

Introdução

O que é Geofísica?

Geofísica

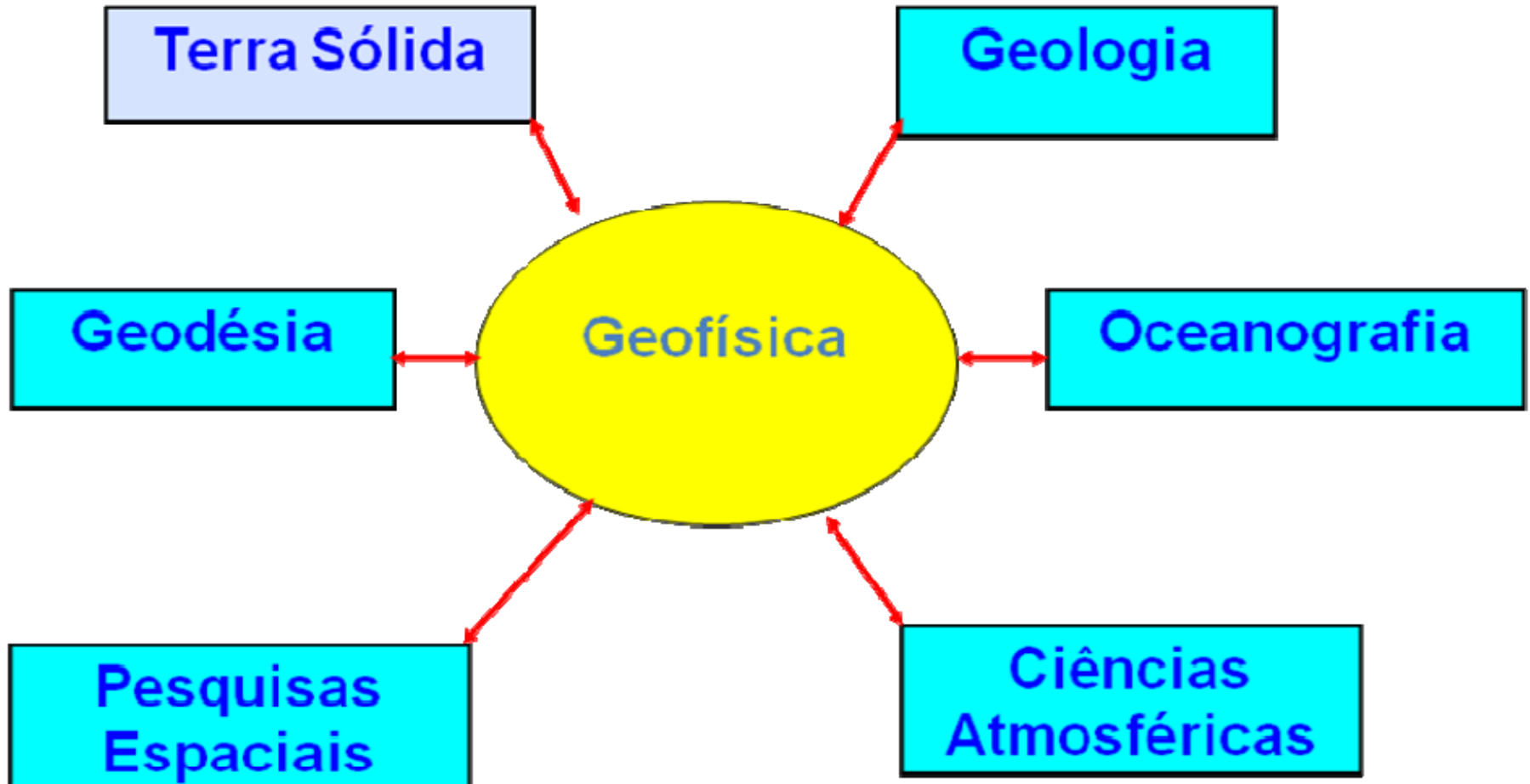
A **Geofísica** é a ciência que estuda os fenômenos e as propriedades físicas da Terra como um todo: seu interior, sua superfície e sua vizinhança exterior.

Utiliza-se de princípios e conceitos da Física, Geologia e outras ciências, bem como de ferramentas matemáticas e computacionais

Geofísica

- É uma reunião de vários ramos da ciência com escopo e enfoque diferenciados na aplicação da Física ao estudo da Terra.
- As investigações geofísicas se baseiam nos fundamentos e princípios das ciências básicas (tais como física, matemática e química), mas a compreensão das suas diversas facetas exige também conhecimentos das demais setores de geociências em geral, tais como a geodésia, geologia, ciências atmosféricas, oceanografia, ciências atmosféricas e física do espaço.

Geofísica



Geofísica

- **Propriedades físicas**
 - Magnetização
 - Densidade
 - Condutividade elétrica (complexa)
 - Módulos elásticos
 - Radioatividade
 - Condutividade térmica

Geofísica: classificação

Geofísica global – quando a geofísica é utilizada somente para fins científicos. Seu objetivo principal é entender fenômenos físicos que ocorrem na Terra e também devido à Terra.

Geofísica aplicada – quando a geofísica é utilizada para algum objetivo específico, seja econômico, político, monitoramento, etc

Geofísica: história

Estudo da Terra remonta às primeiras civilizações.

- Conhecimentos fragmentados por falta de estudos sistemáticos em escala global.
- Evolução barrada também por crenças religiosas.
- Crenças pré-cristãs dizia que a Terra era sustentada por forças sobrenaturais e desastres naturais eram atribuídos a seres místicos.

Geofísica: história

- Na mitologia grega, a Terra era limitada à região do mediterrâneo em forma de disco.
- O império chinês do terceiro milênio da era pré-cristã utilizava “cartas da direção sul”, elaborado com ajuda de um ‘*material que indicava a direção norte*’.
- Os observadores antigos na Índia notaram regularidades nas variações sazonais e anuais e propuseram calendários vinculados às posições das estrelas ‘fixas’.

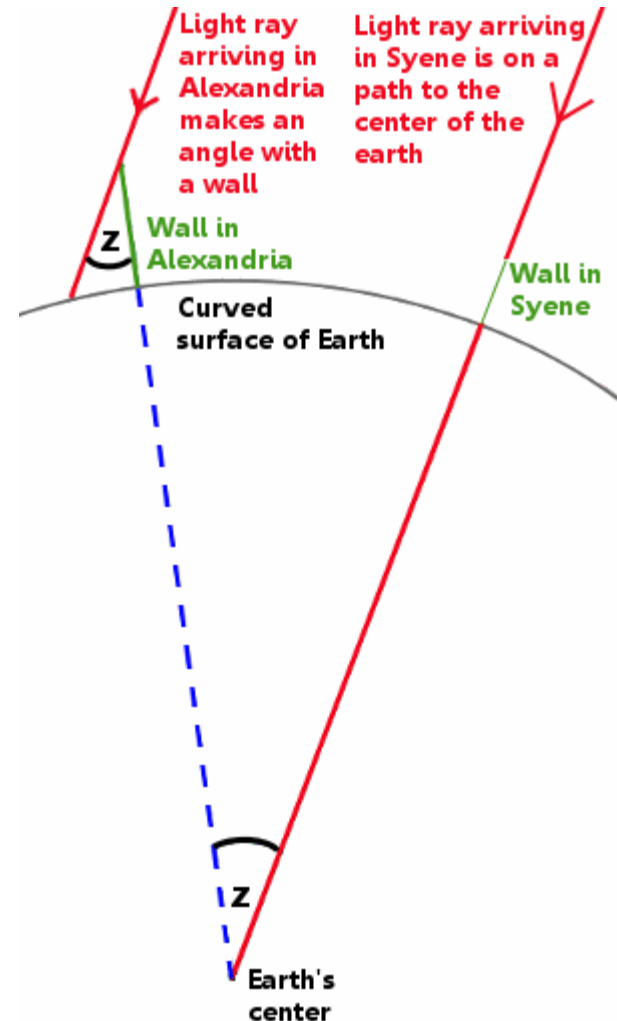
Geofísica: história

- Os observadores na Grécia notarem que havia ainda corpos celestes ‘não fixas’ e chamarem os de ‘planetes’ (significa ‘perambulantes’).
- Pitágoras (582 – 507 AC) e seus seguidores especularem que a Terra é uma esfera.
- Aristóteles (384 – 322 AC) adotou a prática de deduções baseadas em lógica aparente (silogismo) e propuseram um modelo do universo com Terra no seu centro.

Geofísica: história

As investigações científicas tiveram início nos primeiros séculos da era pré-cristã.

- Erastóstenes (275 – 195 AC) utilizou um método simples para estimar a circunferência da Terra.



Geofísica: história

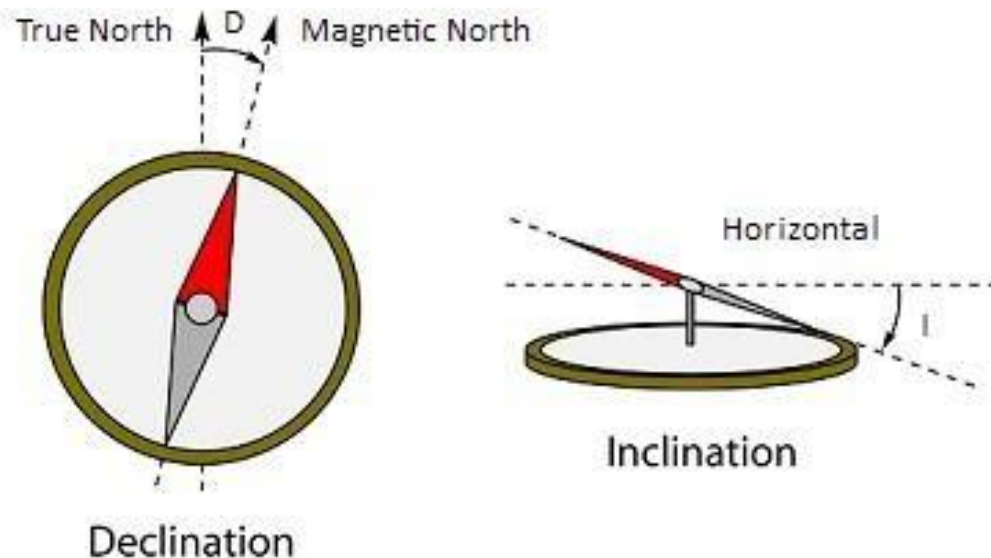
- Hipparchus (190 – 120 AC) inventou o dispositivo conhecido como *astrolábio* para medidas de corpos celestes.
- Ptolemy, do segundo século da era cristã, conseguiu prever os movimentos dos planetas com precisão.

Geofísica: história

- Marco Pólo ao retornar da viagem histórica a China difundiu na Europa uso de um mineral que indicava direção norte, muito comum na Magnésia.
- Nos séculos seguintes a invenção da bússola impulsionou as viagens de reconhecimento dos oceanos.

Geofísica: história

- Assim a primeira “carta de declinação” do oceano Índico foi àquela preparada por João de Barros, sob recomendação da corte real portuguesa.



Geofísica: história

- Em 1600, o físico inglês William Gilbert publicou o livro “**De Magnet**”, onde são abordadas as propriedades das agulhas magnéticas e suas relações com a constituição da Terra, que foi indicado como um ímã de grande porte.
- Em 1543 o astrônomo Nicolas Copérnico publicou seu trabalho refutando a teoria ‘geocêntrica’.

Geofísica: história

- As observações posteriores de Tycho Brahe (1546-1601) e Johannes Kepler (1571-1630) constituíram a base do **modelo heliocêntrico do universo**.
- Galiléu Galilei (1564 – 1642) fez descobertas de grande importância em física e astronomia e utilizou telescópio na aquisição de dados valiosos sobre planetas e seus satélites naturais.

Geofísica: história

Isaac Newton (1642 –1727) no seu livro de três volumes '*Philosophiae Naturalis Principia Matemática*' formulou as *leis de movimento* e da *gravitação universal*, que foram fundamentais no avanço da Geofísica nos séculos seguintes.

Geofísica: história

- A evolução dos conhecimentos nos séculos posteriores impulsionarem ainda mais o desenvolvimento da geofísica.
- Assim, mapas do Atlântico do século 17 foram utilizados pelo Francis Bacon para chamar a atenção para paralelismo das linhas costeiras do Brasil e da África.

Geofísica: história

- Pesquisas geológicas do século 19 permitiram o geólogo Eduardo Suess a propor existência, em tempos Paleozóicos, de um supercontinente no hemisfério sul denominado '*Gondwana*', composto de América do Sul, África, Antártica, Austrália, Índia e Arábia.

Geofísica: história

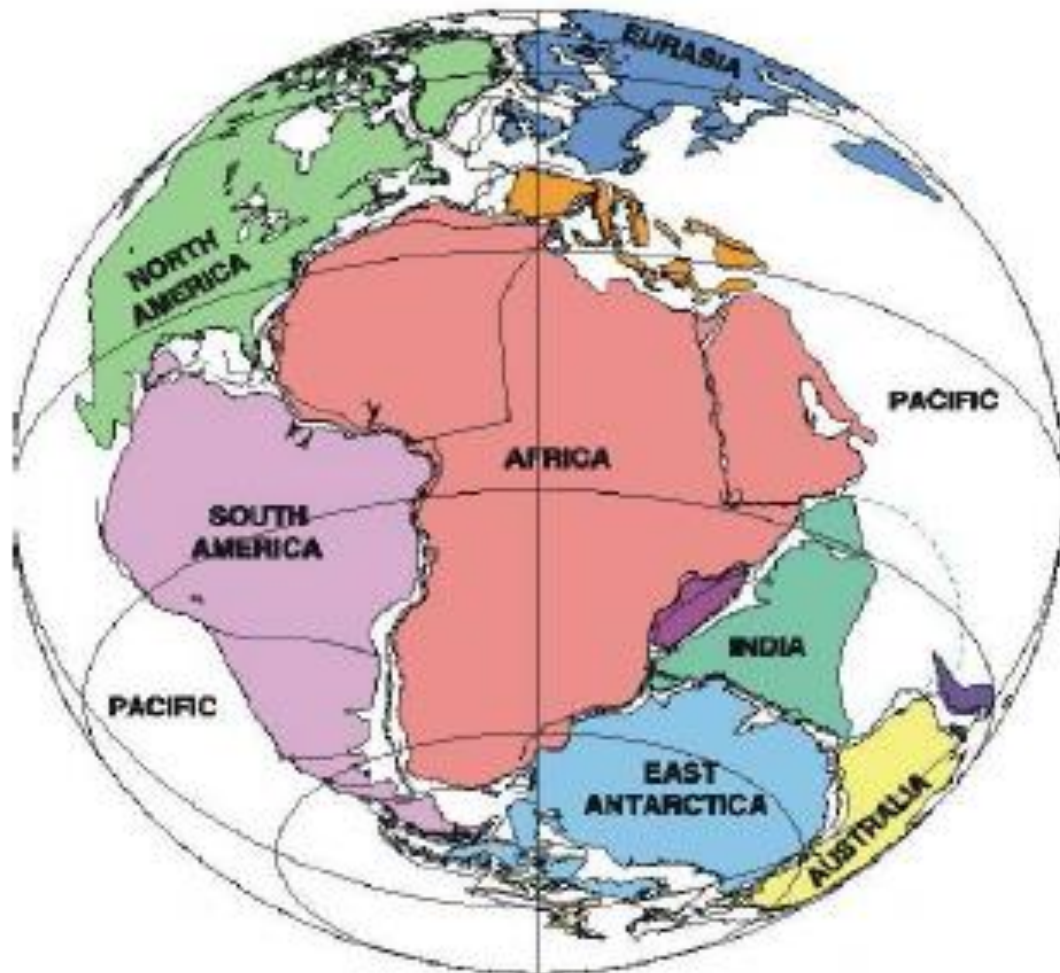
- Foram propostas posteriormente a existência, em tempos Paleozóicos, de outro supercontinente no hemisfério norte, denominado Laurásea, composto de América do Norte, Groenlandia e Europa. As duas supercontinentes eram separadas por um paleo oceano *Tethys*.

Geofísica: história

- Em 1912, o meteorólogo e geólogo alemão Alfred Wegener, baseados em evidências paleo climáticas, propôs a teoria da deriva continental, pelo qual os movimentos horizontais dos blocos crustais eram responsáveis pelo desmembramento do super continente *Pangaea*, que era rodeada pelo único oceano *Pantalassa*, nos tempos paleozóicos.

Geofísica: história

- Pangea



Geofísica: história

- A teoria de deriva continental ganhou força com estudos de **correlação geológica transcontinental** (semelhanças sedimentológicas, paleontológicas e tectônicas entre África e América do Sul) realizados pelo geólogo da África do Sul, Alexander du Toit, em 1937.

Geofísica: história

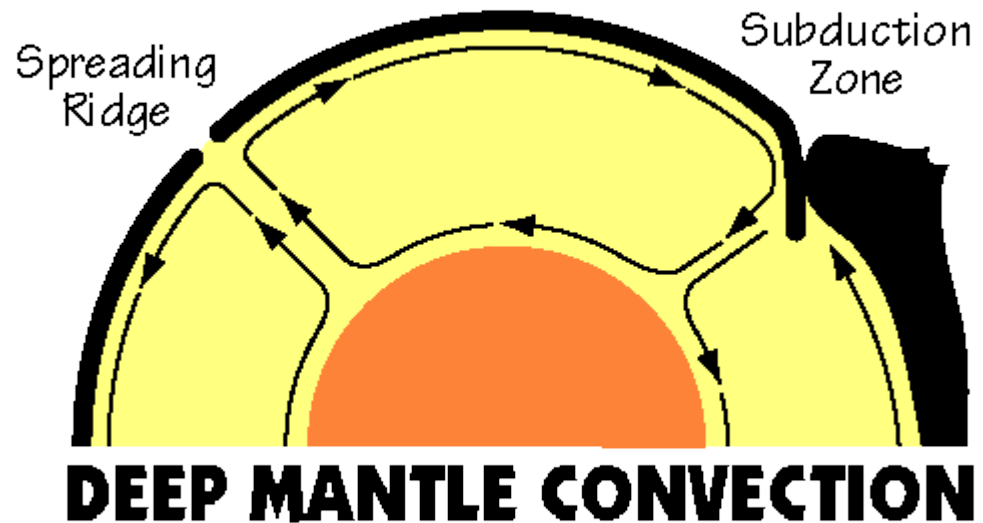
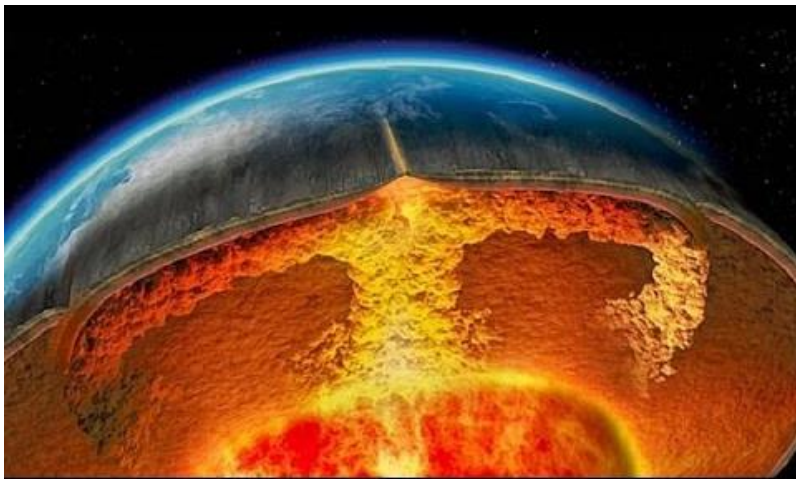
- Em 1965, Bullard e seus colaboradores utilizaram um procedimento iterativo, assistido por técnicas computacionais modernas, para testar o ajuste dos continentes que margeiam o oceano Atlântico. Os resultados comprovaram as conclusões preliminares de Wegener e Du Toit.

Geofísica: história

- Na teoria de deriva continental não foi apresentada um mecanismo que impulsionaria os movimentos dos continentes que ao mesmo tempo seria capaz de superar a resistência da crosta oceânica, constituída de rochas basálticas.
- No início da década de 1960 Hess e Dietz propuseram a teoria de *espalhamento do fundo oceânico* a partir de cadeias meso oceânicas como um mecanismo capaz de permitir movimentos laterais da crosta oceânica.

Geofísica: história

- Foi proposto então que o processo fundamental responsável pelo espalhamento da crosta oceânica seria a convecção térmica no manto oceânico.
- https://youtu.be/p0dWF_3PYh4?t=20s



Geofísica: história

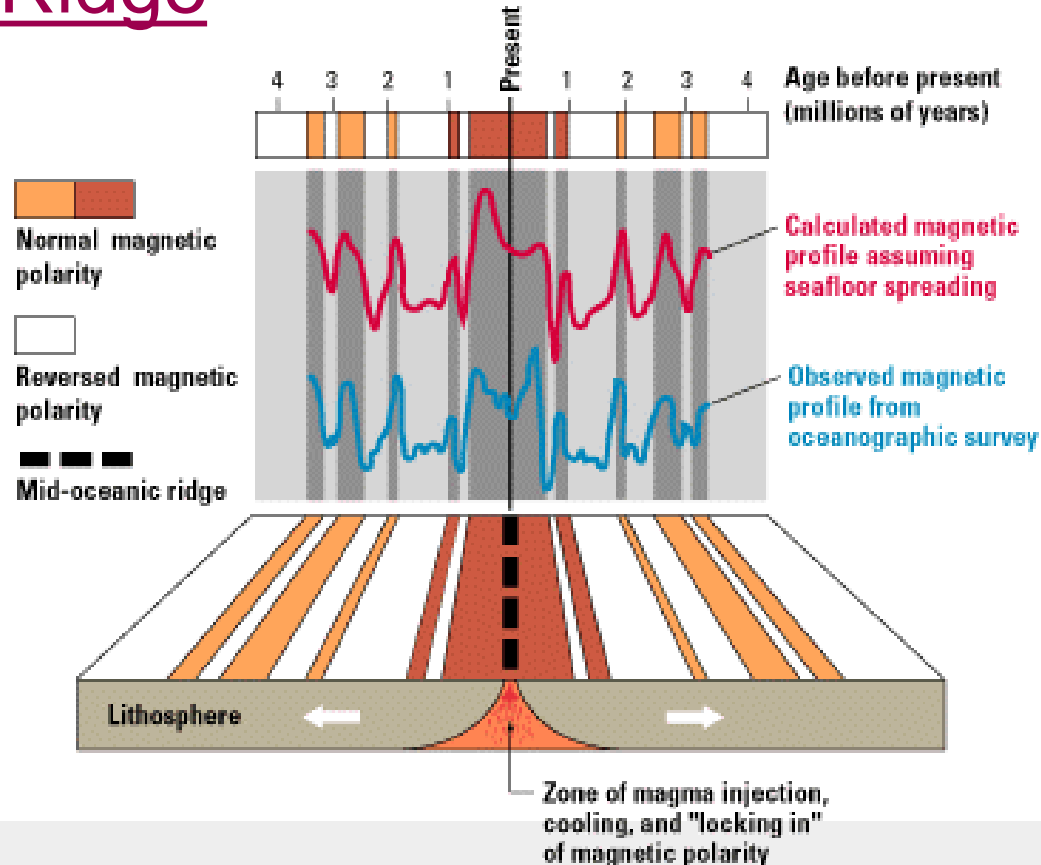
- Em 1963 os geofísicos ingleses F.J. Vine e D.H. Matthews demonstrarem que a crosta oceânica nas proximidades das cadeias é constituída de segmentos paralelos com polaridades de magnetização normal e reversa e que havia simetria desses segmentos em relação á cadeia oceânica.

Geofísica: história

- Eles propuseram que este padrão regular e simétrico de polaridades foi adquirido como consequência de magnetização de derrames basálticos durante os episódios de espalhamento da crosta oceânica

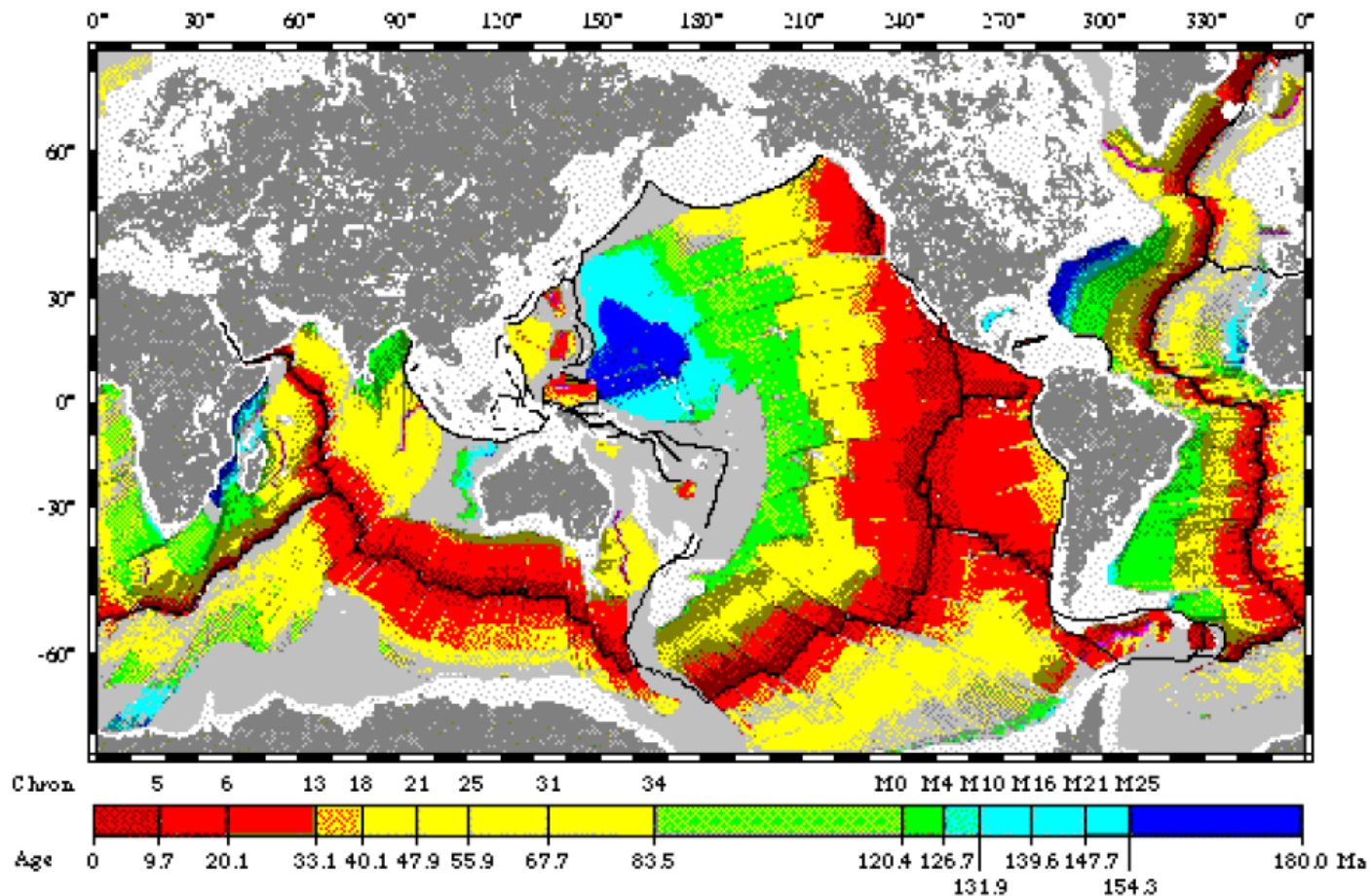
Geofísica: história

- <https://www.geolsoc.org.uk/Plate-Tectonics/Chap3-Plate-Margins/Divergent/Mid-Atlantic-Ridge>



Geofísica: história

- Idade do fundo do mar



Geofísica: história

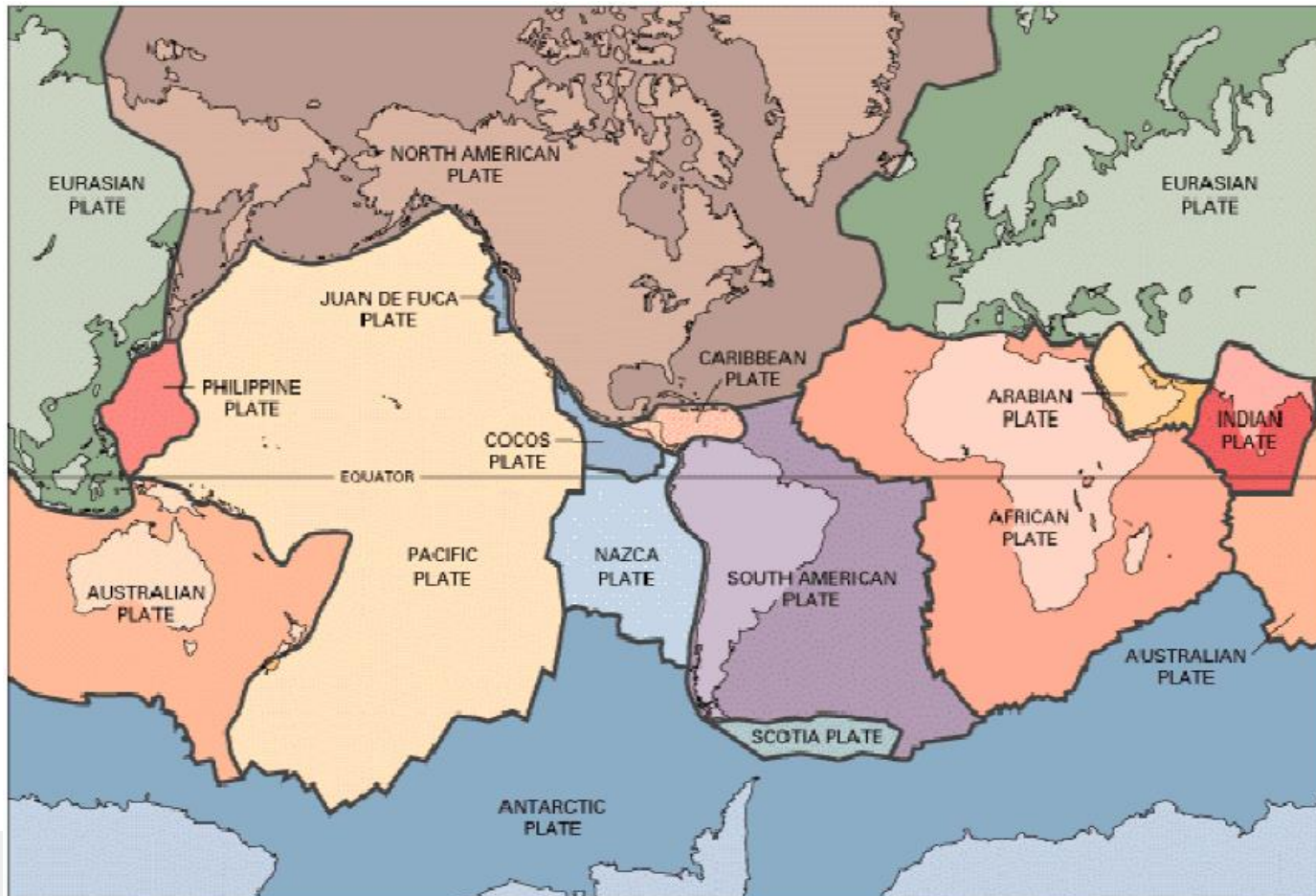
- Contudo, as conseqüências das teorias de deriva continental e de espalhamento do fundo oceânico não eram totalmente compatíveis com os resultados dos estudos sismológicos das décadas de 1950 e 1960.
- Grande parte das atividades sísmicas e vulcânicas ocorre ao longo de faixas estreitas que são bordas de segmentos inativos da crosta terrestre.

Geofísica: história

- Na tentativa de compatibilizar essas observações em escala global foi proposto que a camada que sofre movimentos horizontais na superfície terrestre não é a crosta, mas a parte sobrejacente da camada astenosfera, denominada a litosfera.
- Nasceu-se desta forma a teoria moderna de *tectônica de placas*.

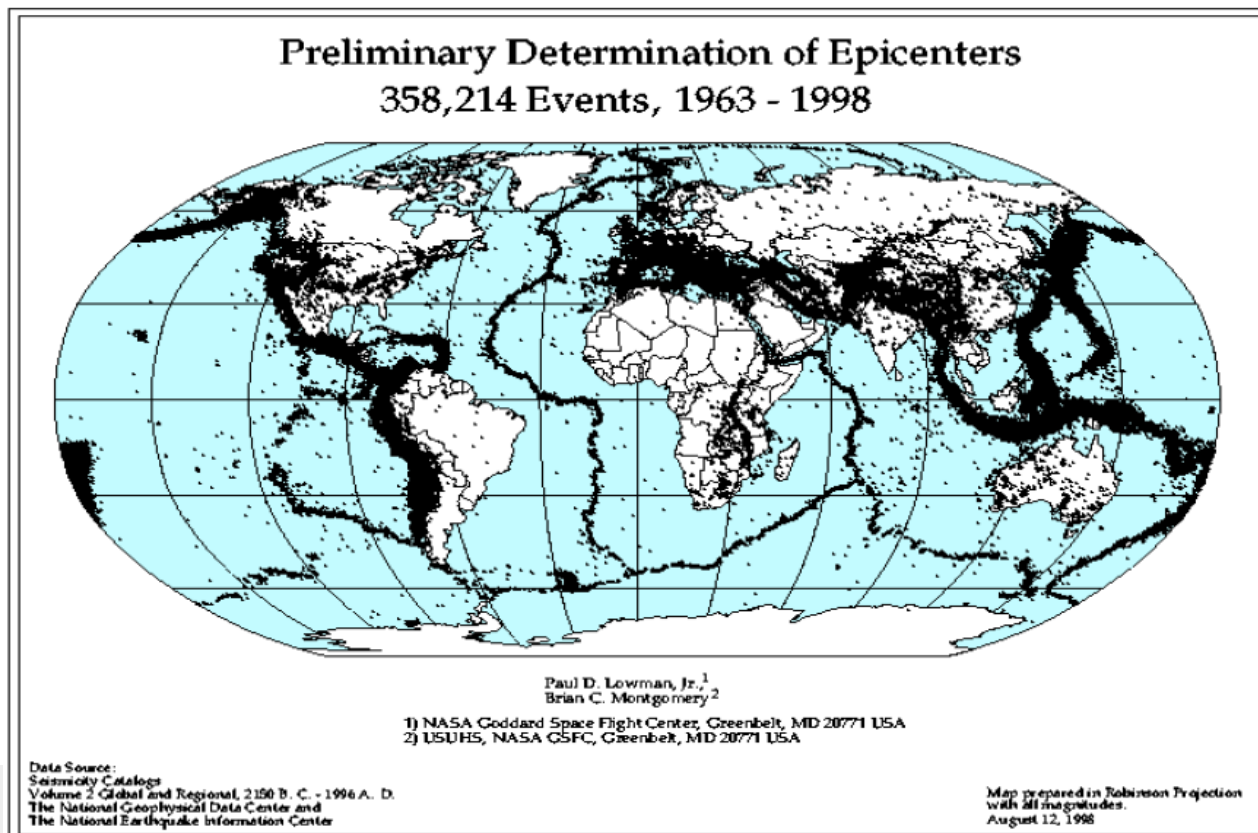
Geofísica: história

- As principais placas identificadas nos estudos modernos são indicados na figura.



Geofísica: história

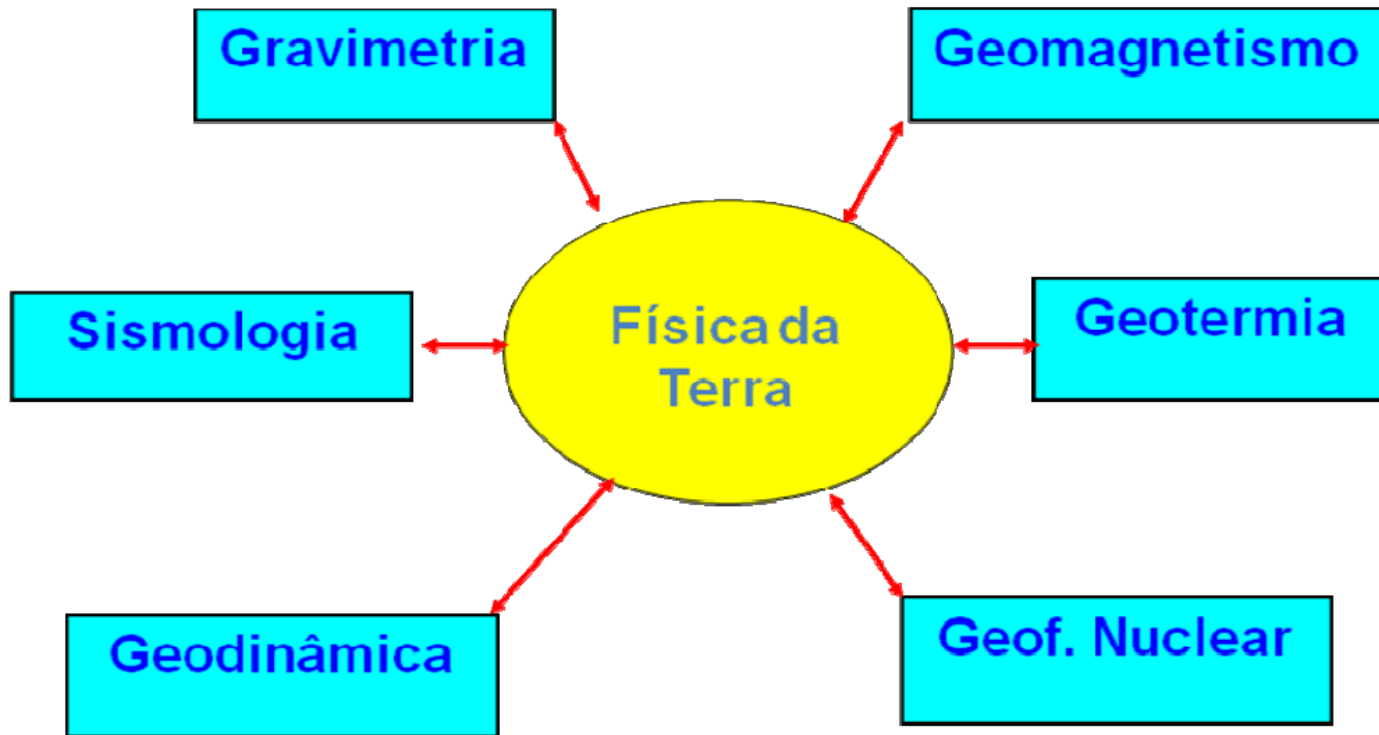
- Nota-se que grande parte das atividades sísmicas e vulcânicas ocorrem nas zonas de interação entre as placas tectônicas.



Geofísica global

- Métodos geofísicos
 - Geomagnetismo
 - Gravitação e Geodésia
 - Geoeletricidade
 - Sismologia
 - Radioatividade terrestre; raios cósmicos
 - Geotermologia

Geofísica global



Geofísica aplicada

- Campo de ação
- Classificação geral dos métodos geofísicos
- Usos nas diferentes fases da exploração

Geofísica aplicada

- Campo de ação
 - Parte superior da Crosta
 - Problemas de prospecção (econômicos)
 - Indústria Mineral
 - Indústria do Petróleo e Gás
 - Hidrogeologia
 - Meio Ambiente

Geofísica aplicada

- Classificação dos métodos geofísicos
 - Magnético
 - Gravimétrico
 - Elétrico
 - Eletromagnéticos
 - Sísmica
 - Radioatividade (Gamaespectrometria)
 - Medições em poços
 - Outros (termal, químicos etc)

Métodos geofísicos: comparação

Geofísica global	Geofísica aplicada
Geomagnetismo	Magnético
Gravitação e geodésia	Gravimétrico
Geoeletricidade	Elétrico e eletromagnético
Sismologia	Sísmica (refração e reflexão)
Radioatividade terrestre; raios cósmicos	Radioatividade (gamaespectrometria)
Geotermologia	Outros (termal, químicos etc)
	Medições em poços

Métodos de Investigação

- **Invasivos (ou ativos):** Que se valem de alguma fonte de energia para excitar o meio a ser investigado.
- **Não invasivos (ou passivos):** Que medem passivamente alguma forma de energia emanada pelo meio.

Métodos de Investigação

- **Invasivos**
 - Sísmica de Reflexão e Refração;
 - Sismologia e Sísmica Passiva;
 - Métodos elétricos e eletromagnéticos;
 - Perfilagem de poços
 - Georadar (GPR).
- **Não invasivos**
 - Gravimetria e Magnetometria (métodos potenciais);
 - Magneto-telúrico;

Adequação dos métodos aos problemas

Geophysical method	Chapter number	Dependent physical property	Applications (see key below)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gravity	2	Density	P	P	s	s	s	s	!	!	s
Magnetic	3	Susceptibility	P	P	P	s	!	m	!	P	P
Seismic refraction	4,5	Elastic moduli; density	P	P	m	P	s	s	!	!	!
Seismic reflection	4,6	Elastic moduli; density	P	P	m	s	s	m	!	!	!
Resistivity	7	Resistivity	m	m	P	P	P	P	P	s	P
Spontaneous potential	8	Potential differences	!	!	P	m	P	m	m	m	!
Induced polarization	9	Resistivity; capacitance	m	m	P	m	s	m	m	m	m
Electromagnetic (EM)	10	Conductance; inductance	s	P	P	P	P	P	P	P	P
EM–VLF	11	Conductance; inductance	m	m	P	m	s	s	s	m	m
EM – ground penetrating radar	12	Permittivity; conductivity	!	!	m	P	P	P	s	P	P
Magneto-telluric	11	Resistivity	s	P	P	m	m	!	!	!	!

P = primary method; s = secondary method; m = may be used but not necessarily the best approach, or has not been developed this application; (!) = unsuitable

Applications

- 1 Hydrocarbon exploration (coal, gas, oil)
- 2 Regional geological studies (over areas of 100s of km²)
- 3 Exploration/development of mineral deposits
- 4 Engineering site investigations
- 5 Hydrogeological investigations
- 6 Detection of sub-surface cavities
- 7 Mapping of leachate and contaminant plumes
- 8 Location and definition of buried metallic objects
- 9 Archaeogeophysics

Relevância de propriedades físicas

PHYSICAL PROPERTY

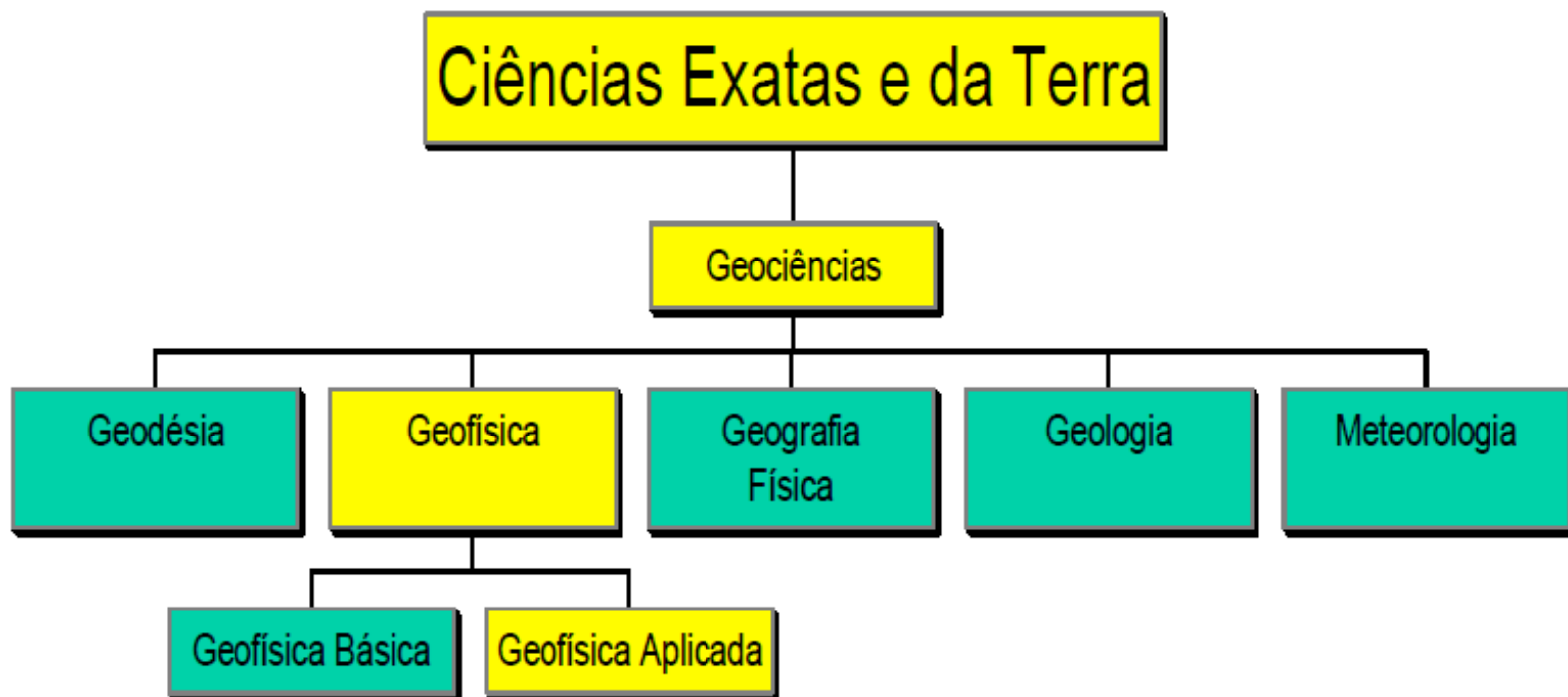
T
A
R
G
E
T

	Density	Magnetic Susceptibility	Electrical Resistivity	Dielectric Permittivity	Seismic Velocity
Porosity (pore,fracture)					
Permeability					
Water content					
Oil content					
Water quality					
Clay content					
Magnetic mineral content					
Metallic mineral content					
Metallic object					
Mechanical properties					
Subsurface structure					

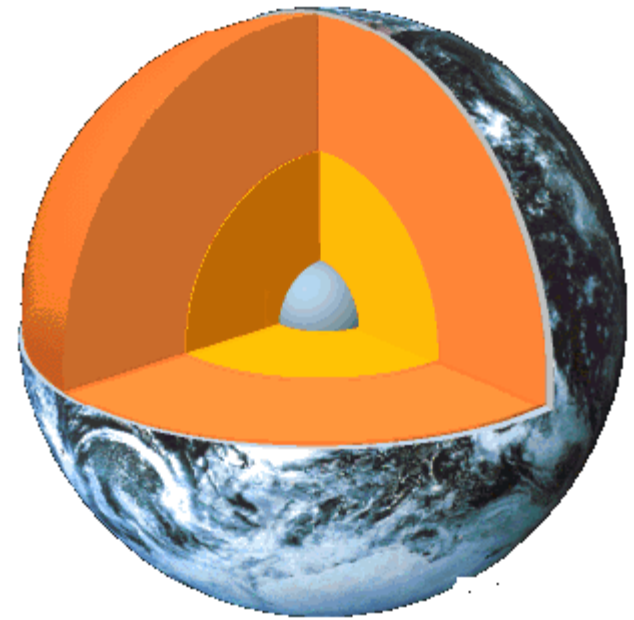
strong	moderate	weak	none
--------	----------	------	------

Degree of relationship

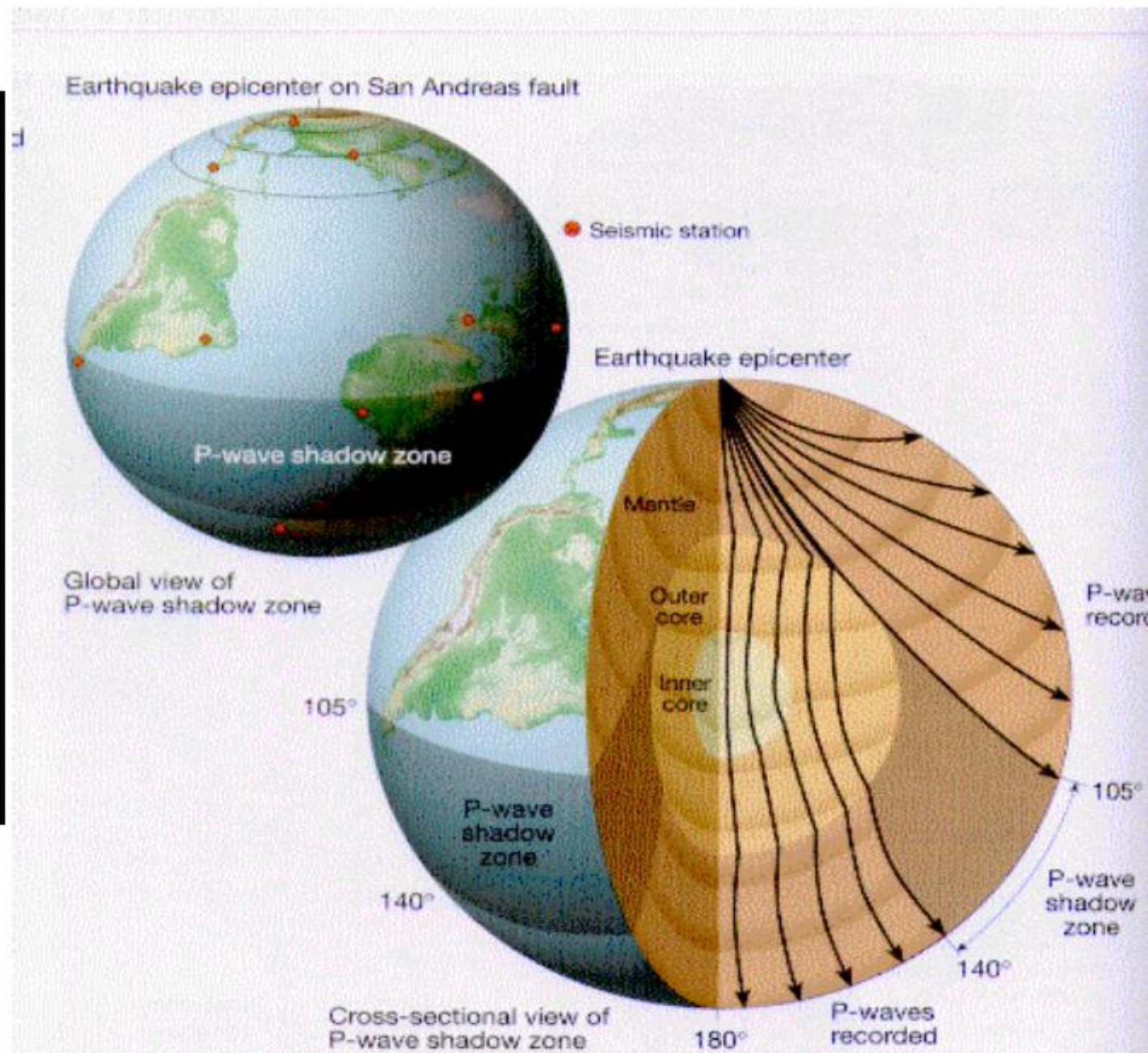
Classificação da Geofísica Aplicada com relação às áreas de conhecimento (*FAPESP*)



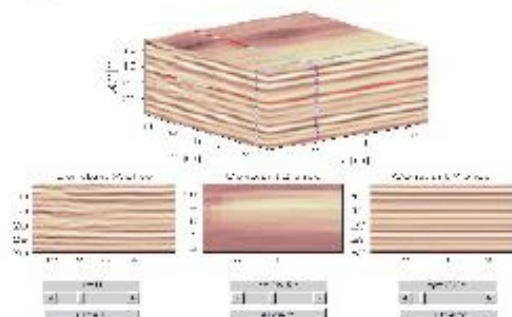
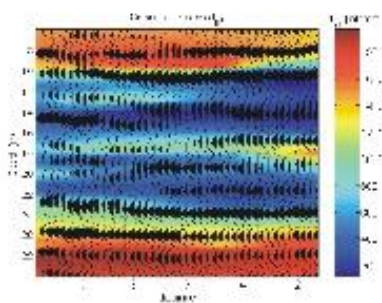
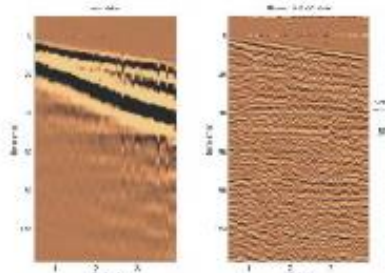
A geofísica é um ramo da geociências que estuda determinadas propriedades físicas das rochas e minerais, bem como fenômenos associados à estas propriedades, com o objetivo de determinar a distribuição espacial dos materiais e estruturas que compõem o planeta Terra



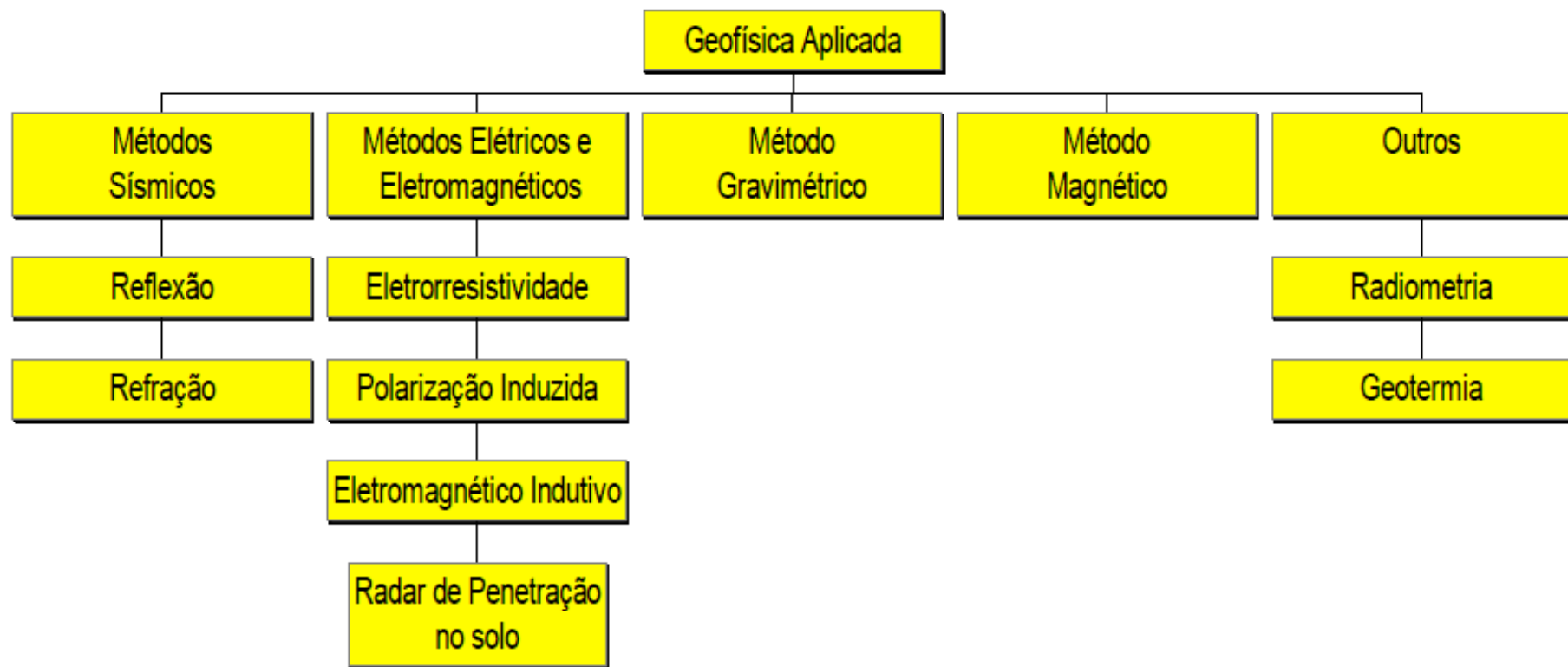
Geofísica Pura
(ou Básica): Tem
como campo de o
estudo grandes
estruturas, ou a
Terra como um
todo e as suas
pesquisas são
direcionais para
objetivos
científicos e/ou
sociais.



Geofísica Aplicada : Tem como campo de estudo a parte mais externa da litosfera (antroposfera); os levantamentos são voltados para atividades econômicas e/ou sociais.



Os principais Métodos Geofísicos



Principais Áreas de Aplicações

As principais áreas de aplicações dos métodos de prospecção geofísicos são:

- Prospecção de petróleo
- Hidrogeologia
- Estudos Ambientais
- Geologia de Engenharia e Engenharia Civil
- Mineração
- Arqueologia
- Geofísica Forense (ou Geofísica Legal)

Geofísica Aplicada à Prospeção Petrolífera

Os principais usos da geofísica aplicada na prospecção petrolífera são:

- Fornecer dados para os estudos geológicos regionais, para a delimitação das áreas favoráveis à ocorrência do petróleo. Principais métodos geofísicos utilizados: gravimetria, aeromagnetometria, sondagens elétricas verticais, etc...
- Encontrar e delimitar estruturas favoráveis ao armazenamento de hidrocarbonetos (gás ou petróleo). Principais métodos geofísicos utilizados: sísmica de reflexão, gravimetria, magnetometria.

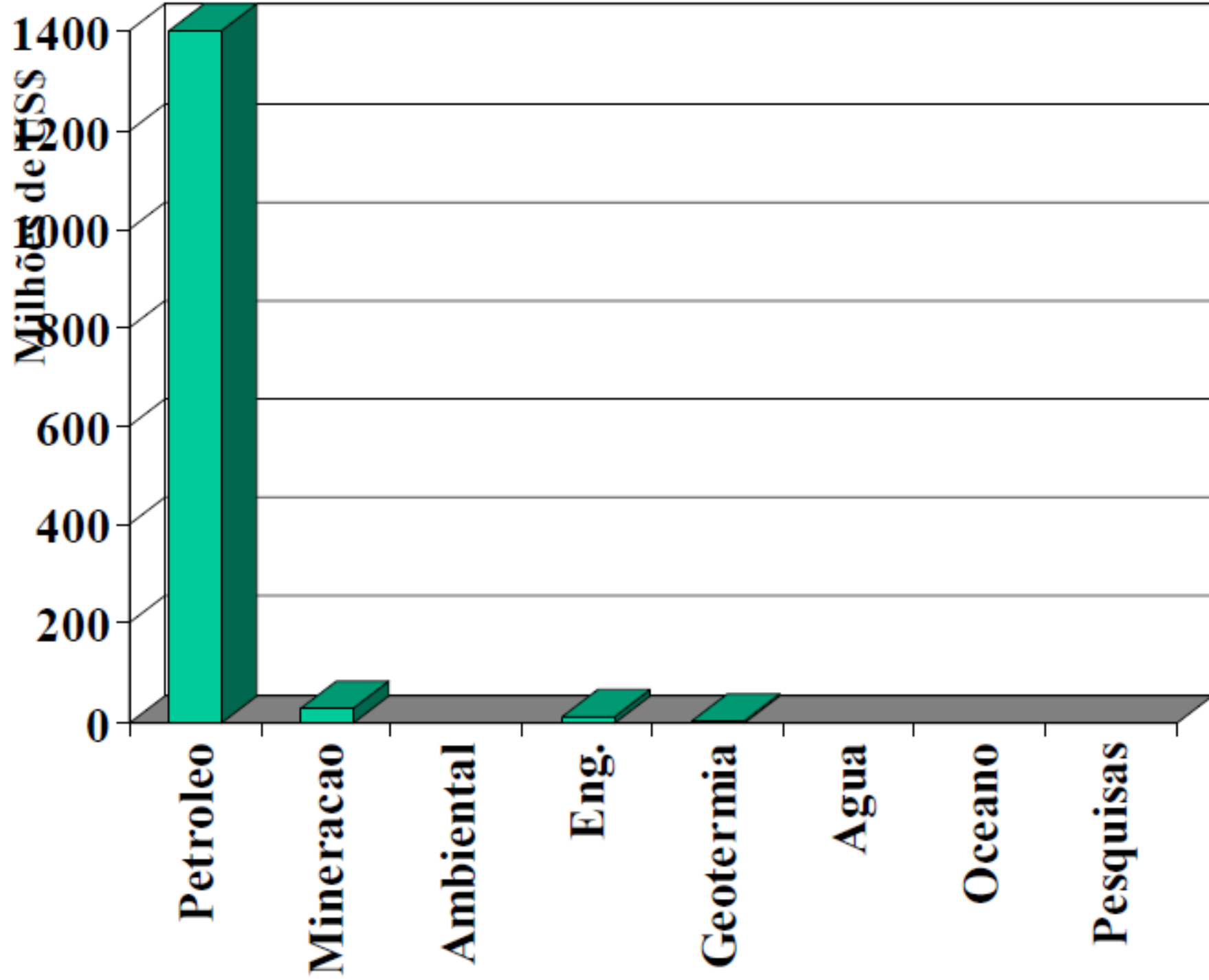


Table 2. Total worldwide expenditures in US\$ (thousands) by area and survey objective.

Area	Petroleum ¹		Minerals	Environmental	Engineering	Geothermal	Groundwater	Oceanography	Research	Total
	Exploration	Development								
International	17,010							708	1,929	19,647
U.S.A.	426,824	26,786	2,658	578	3,339	175	464	1,050	2,560	464,434
Canada	145,800		9,717	22	53				1,033	156,626
Mexico	18,138		5							18,143
South America	148,718		107		6	67			1,046	149,943
Europe	198,032	701	6,314		5,393		307		738	211,486
Africa	110,550	904	4,367		1,086		742		186	117,834
Middle East	118,778				100		76			118,954
Far East	120,769		1,388		932	833	49		1,041	125,013
Australia/ New Zealand	70,828	1,778	2,345	26	5	50	150		1,859	77,040
Total	1,375,447	30,169	26,901	626	10,914	1,125	1,788	1,758	10,393	1,459,120

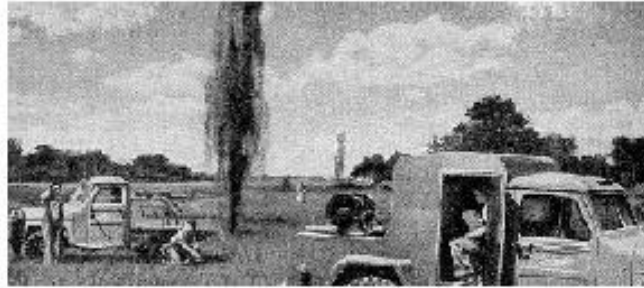
¹Includes processing and interpretation costs. See text for details.

96%

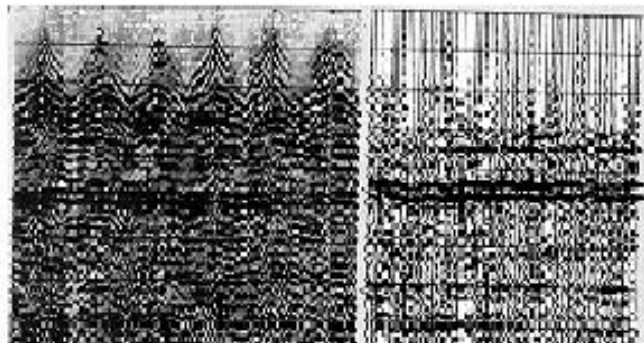
Senti, R.J. (1988) - Special Report: Geophysical Activity in 1987. Geophysics: The Leading Edge of Exploation. Vol. 7, No 8

Devido à grande quantidade de levantamentos geofísicos (sísmicos) utilizados na prospecção petrolífera, estes levantamentos são geralmente divididos em três áreas:

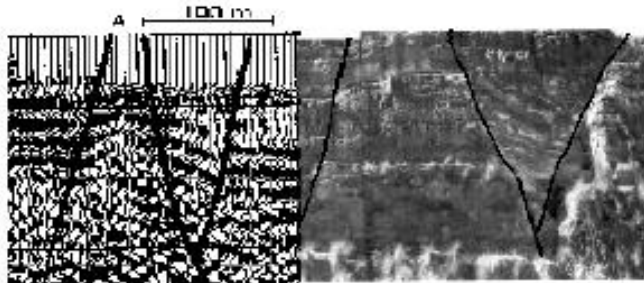
-aquisição de dados



-processamento



-interpretação



<https://youtu.be/FN8IAb0rG9A?t=1m2s>

Geofísica Aplicada à Hidrogeologia

As principais aplicações geofísica na Hidrogeologia tem os seguintes objetivos:

- Identificação e caracterização litológica das rochas armazenadoras do aquífero. (arenosas, argilosas, etc...)
- Determinação do topo rochoso (embasamento do aquífero)
- Determinação de falhas e fraturas, bem como a presença de diques e outros corpos intrusivos
- Determinação do nível d'água e a direção do fluxo.
- Determinação do contato água doce/água salgada em aquíferos costeiros
- Estimativa da porosidade, permeabilidade e transmissividade dos aquíferos

O principal método geofísico utilizado na prospecção hidrogeológica é o método elétrico, seguido pelos métodos potenciais e sísmicos.

Geofísica Aplicada à Geologia de Engenharia e Engenharia Civil

As principais aplicações da Geofísica Aplicada na Geologia de Engenharia tem os seguintes objetivos:

- Determinação do topo rochoso para fundações
- Determinação dos parâmetros elásticos dinâmicos de solos e rochas
- Determinação do nível d'água
- Caracterização Litológica
- Estratigrafia Geológica Geotécnica
- Detecção de zonas de fraturamento no maciço rochoso
- Inspeção de estruturas

Os métodos geofísicos mais utilizados nesta área são os métodos sísmicos e elétricos

Geofísica Aplicada aos Estudos Ambientais

As principais aplicações da geofísica nos Estudos Ambientais tem os seguintes objetivos:

- Determinação da pluma contaminante no solo e no aquífero subterrâneo.
- Determinação de estruturas preferenciais em subsuperfície por onde a contaminação pode se propagar.
- Contribuição aos estudos de locais propícios para a construção de aterros sanitários.
- Localização de materiais enterrados.
- Localização de cavidades (naturais ou não)

Os métodos geofísicos mais utilizados são: elétricos, eletromagnéticos e sísmicos

Geofísica Aplicada à Mineração

Na prospecção mineral a geofísica pode participar com os seguintes objetivos:

- Estudos geológicos regionais, para a definição de províncias mineralizadas
- Determinar a geometria de depósitos minerais aluviais (ouro, diamante, cassiterita,etc..)
- Determinar a orientação de fraturas e veios mineralizados
- Detectar presença de minérios disseminados (sulfetos)
- Determinar a capa de material estéril

Os métodos mais utilizados são: elétrico, eletromagnético e potenciais

Geofísica Aplicada à Arqueologia e à Geofísica Legal

A geofísica aplicada pode auxiliar os estudos arqueológicos e a geofísica legal das seguintes formas:

- Detecção de fundações e construções subterrâneas
- Detecção de artefatos enterrados
- Detecção de cavernas e túneis
- Detecção de covas e ossadas.

Métodos mais utilizados: métodos eletromagnéticos e elétricos

Vantagens na utilização dos ensaios geofísicos

Rapidez

Ensaaios não destrutivos

Ensaaios *in situ*

Ensaaios não pontuais

Relação custo/benefício

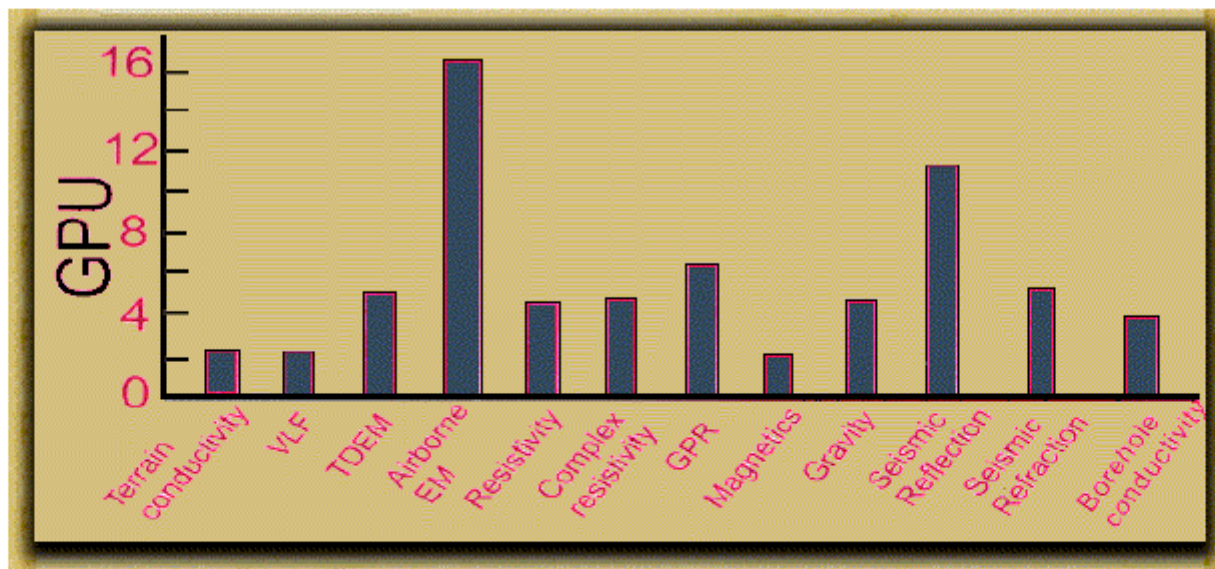
Limitações da Geofísica Aplicada

As principais limitações na utilização da geofísica aplicada são devidas à três fatores:

- Ruídos Ambientais e interferências de subsuperfície e superfície
- Resolução e profundidade
- Falta de contraste entre os materiais

Custos de ensaios geofísicos

O custo dos ensaios geofísicos possui muitas variáveis em sua composição, tais como: preço do equipamento, dos softwares, do material de consumo, deslocamento, etc... Portanto é muito difícil estabelecer uma tabela. O gráfico apresentado a seguir é uma proposta feita por professores canadenses, como uma forma de relacionar o o preço dos ensaios geofísicos com o preço de sondagens rotativas. No caso a GPU (geophysical price unit) é igual a 10 metros lineares de sondagens rotativas, estimado em US\$ 300,00 em 1995 e se relaciona com um dia de levantamentos geofísicos, já incluídos as despesas de equipamentos e logística da equipe.



Fonte: Greenhouse, J., Gudjurgis, P. and Slaine, D. Applications of surface geophysics to environmental investigations. Short Course em CR-ROM - 1995

As duas tabelas apresentadas a seguir, servem como um guia para uma primeira estimativa para o cálculo de preços de ensaios geofísicos.

Table 4.1. Estimated costs for one geophysical field day (1993)

Method	Cost per day (US\$)
Geomagnetics	500 to 700
Goelectric mapping	530 to 1000
Goelectric sounding (according to spread)	560 to 1100
Induced polarization	950 to 1300
Self-potential (> 200 electrodes → 1000 \$)	350 to 1400
Electromagnetic mapping + VLF, TDEM	510 to 850
Georadar	900 to 1500
Seismic refraction	1000 to 2200
Seismic reflection	2000 to 10000

Table 4.2. Estimated costs of line meter and station (US\$)

Method	Cost/m	Cost/station
Geomagnetic	1.50	1.50 – 3.50
Goelectric mapping	1.45	1.45 – 3.00
Goelectric sounding	1.65	42.00 – 120.00
Induced polarization	2.10	40.00 – 150.00
Self-potential	0.80	2.00 – 6.00
Electrom. mapping + VLF	1.45	1.45 – 3.00
Georadar	3.42	continuous
Seismic refraction	5.00	50.00 – 200.00
Seismic reflection	12.00	200.00 – 500.00

Fonte: Vogelsang, D. Environmental Geophysics. Springer-Verlag 1995

Valores comparativos para uma investigação ambiental considerando-se os levantamentos com e sem ensaios geofísicos.

Table 4.3. Comparison of environmental investigation costs without and with geophysics. (Buried hazardous waste deposit covering $\sim 30\,000\text{ m}^2$)







A) Investigation costs without geophysics

330 Percussion probes, depth 6 m, grid $6 \times 6\text{ m}^2$ cost per meter US \$ 20.00	US \$ 39 600.00
18 cored boreholes, depth 25 m, grid $25 \times 25\text{ m}^2$ cost per meter US \$ 150.00	US \$ 67 500.00
Total expenditure:	US \$ 107 100.00

B) Investigation costs with geophysics

Magnetics, 1200 points $5 \times 5\text{ m}^2$ grid, cost per point US \$ 3.00	US \$ 3 600.00
Geoelectric mapping, 300 points, $10 \times 10\text{ m}^2$ grid, cost per point US \$ 3.00	US \$ 900.00
Geoelectric sounding, 48 stations, $L = 100\text{ m}$, cost per sounding US \$ 120.00	US \$ 5 760.00
Seismic refraction, 500 line meter, cost per meter US \$ 8.00	US \$ 4 000.00
30 Percussion probing, depth 6 m, cost per meter US \$ 20.00	US \$ 3 600.00
3 Boreholes, cored, depth 25 m, cost per meter US \$ 150.00	US \$ 11 250.00
Total expenditure:	US \$ 29 110.00

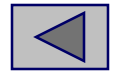
Projeto de um levantamento geofísico

- Identificação do alvo 
- Caracterização do alvo 
- Parametrização da amostragem 
- Estudo dos ruído 
- Escolha dos equipamentos 
- Análise dos dados 



Projeto de um levantamento geofísico


- Identificação do alvo




- Definição do problema proposto
- Entendimento do problema
- Uso das informações disponíveis

Geologia, geofísica, geoquímica,
sensoriamento remoto, entre outras

Projeto de um levantamento geofísico

- Caracterização do alvo 
 - Modelo geométrico
 - Propriedades físicas marcantes (contrastes)
 - Métodos de prospecção melhor indicados (seleção)
 - Modelo físico

Projeto de um levantamento geofísico

- Parametrização da amostragem 
 - Tipos de anomalias prováveis
 - Modelagem
 - Testes de simulação
 - Tipo do levantamento
 - Perfis (seções 2-D) ou
 - Mapas (isovalores, imagens)
 - Definição dos parâmetros da amostragem

Projeto de um levantamento geofísico

- Estudo dos ruídos



- Erros na amostragem (falseamento)
- Erros de posicionamento
- Erros instrumentais
- Ruído ambiental
- Impacto no levantamento

Projeto de um levantamento geofísico

- Escolha dos equipamentos



- Precisão
- Geofísicos
 - Aplicabilidade ao problema
- Posicionamento
- Registro

Projeto de um levantamento geofísico

- **Análise dos dados**
 - Atendimento aos objetivos
 - Interpretabilidade
 - Análise qualitativa
 - Análise quantitativa



Projeto de um levantamento geofísico

- Filosofia geral
- Estratégia
- Limitações

Projeto de um levantamento geofísico

- Filosofia geral
 - Tipo do levantamento
 - Comercial
 - Acadêmico
 - Balizamentos
 - Financeiro

Projeto de um levantamento geofísico

- **Estratégia**
 - Objetividade (evitar tentativa e erro)
 - Critério técnico-científico

Projeto de um levantamento geofísico

- Limitações

- Financeiras (custo final)
- Localização (acessibilidade)
- Logística
- Políticas
- Sociais
- Religiosas

Geofísica no Brasil

- IAG – USP
- CPGG – UFBA
- UFPA – Inst. de Geofísica
- UNB
- ON
- UFF
- Unicamp

Dificuldades/oportunidades para geólogos



Dificuldades

- ✗ Falta de conhecimento de matemática e física
- ✗ Problemas de comunicação com engenheiros
- ✗ Dificuldade em computação
- ✗ Dificuldade em saber o que é mais importante para a indústria



Oportunidades

- ✓ Conhecimento em geologia
- ✓ Facilidade em enunciar o problema
- ✓ Espírito holístico dos geólogos
- ✓ Aquecimento do mercado

Problema Direto (PD)
versus
Problema Inverso (PI)

Como os métodos geofísicos são
interpretados matematicamente

Definições

- Engl et al. (1996):

*“Resolver um problema inverso é determinar **causas** desconhecidas a partir de **efeitos** desejados ou observados”*

- Na prática, os efeitos observados são:
 - Imprecisos: dados + ruídos + erros experimentais
 - Incompletos: falta de cobertura, limite de equipamento e de verba

Definições

- **Causas** são as condições iniciais e de contorno, termo de fontes/sumidouro e propriedades do sistema (tamanho e composição material).
- **Efeitos** são as propriedades físicas calculadas a partir de um modelo direto, como o campo de temperatura, vibrações, campo eletromagnético, densidade de partículas, corrente elétrica, etc.

Condicionamento

Critério de Hadamard para problema (direto ou inverso) bem-posto

- Existe solução;
- A solução é única;
- A solução depende continuamente dos dados de entrada. Isto é: uma perturbação pequena nos dados de entrada causa uma perturbação pequena na solução



Um problema é *mal-posto* se alguma das condições acima não é satisfeita.

Problemas inversos são problemas ***mal-postos***.

Exercício

Determine se os problemas abaixo são bem postos, ou não:

1. Ache a solução de $2x - 3 = 0$
2. Dado que $x = 4$, ache a solução de $a + bx = 0$
3. Ache a solução de $ax^2 - 2x + 1 = 0$

Problema direto



Exemplos:

1. Se há um terremoto no oceano Pacífico, onde a onda Tsunami vai acontecer? Quando?
2. Qual é a transformada de Fourier de uma imagem?

PD – Matrizes

Exemplo: sistema linear (3 x 3)

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Conhecido *Dado* *Obtido*

$$A \, x = b$$

Problema inverso do tipo I



Desconhecido

Conhecido

Dado

Exemplos:

1. Em sismologia: onde é a fonte de um terremoto?
2. Perícia criminal: o submarino Krusk explodiu ou não?
Onde?

PI-I: Matrizes

Exemplo: sistema linear (3 x 3)

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ? \\ ? \\ ? \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Conhecido Desconhecido Dado

$$A x = b$$

Problema inverso do tipo II



Exemplos:

1. Em geofísica: dada a fonte e o registro, como é a Terra?
2. Tomografia: dada a fonte e o registro, como é o corpo?

PI-II: Matrizes

Exemplo: sistema linear (3 x 3)

$$\begin{pmatrix} ? & ? & ? \\ ? & ? & ? \\ ? & ? & ? \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 \\ 4 \\ 9 \end{pmatrix}$$

Desconhecido *Dado* *Obtido*

$$A x = b$$

Resumo

Problema direto

$$A x = b$$

Problema inverso I

$$A x = b$$

Problema inverso II

$$A x = b$$