (semi cond)	$3 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^2$
Esfalerita (Diel.)	$5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-2}$
	$1,5 \cdot 10^7$
<i>Óxidos</i>	
Hematita (Diel)	$3,5 \cdot 10^{-3} - 10^7$
Limonita	$10^3 - 10^7$
Magnetita	$5 \cdot 10^{-5} - 5,7 \cdot 10^3$
Ilmenita	$10^{-3} - 5 \cdot 10$
Xisto (calcáreo e mica)	$20 - 10^4$
Xisto (grafite)	$10 - 10^2$
Ardósia	$6 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^7$
Marble	$10^2 - 3,5 \cdot 10^8$
Folhelho	$20 - 2 \cdot 10^2$
Conglomerado	$2 \cdot 10^3 - 10^4$
Arenito	$1 - 7,4 \cdot 10^8$
Calcário	$5 \cdot 10 - 10^7$
Dolomita	$3 \cdot 5 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^3$

Material	Resistividade (Ωm)
Mars	3 – 70
Argila	1 – 100
Aluvião e areia	10 – 800
Moraine	10 – $5 \cdot 10^3$
Arenito Sherwood	100 – 400
Solo (40% argila)	8
Solo (20% argila)	33
Solo	250 – 1700
Argila London	4- 20
Argila lias	10 – 15
Argila boudier	15 – 35
Argila (seca)	50-150
Lamito-Mercia	20 –60
Carvão/argila	50
Carvão	100
Chalk	50 – 150
Coke	0,2 – 8
Pedregulho (seco)	1400
Pedregulho (saturado)	100
Areia (Quaternário)	50 – 100

-
-
-

Resistividade de material

Minerais metálicos T=0°C

Material	Resistividade (Ωm)
Alumínio	$2,5 \times 10^{-8}$
Titânio	$15,3 \times 10^{-8}$
Cobalto	$6,3 \times 10^{-8}$
Níquel	$6,35 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,6 \times 10^{-8}$
Zinco	$1,6 \times 10^{-8}$
Prata	$1,5 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,0 \times 10^{-8}$

Resistividade de material

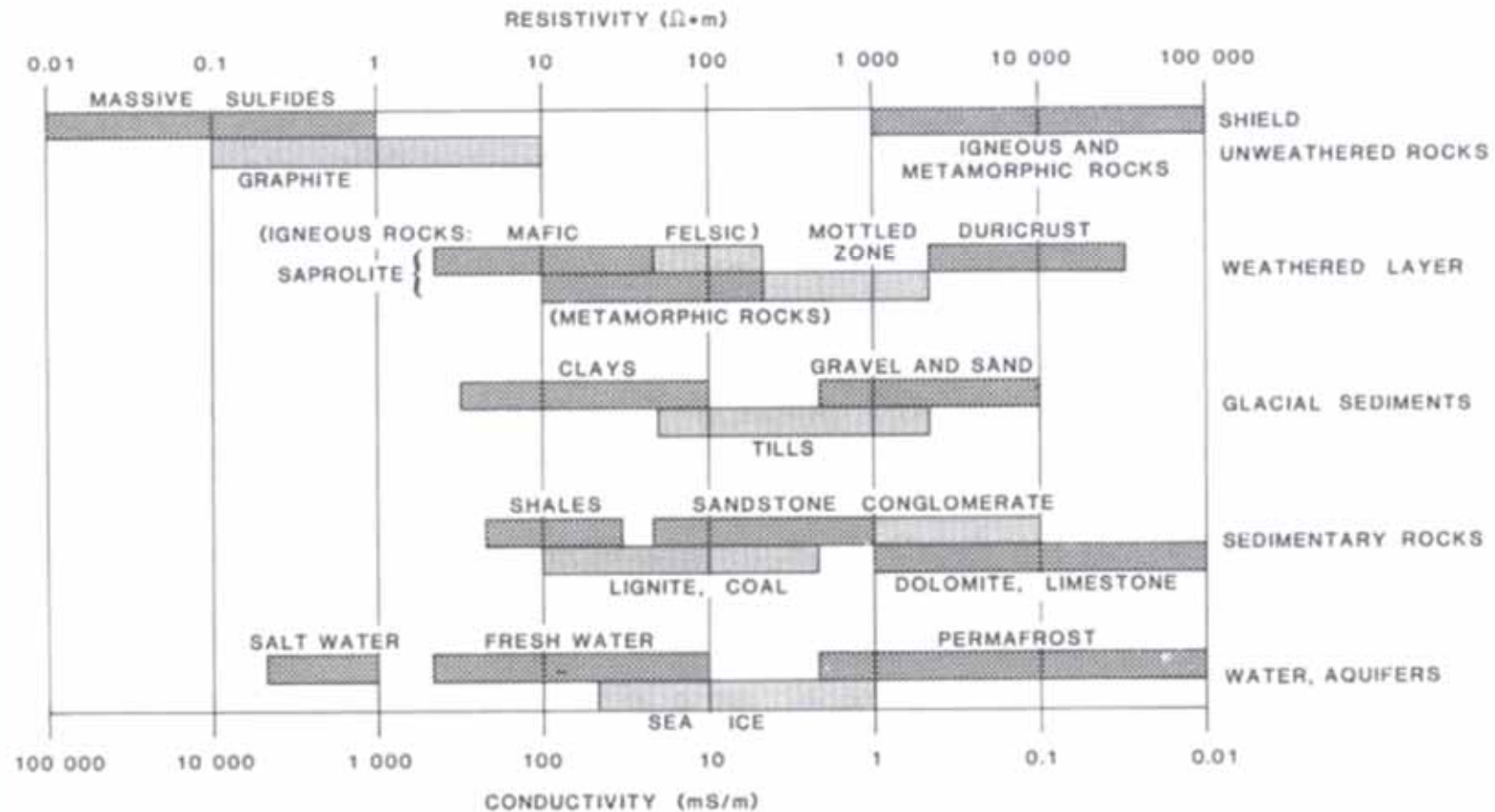
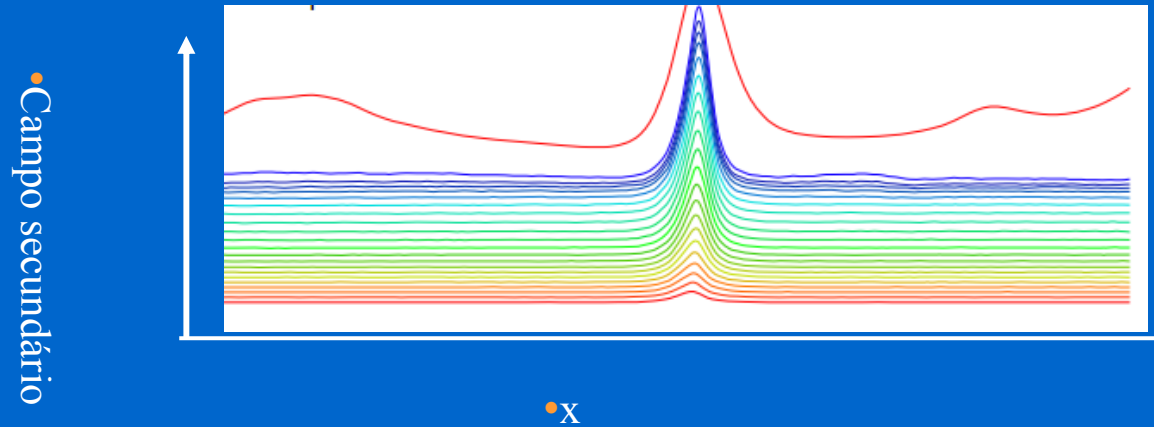


FIG. 2. Typical ranges of resistivities of earth materials.

Métodos eletromagnéticos

Modelagem



Subsuperfície

?

• • Métodos eletromagnéticos

Sistema VTEM – loop de 26m de diâmetro



-
-
-

Métodos eletromagnéticos



www.geotechairborne.com



www.geus.dk/publications/review-greenland-96

-
-
-
-
-
-
-
-

Métodos eletromagnéticos

- Aplicações e casos Históricos

Condutor a 800m – Bacia do Athabaska (Canadá)



Métodos eletromagnéticos

EM 34

2 operadores

Dipolo vertical: investigação mais profunda.

Distância entre as Bobinas: 10m, 20 ou 40m (6400, 1600 e 400Hz)



Métodos eletromagnéticos

EM 34



• • Métodos eletromagnéticos

• EM 34

• Receptor

• Condutividade aparente



Condutividade

Métodos eletromagnéticos

EM 34

Transmissor

Liga desliga

espaçamento


Nível



-
-
-
-
-
-

Para tanto : informações geológicas e egofísicas

3 - Colocar estacas



- 2 – determinar
- 3 – Colocar
- 4 – seguir

Métodos eletromagnéticos

- EM 34

- Configuração:

Subsuperfície



HCP – Horizontal coplanar
Ou DIPOLO VERTICAL



PERP (perpendicular)

Transmissor

EM34

EM34

Receptor

Campo Primário

Campo Secundário

Condutor

Métodos eletromagnéticos

- EM 34

- Geonics. Frequências: 6400Hz, 1600 Hz e 400 Hz

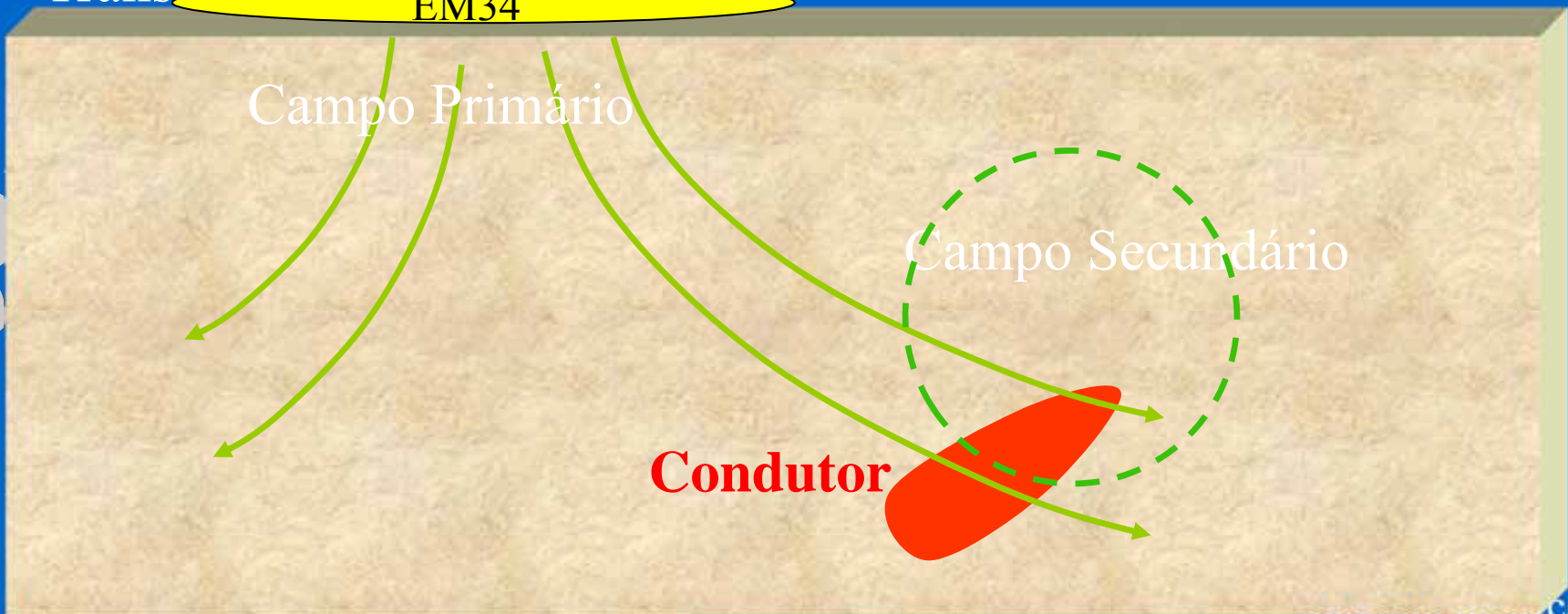
Transmissor

EM34

Campo Primário

Campo Secundário

Condutor



⋮ Métodos eletromagnéticos



Métodos eletromagnéticos

EM 34

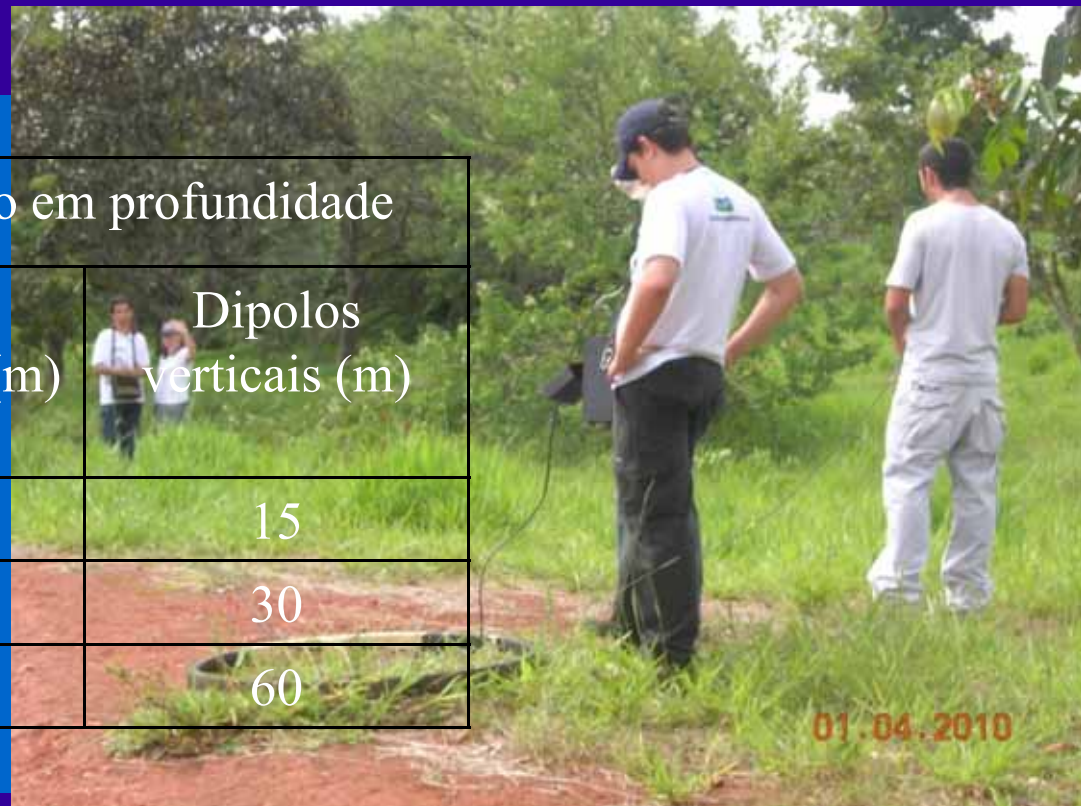
2 operadores

Dipolo vertical: investigação mais profunda.

Distância entre as Bobinas: 10m, 20 ou 40m (6400, 1600 e 400Hz)

Peso: 20 Kg

Espaçamento entre as bobinas (m)	Exploração em profundidade	
	Dipolos Horizontais (m)	Dipolos verticais (m)
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60



Métodos eletromagnéticos

- EM 34

Conductivity Ranges: $\pm 10, 100, 1000$ mS/m

Measurement Precision: $\pm 0.1\%$ of full scale deflection

Noise Level: 0.2 mS/m

Direção: perpendicular ao alvo, atravessando o alvo.

Acompanha: trena, piquetes, GPS, bússola, marreta, caixa de ferramentas, etc



Planejamento de Campo

