



# Método eletromagnético



Profa. Mônica G. Von Huelsen

[www.obsis.unb.br/cursoonline](http://www.obsis.unb.br/cursoonline)

## Método eletromagnetométrico

### Objetivo:

O objetivo principal é oferecer ao aluno conceitos em métodos aeromagnetométricos indispensáveis ao entendimento de um levantamento geofísico – aeromagnetométrico e do processamento dos dados gerados.



- 
- 
- 
- 
- 
- 



•



•  
•  
• Método eletromagnetométrico  
•  
•  
•

*Programa:*

Introdução

Fundamentos Teóricos

Princípios e aquisição de dados

Processamento

Exemplos e

Aplicações



- 
- 
- Método eletromagnetométrico
- 
- 
- 

*Ementa:*

Introdução e conceitos

Fundamentos Teóricos

Levantamentos AEROEletromagnéticos

Aerolevantamentos

Exemplos e Aplicações



•  
•  
•  
•  
Método eletromagnetométrico

•  
*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).

Three Dimensional Electromagnetics, Oristaglio, M; Spies, B.(  
Geophysical Developments no.7

• • • • • • • • • •

# Método eletromagnetométrico

## Artigos

- ANNAN, R. S. & ANNAN, A.P. 1997. Advances in airborne time-domain EM technology. *Electrical and Electromagnetic methods*, paper 64, 498-504.
- COLLET, L.S. 1986. Development of the airborne electromagnetic technique. In: PALACKY, G.J. ed. *Airborne resistivity mapping*. *Geol. Survey Can Paper* 86-22, 9-18.
- ELLIOT, P. 1998. The principles and practice of FLAIRTEM. In: Exploration Geophysics. *The Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists*, **29**: 58, 60.
- FILTERMAN, D. V., 1990, Ed., Developments and applications of modern airborne electromagnetic surveys: *U. S. Geol. Surv. Bull.* 125, 216.
- FOUNTAIN, D. 1998. Airborne electromagnetic systems – 50 years of development. *Exploration Geophysics*, **29**: 1-11.
- FRASER, D. C. 1972. A new multicoil aerial electromagnetic prospecting system. *Geophysics*, **37**(3): 518- 537.
- 1978. Resistivity Mapping with an airborne multicoil electromagnetic system, *Geophysics*, **43**(1), 144-172.
- 1979. The multicoil II airborne electromagnetic system. *Geophysics*, **44**(8): 1367-1394.
- GEOTERREX – DIGHEM. 1999. Airborne & Ground Geophysics.  
[http://www.cgg.com/acquisition/geoterrex/xacana/airborne/t\\_system.html](http://www.cgg.com/acquisition/geoterrex/xacana/airborne/t_system.html). (acessado em 20 out. 2000).
- MOGI, T., TANAKA, Y., KUSUNOKI, K., MORIKAWA, T. & JOMORI, N. 1998. Development of grounded electrical source airborne transient EM (GREATEM). In: Exploration Geophysics. *The Bulletin of the Australian Society of Exploration Geophysicists*, **29**: 61-64.
- Nabighian, M.N., Macnae, J. C.. 2005. Electrical and EM methods, 1980-2005. . [Society of Exploration Geophysicists](#). *The Leading Edge*; v. 24; no. Supplement; p. S42-S45; DOI: 10.1190/1.2112391
- PALACKY, G. J. 1975. Interpretation of INPUT AEM measurements in areas of conductive overburden. *Geophysics*, **40** (3): 490-501.
- 1976. Use of decay patterns for the classification of anomalies in time-domain AEM measurements. *Geophysics*, **41** (5): 1031-1041.
- 1978. Selection of a suitable model for quantitative interpretation of two-bird AEM measurements. *Geophysics*, **43**(3): 576 – 587.
- 1981. The airborne electromagnetic method as tool of geological mapping. *Geophys. Prosp.*, **29**, 60-88.
- RYU, J., MORRISON, H. F. & WARD, S. H. 1970. Electromagnetic fields about a loop source of current. *Geophysics*, **35**: 862-896.
- SENGPIEL, K. P. 1983. Resistivity/depth mapping with airborne electromagnetic survey data. *Geophysics*, **48**(2): 181-196.
- 1986. Groundwater prospecting by multifrequency airborne electromagnetic techniques. In: PALACKY, G. J. ed. *Airborne resistivity mapping*: *Geol. Surv. Can. Paper* 86-22: 131-138
- SENGPIEL K. P. & FLUCHE, B. 1992. Application of airborne electromagnetics to groundwater exploration in Pakistan. - *Z. dt. geol. Ges.*, **143**: 254-261, Hannover.
- WAIT, J. R. 1951. A conducting sphere in a time varying magnetic field. *Geophysics*, **16**, 666-672.
- 1967. Fields about an oscillating magnetic dipole over a two layer earth, and application to ground and airborne electromagnetic surveys. *Quarterly of the Colorado School of Mines*, **62**, 1: 1-25.

# Método eletromagnetométrico

## Artigos

Xue, G. Q., Li, X., Quan H. J., Jaggar S., 2012. Physical simulation and application of a new TEM configuration. Environ Earth Sci..





# Método eletromagnetométrico

## INTRODUÇÃO

Desde 1950 estudos vem sendo realizados na aplicação da condutividade elétrica ao mapeamento geológico, com ênfase nos sistemas aereoletromagnéticos. 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.

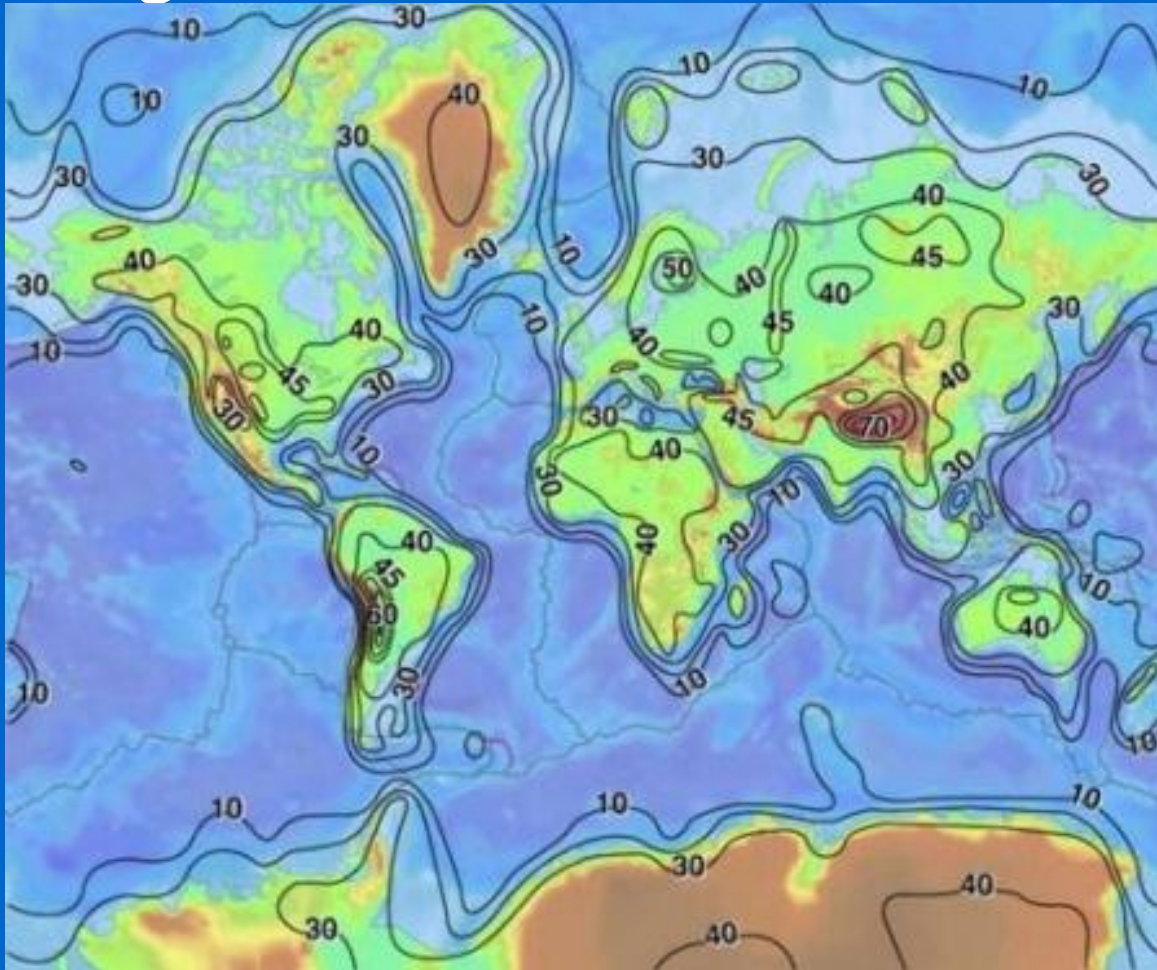
Propõe-se embasar o aluno com os assuntos: **Equações de Maxwell; Equação da onda; Soluções da equação da onda e Princípios físicos dos equipamentos EM. Fornecendo subsídio, aos estudantes em graduação, para a compreensão das técnicas eletromagnéticas empregadas num levantamento geofísico que visa à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

• • • • •

- 1 – conhecimento técnico
- 2 – capacidade de interagir
- 3 – capacidade de criar e desenvolver
- 4 – consciência com o meio ambiente e a sociedade

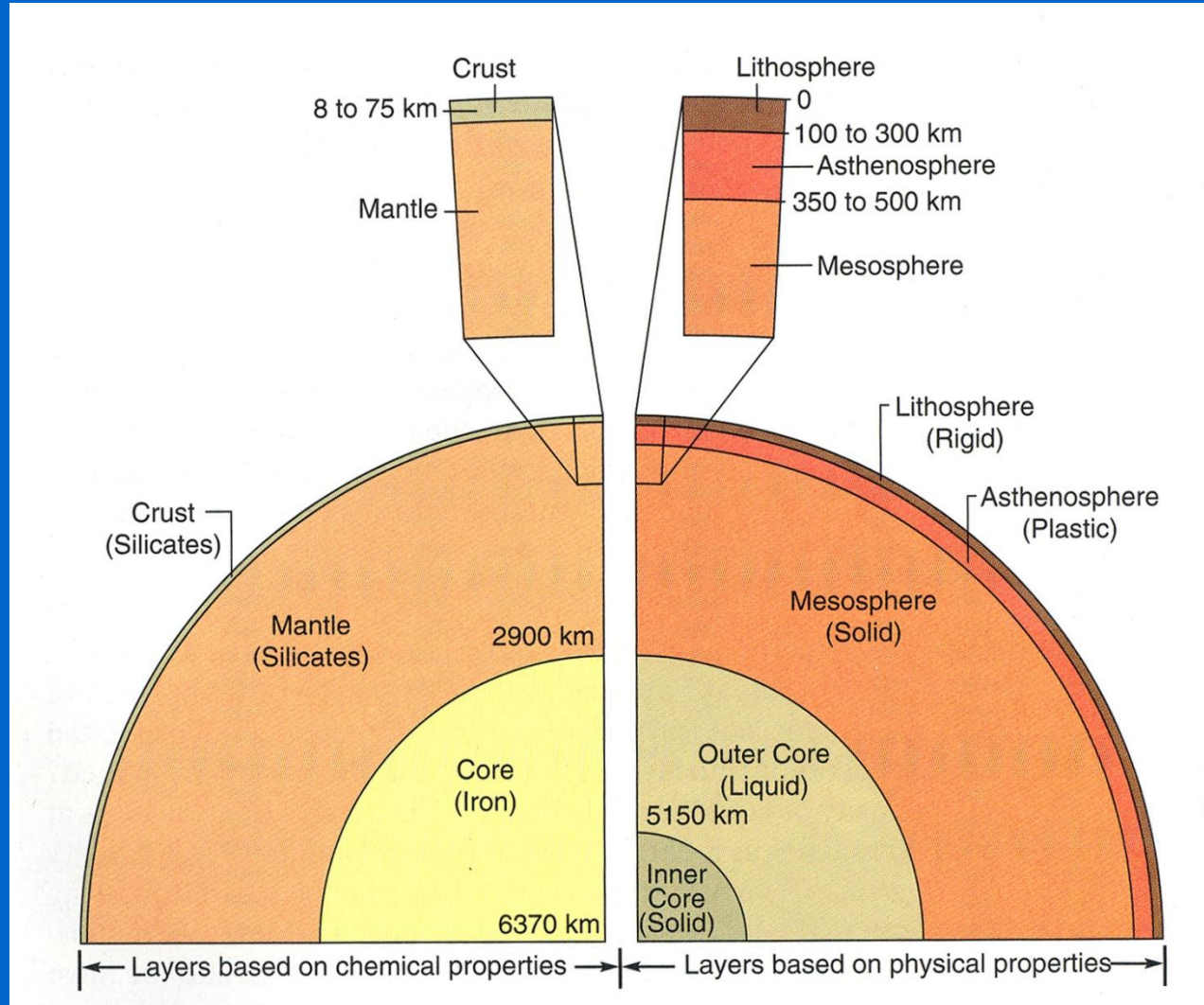


Método eletromagnetométrico  
Raso : máximo 50km –  
Magnetotelúrico. AEM – 600m



Mapa com a profundidade da Crosta

## Magnetotelúrico: centenas de km



### *Conceitos e Princípios*

Estes métodos fazem uso da resposta do solo à propagação de ondas electromagnéticas, que são constituídas por 2 vectores ortogonais :

- INTENSIDADE ELÉTRICA (E)
- INTENSIDADE MAGNÉTICA (H)

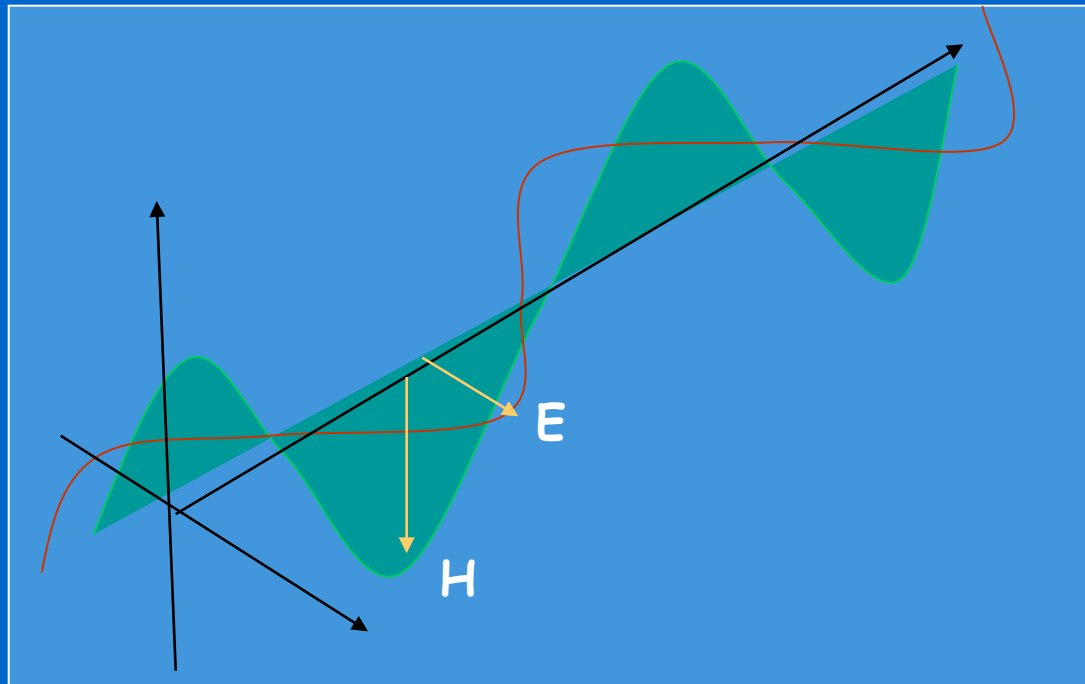
Os campos electromagnéticos primários podem ser gerados pela passagem de uma **corrente alternada numa bobina**. A resposta do solo a esse estímulo é a geração de **correntes induzidas**, que são alternadas, que por sua vez geram **campos electromagnéticos secundários**, que **induzem correntes** na bobina de recepção.

# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

## Conceitos e Princípios

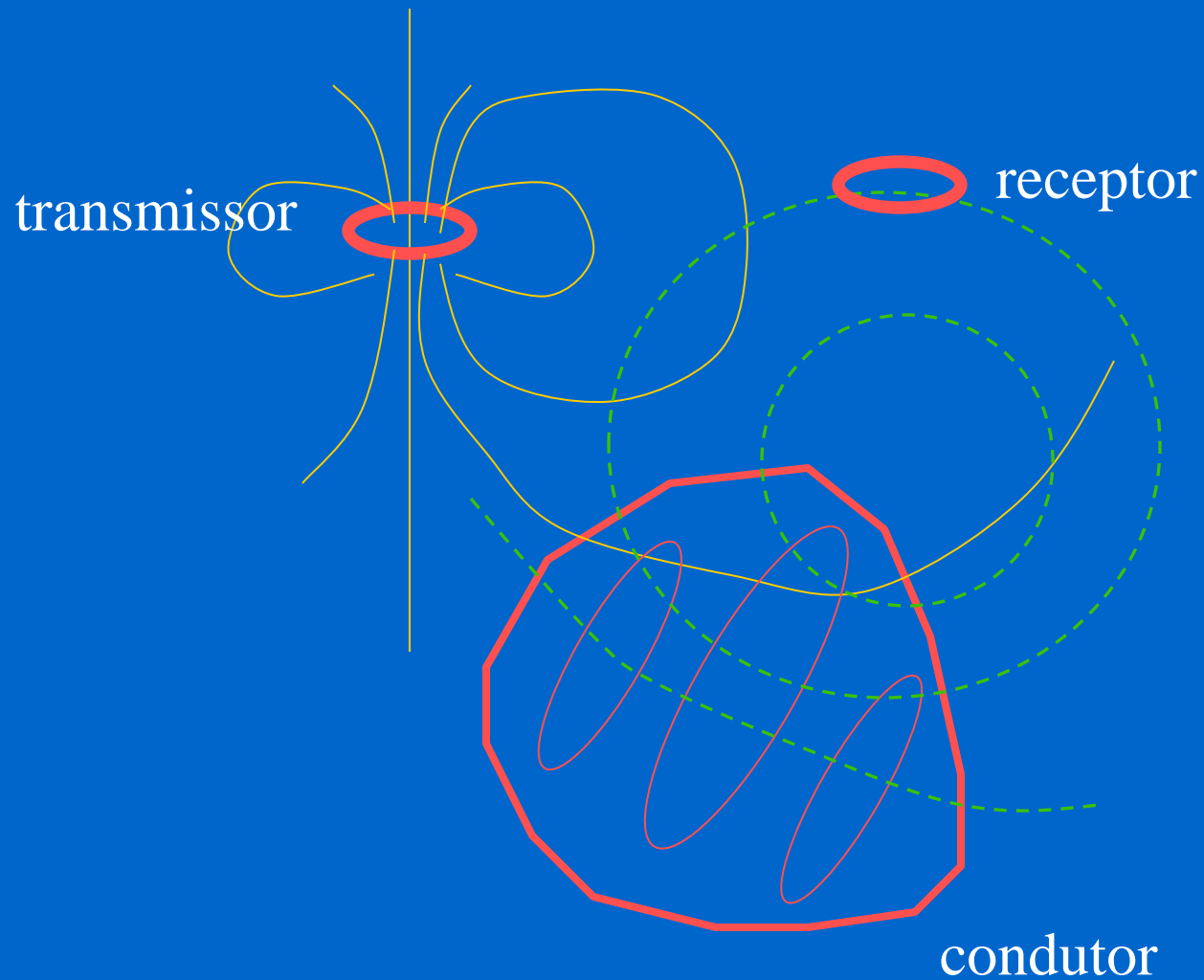
INTENSIDADE ELÉTRICA (E)

- INTENSIDADE MAGNÉTICA (H)





## PRINCÍPIO do método AEM



# Metodologia

TDEM - OFF

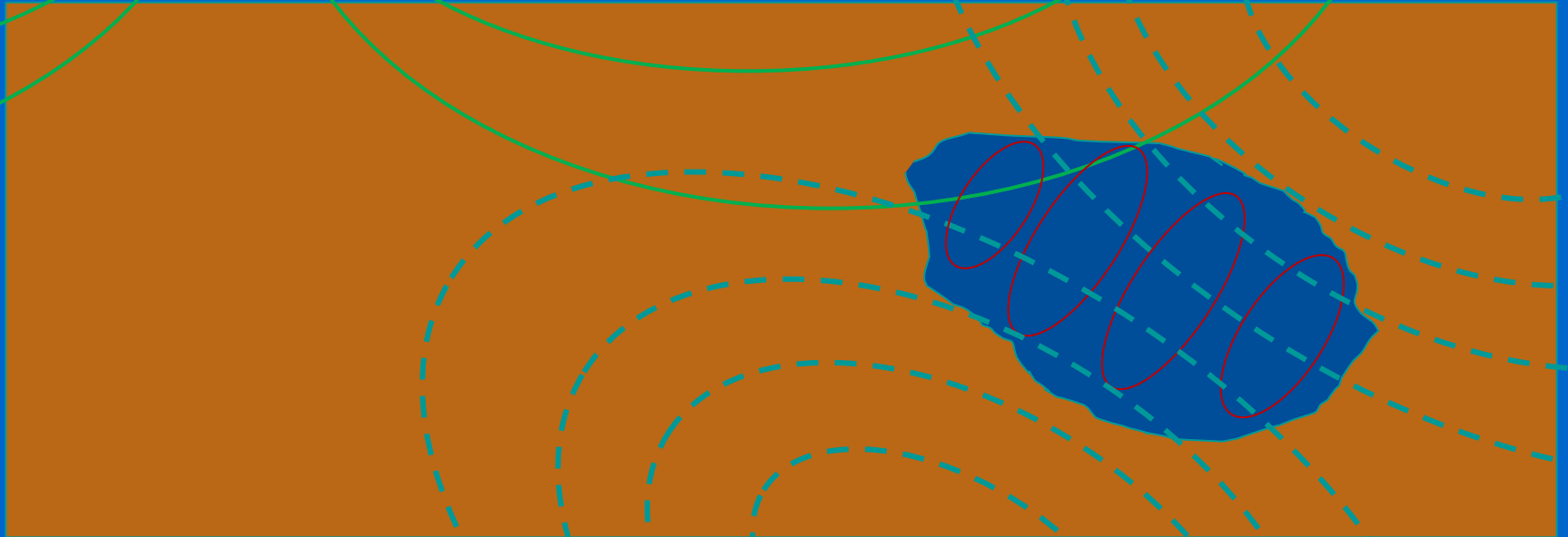
Janelas de tempo



Tx



Rx





## *Histórico e Classificação*

(1) histórico da **instrumentação** AEM, enfocando a evolução dos equipamentos eletromagnéticos aerotransportados bem como sua utilização;

(2) as **classificações dos sistemas** AEM e suas descrições no domínio do tempo, ao mesmo tempo que se faz uma comparação entre ATDEM e AFDEM (domínio da frequência). No intento de entendê-los em termos dos sistemas existentes e suas vantagens e desvantagens.



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

## *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.



Neste período o magnetômetro aerotransportado, desenvolvido no início da guerra e utilizado na detecção de submarinos, tornou-se largamente difundido na exploração mineral em todo o planeta.

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


• Magnetometria ajuda no reconhecimento geológico.

Em terrenos metamórficos deformados a abundância de corpos magnéticos dificulta a seleção dos alvos.



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

•  
**Pré Guerra** - Os métodos geofísicos mostraram que muitos tipos de depósitos minerais eram bastante condutivos, particularmente os sulfetos metamorfizados Pré-Cambrianos, os quais são importantes fontes para os metais básicos. Assim, o mapeamento da **resistividade**, usando-se os métodos eletromagnéticos terrestres, começou a ser realizado regularmente na detecção destes metais.



•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

•  
•  
•  
•  
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 AEM

- 1946: EM portátil - lago congelado



•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

•  
•  
•  
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

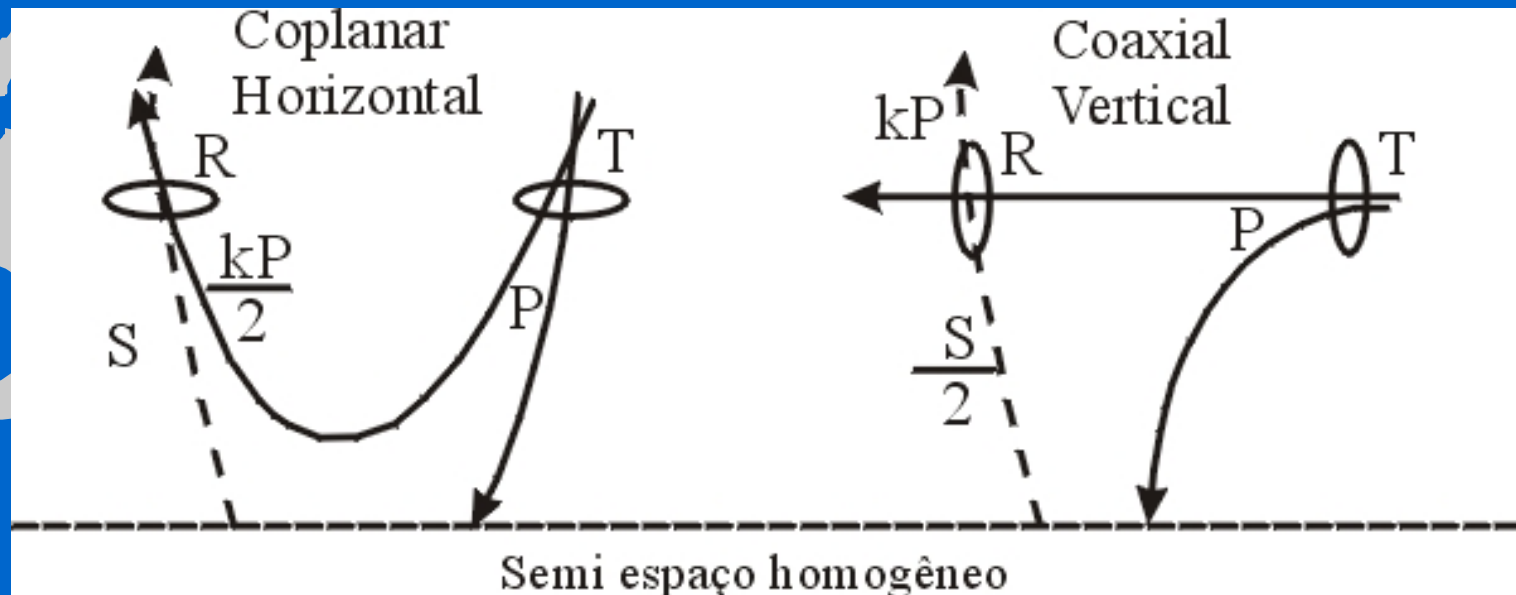




• T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

• 1954 - A. B. Elektrisk Malmletning desenvolveu sistema AEM com dupla frequência (Fountain, 1998).

• 1956 - a Rio Tinto Canadian Exploration Ltd introduziu a bobina coplanar .



•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico  
•

• Em 1957 - a Aerogeophysic Ltd, apresentou  
• um receptor que era rebocado num “ reboque  
• (bird) aéreo”

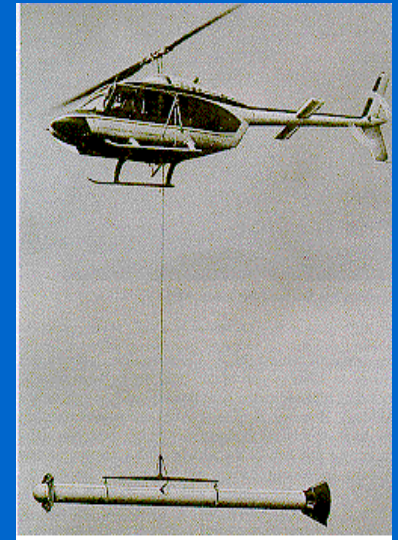
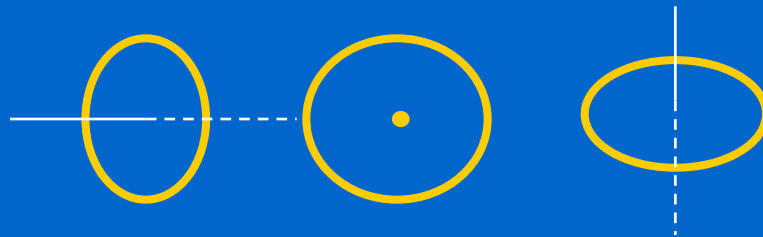


•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico  
•  
•  
•  
final de 50 - começa a ser esboçado um  
sistema que utiliza o domínio do tempo, o  
INPUT (Pulso Transiente Induzido - *Induced  
Pulse Transient*).



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

• Em 1967 Barringer introduziu um sistema que possuía uma única frequência com um transmissor na direção do eixo x (*standard*), o receptor na direção do eixo y (*fishtail*) ou do eixo z (*whale tail*) montados no charuto (Fountain, 1998).



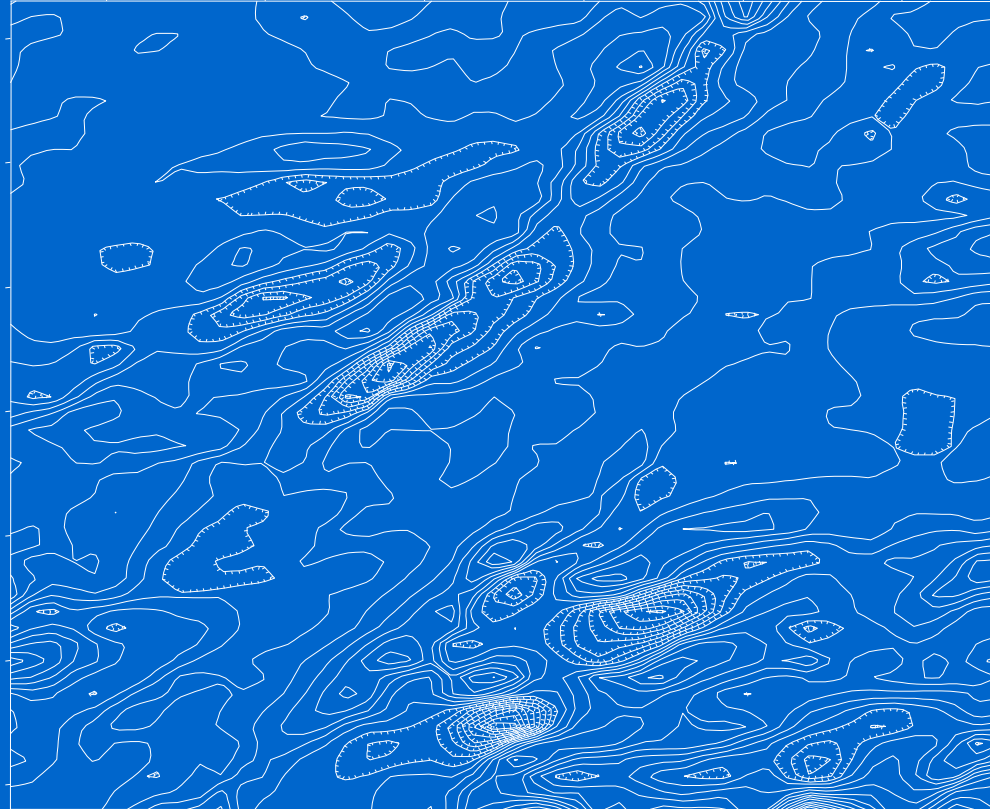
## T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

- 
- 
- 
- 
- 
- 1970 o sistema AEM tornou-se mais versátil, através do pioneirismo da **Dighem** (Fraser, 1972) usando um sistema transportado em helicóptero contendo **multibobinas**. Ele é composto por um transmissor com eixo ao longo do charuto (x) e três receptores: x (coaxial vertical), y e z. Possibilitou que fossem gerados os **mapas de contorno de resistividade** (Fraser, 1978). Este método mais quantitativo permitiu: **melhor correlação geológica, novas aplicações na exploração mineral, estudos de engenharia e prospecção de água.**

O desenvolvimento da instrumentação se ramifica em duas linhas, a de alta resolução utilizando **helicóptero** e a de maior penetração utilizando **avião**



# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico






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



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

•  
**1979** - Geotech, introduziu um sistema com 3 frequências (Geotech-3), sendo duas bobinas coaxiais verticais (945 e 5450 Hz) e uma horizontal coplanar (4100Hz). No final da década, devido ao desenvolvimento da microeletrônica houve uma melhora nos sistemas, tendo registros com mais de seis canais (Fountain, 1998).





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

1985- foi desenvolvido o DIGIHEM IV, com quatro frequências.

1985 - No mesmo ano a Geotech Ltda. completou o desenvolvimento do GEOTEM, sistema no domínio do tempo e pulso senoidal (Palacky & West, 1991; Smith & Klein, 1996). Este sistema foi seguido pelo QUESTEM em 1988 e pelo SPECTREM em 1989.



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



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

Devido ao ressurgimento da exploração mineral e às novas aplicações ambientais em 1993, os sistemas AEM foram aprimorados com relação a aquisição de dados digitais (Fountain, 1998).



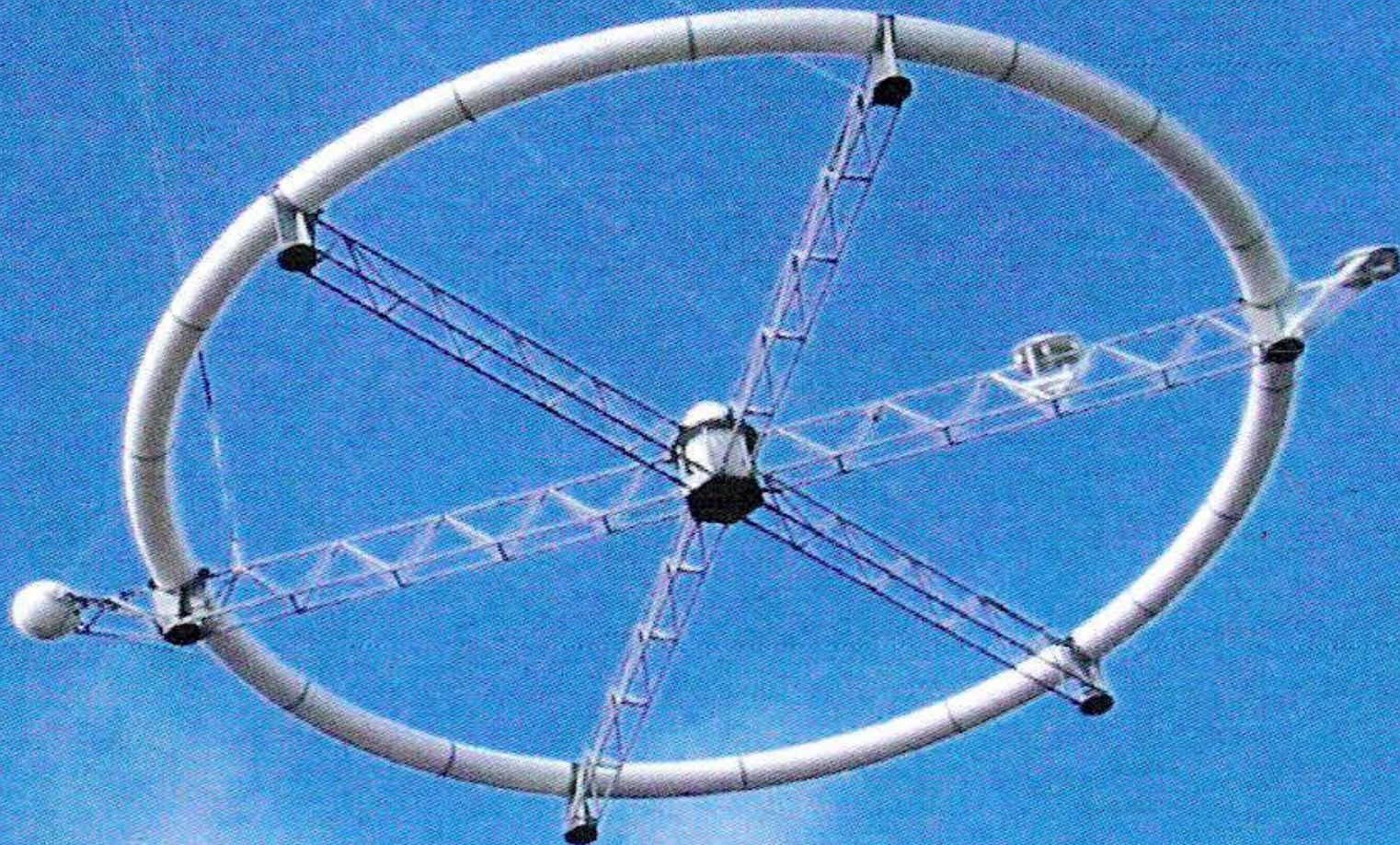
•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico  
•  
•  
•

2000 – AEROTEM, domínio do tempo,  
• existe o AEROTEM IV, é um sistema de  
nova geração do Aeroquest com bobina  
concêntrica carregada por helicóptero.  
Este sistema pode detectar condutores a  
mais de 600m de profundidade. Trabalha  
com momento dipolar de 400000 Am<sup>2</sup>,  
opera com frequência base de 30 ou 90  
Hz, possui duas bobinas receptoras (z e  
x), opera com 16 canais *on-time* mais 17  
*off-time* para ambos receptores (Figura).





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





- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema VTEM – loop de 26m de diâmetro



- T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

## Sistema VTEM – loop de 26m de diâmetro 2003 Nunavut e Quebec

2004



# Sistemas AEM

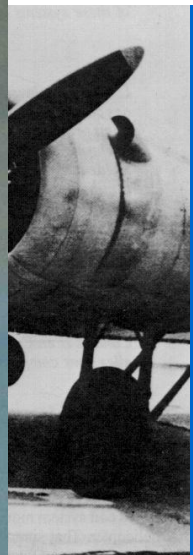
- 1946: EM portátil - lago congelado

1950/60: Geometria e plataforma  
avião, ch  
INPUT



VTEM - 2002

Spectrem - 2000





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

## Futuro

Similar ao Balão meteorológico

Equipamento com autonomia de vôo



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

## Tempo X Frequência

3 variedades de sistemas no domínio do tempo os quais são comercialmente avaliados

GEOTEM, operado pela Geotrex-Dighem,  
SALTMAP e QUESTEM, operados pela World Geoscience Corporation; a partir de 2000 estas empresas foram incorporadas pela Fugro Airborne Surveys (FAS).

Além de outros sistemas como: SPECTREM desenvolvido e operado pela Anglo American Corporation of South Africa, Aerodat Helicopter borne multigeometry system (Smith & Annan, 1997) e FLAIRTEM, sistema híbrido (Elliot, 1998).

•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

•  
•  
transmissores destes sistemas tem-se:

• a) O QUESTEM e o GEOTEM utilizam forma de onda **senoidal**, que fora utilizado com sucesso no INPUT.

b) a tendência dele é de aumentar o momento dipolo dos transmissores.

c) Os sistemas **temporais** emitem o sinal num espectro de frequências **contínuo** limitado acima em cerca de 500Hz e abaixo em 30 ou 50 Hz, tendo maior variedade de frequências que os **AFDEM** (Holladay & Lo, 1997), já que estes últimos realizam o levantamento utilizando de **uma a cinco** frequências.

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

## Considerações finais - Equipamentos

1950 e 1960 - desenvolvimento da geometria do sistema e da plataforma foi fundamental.

1980 - sistemas de multibobinas, para levantamentos rasos e de alta resolução, com a utilização do helicóptero e operando no domínio da frequência (AFDEM); e aqueles de alta penetração montados em aviões e funcionando no domínio do tempo.

1985 - dada importância à tecnologia digital e sistemas ATDEM (Palacky & West, 1991).

•  
T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

•  
•  
•  
1990 - o sistema no domínio do tempo portado em avião começa a medir as três componentes do campo EM secundário. Tem como opções o tipo de onda que é transmitida, a quantidade de energização e também sistemas que podem adquirir o campo magnético (B) como sua variação no tempo (dB/dt) (Smith & Annan, 1998). Similarmente, os sistemas portados em helicópteros no domínio da frequência começaram a operar com cinco pares de bobinas



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

2000 desenvolvimento um sistema AEM de asa fixa (avião) com receptor na asa, usando nova plataforma e tendo maior penetração em terrenos condutivos. Novas explorações conduzirão à maior variedade de plataformas com a finalidade de torná-las mais fidedignas, seguras e com capacidade para operar sistema múltiplo. O Helicóptero AEM será usado em levantamentos onde se almeje alta resolução e boa definição no mapeamento da resistividade, empregando sistema de bobinas múltiplas e amplo espectro de frequências (Fountain, 1998).

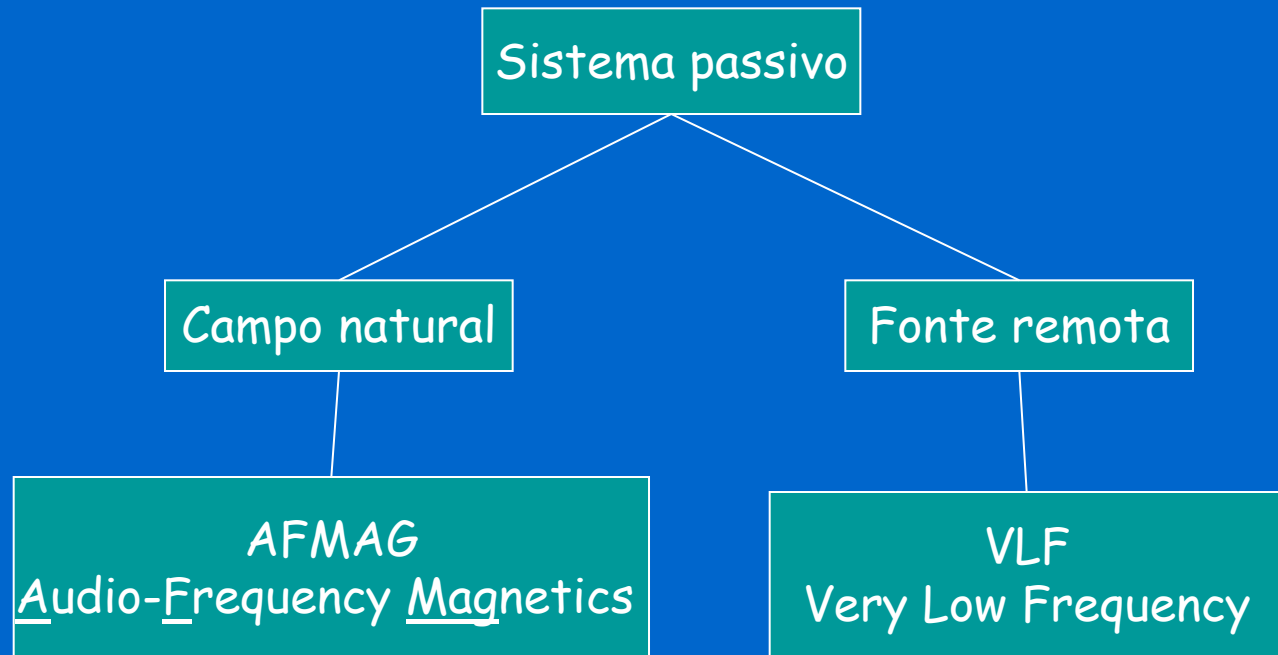
## Classificação do Método EM

Sistema passivo

Sistema ativo

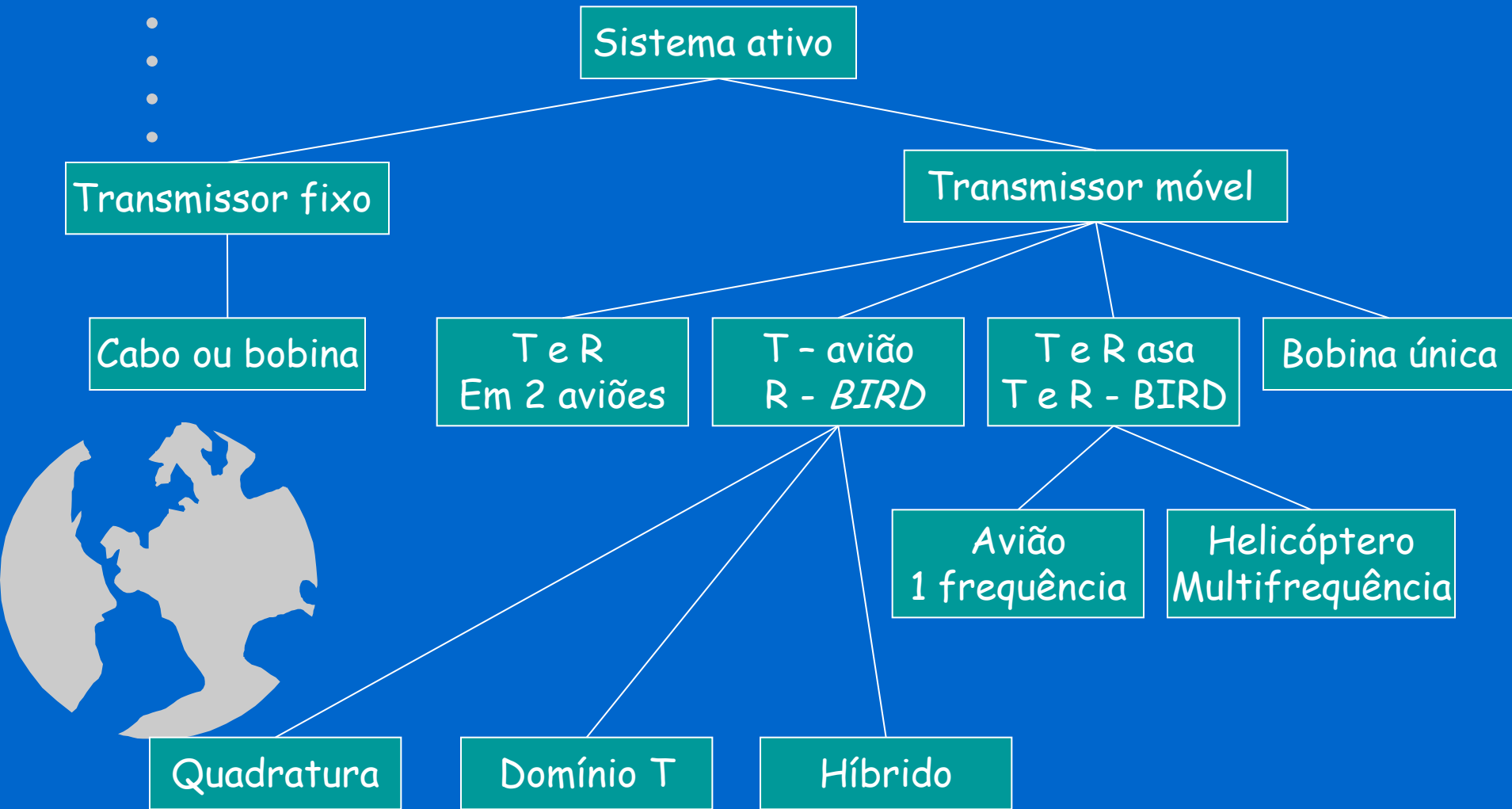


## Classificação do Método EM





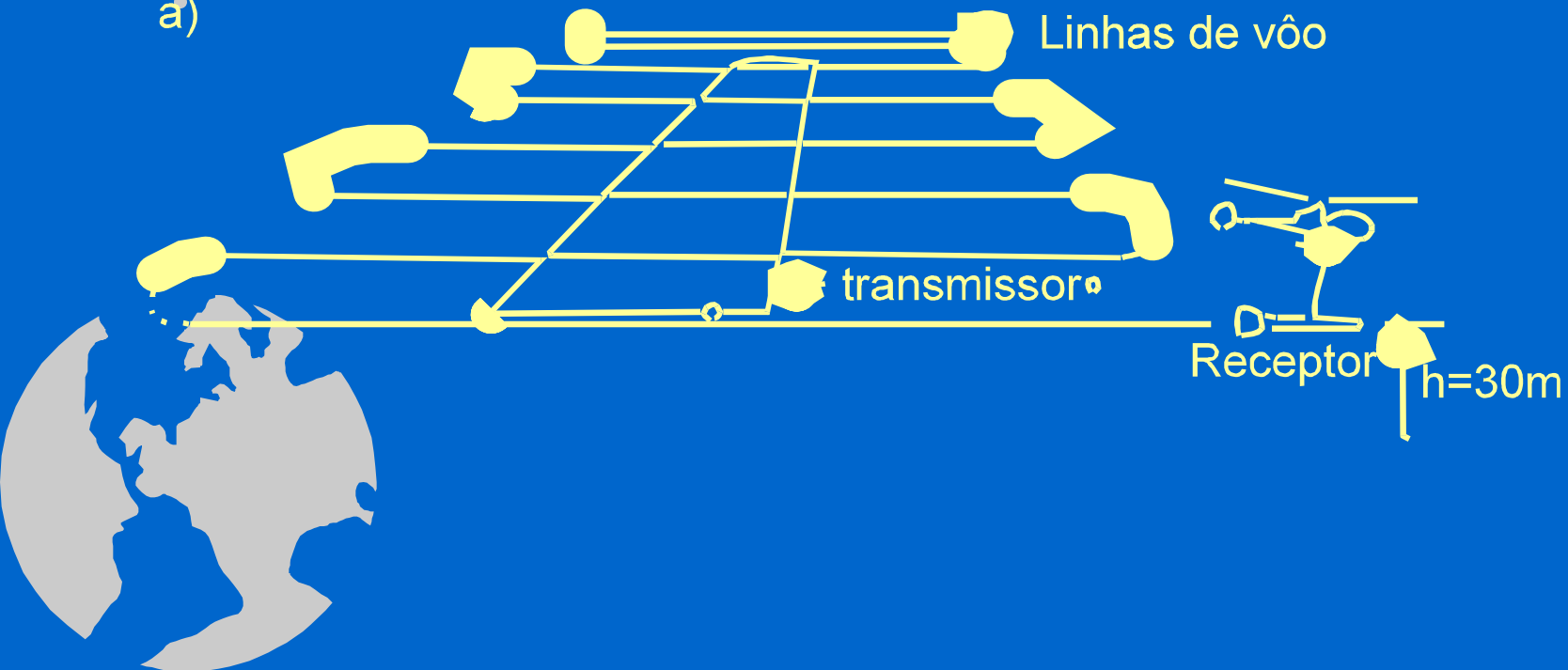
# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico



# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema Ativo  
Transmissor fixo

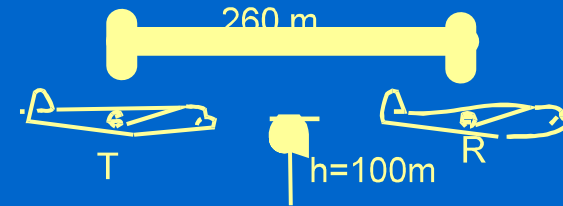
a)



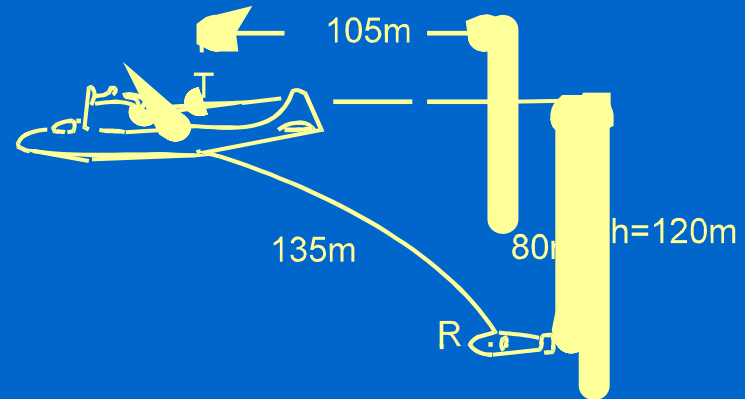
# T. de Geofísica: Introdução ao Método eletromagnetométrico

Sistema Ativo  
Transmissor móvel

1 - duas aeronaves

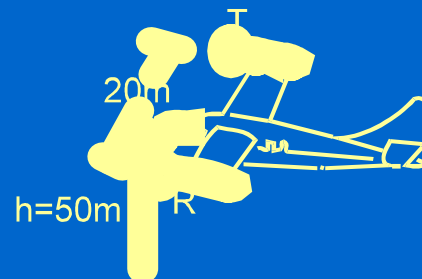


2 - T – avião R no bird

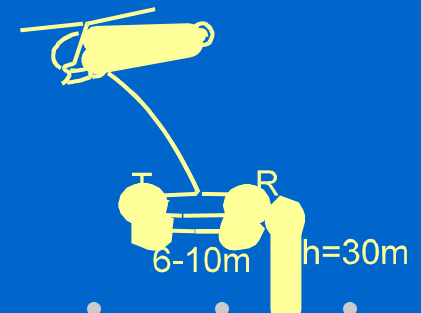


3 - T e R nas asas ou no Bird

d) Wing Tip



Helicóptero



## Classificação dos sistemas AEM

Sistemas aéreos

Sistemas navegáveis  
terrestres

