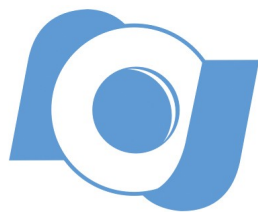


Métodos potenciais e suas aplicações

Vanderlei C. Oliveira Jr.

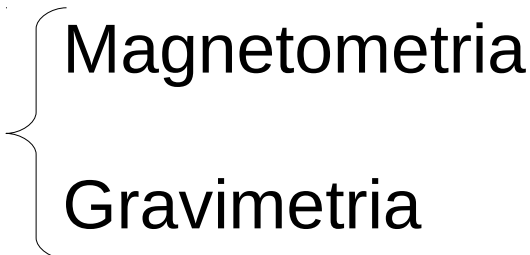


Observatório
Nacional


2017



Conteúdo

- Métodos potenciais 
 - Magnetometria
 - Gravimetria
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Conteúdo

- **Métodos potenciais** 
 - Magnetometria**
 - Gravimetria
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Magnetometria

- É um dos métodos geofísicos mais antigos
- Desenvolveu-se muito com o advento dos aerolevantamentos na 2ª guerra mundial
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na localização de falhas, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos

Magnetometria

- É um dos métodos geofísicos mais antigos
- Desenvolveu-se muito com o advento dos aerolevantamentos na 2ª guerra mundial
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na localização de falhas, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos

Magnetometria

- É um dos métodos geofísicos mais antigos
- Desenvolveu-se muito com o advento dos aerolevantamentos na 2ª guerra mundial
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na localização de falhas, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos

Magnetometria

- É um dos métodos geofísicos mais antigos
- Desenvolveu-se muito com o advento dos aerolevantamentos na 2ª guerra mundial
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na localização de falhas, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos

Magnetometria

- É um dos métodos geofísicos mais antigos
- Desenvolveu-se muito com o advento dos aerolevantamentos na 2ª guerra mundial
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na localização de falhas, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos

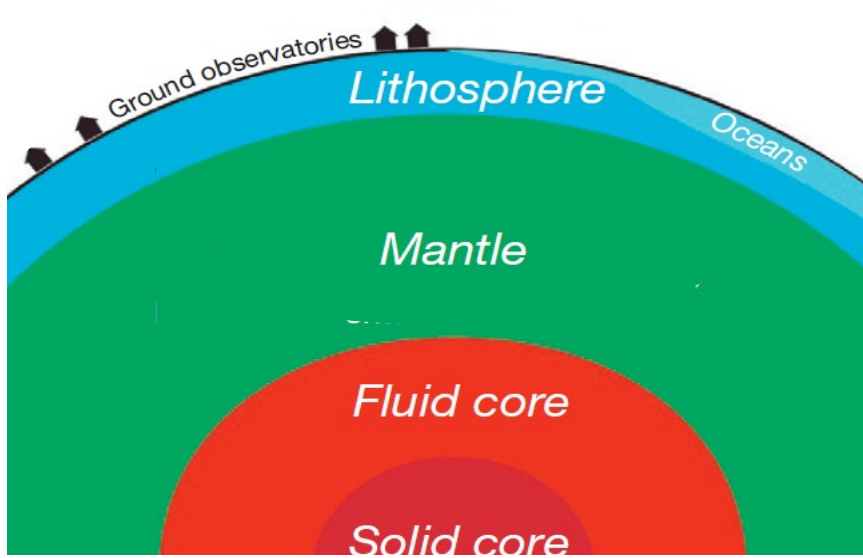
Magnetometria

- É um dos métodos geofísicos mais antigos
- Desenvolveu-se muito com o advento dos aerolevantamentos na 2ª guerra mundial
- O desenvolvimento da instrumentação e das plataformas de campo aumentou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na localização de falhas, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos

Qual é o dado?

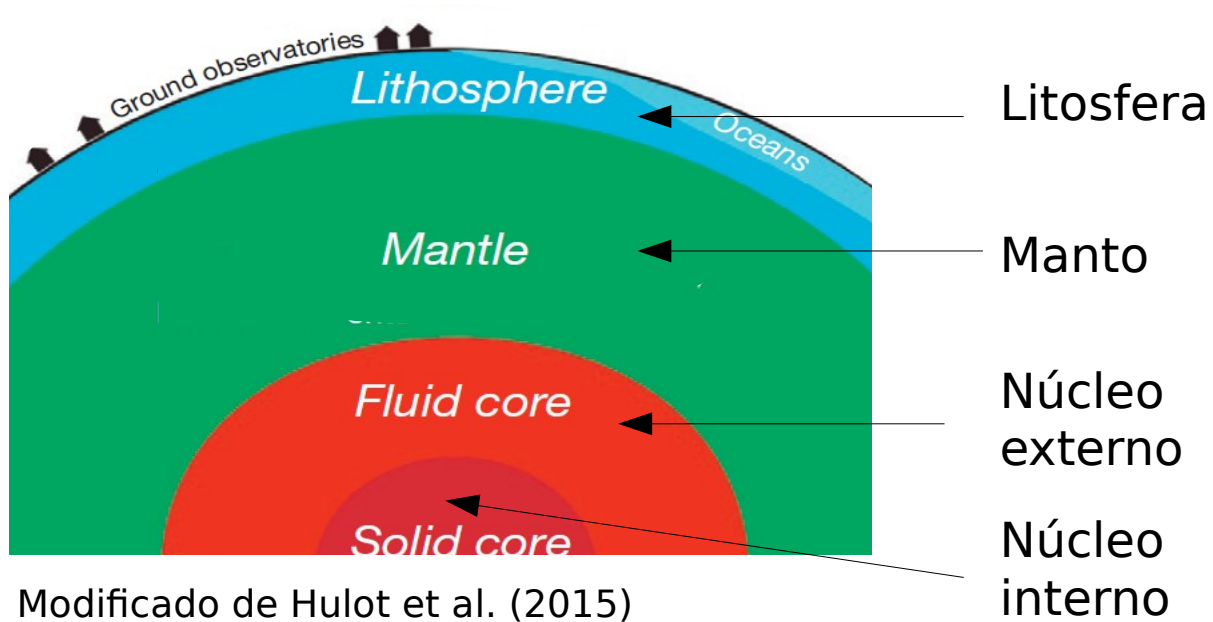
Para entendermos os dados, é importante definirmos alguns elementos da estrutura interna da Terra e também do campo magnético terrestre ou **campo geomagnético**

Representação simplificada da estrutura interna da Terra

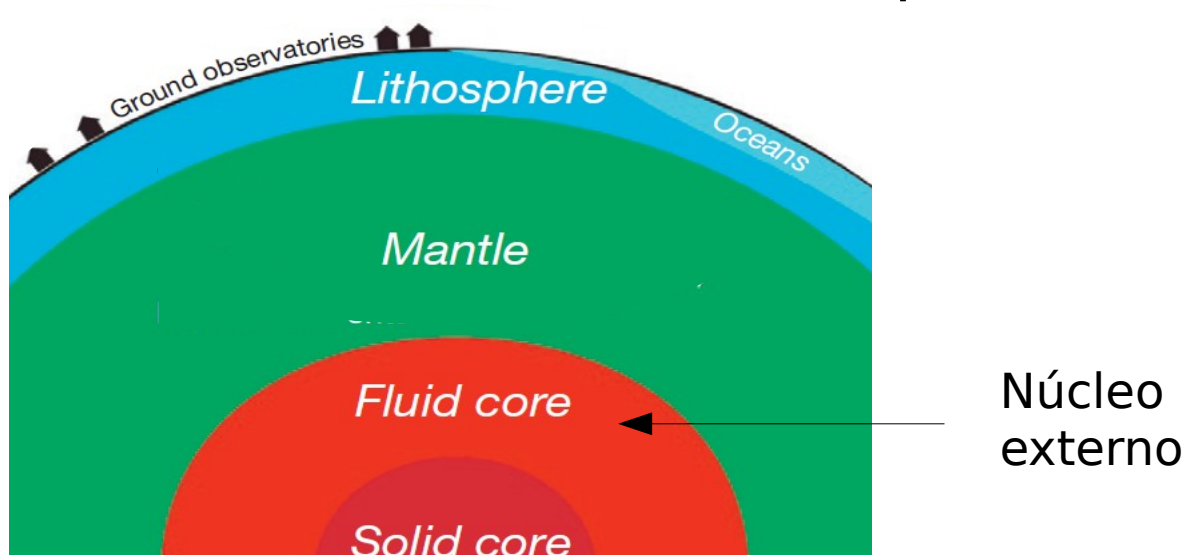


Modificado de Hulot et al. (2015)

Representação simplificada da estrutura interna da Terra

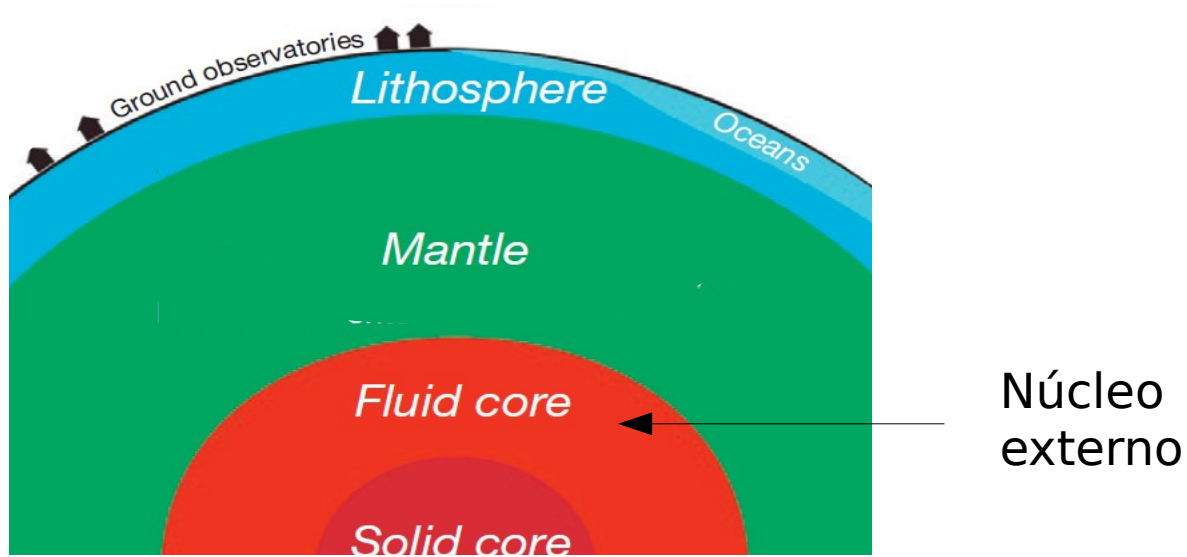


De acordo com a teoria mais aceita pela comunidade geofísica, a principal fonte do campo geomagnético (responsável por mais de 95% do campo) são as **correntes elétricas** provenientes do movimento do **núcleo externo**, que é líquido e contém ferro e níquel.



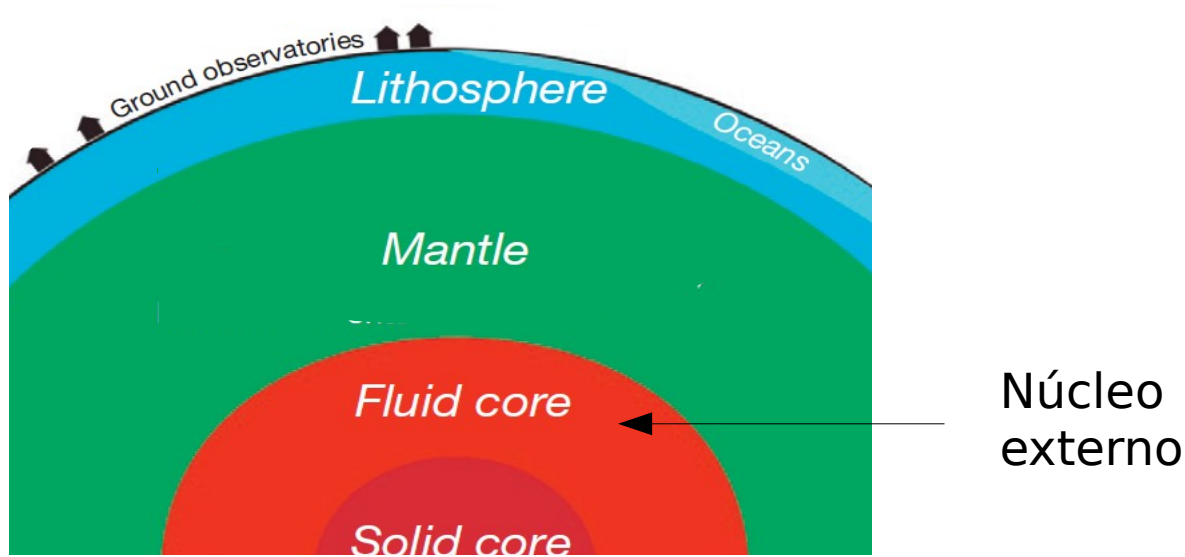
Modificado de Hulot et al. (2015)

O campo produzido pelo núcleo externo é denominado **campo principal** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015).



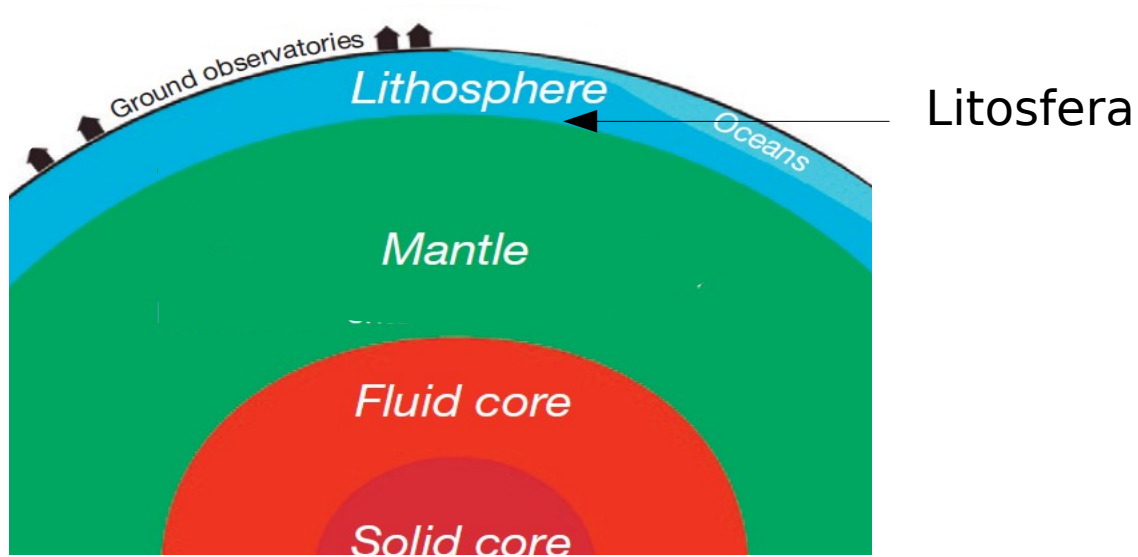
Modificado de Hulot et al. (2015)

Este campo é predominantemente **dipolar** (já já veremos o que isso quer dizer), suas variações temporais são da ordem de anos e sua amplitude varia de $\approx 22\ 600$ nT, sobre a anomalia magnética do Atlântico Sul, até $\approx 66\ 670$ nT, próximo ao pólo sul (Hulot et al., 2015).



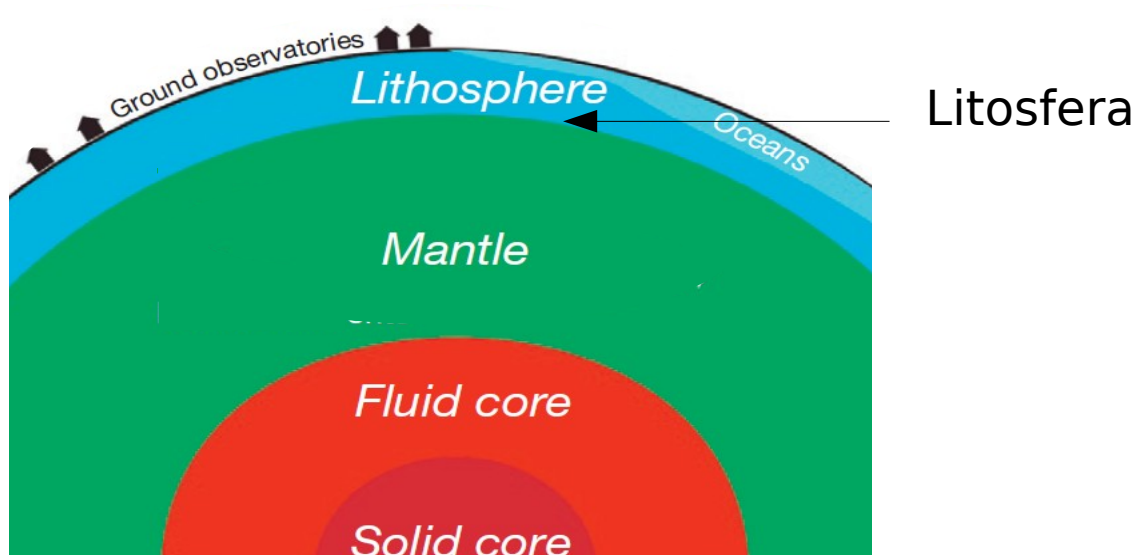
Modificado de Hulot et al. (2015)

As fontes presentes na **litosfera** são **rochas magnetizadas**. Estas rochas se mantêm magnetizadas porque estão abaixo de suas respectivas temperaturas de Curie.



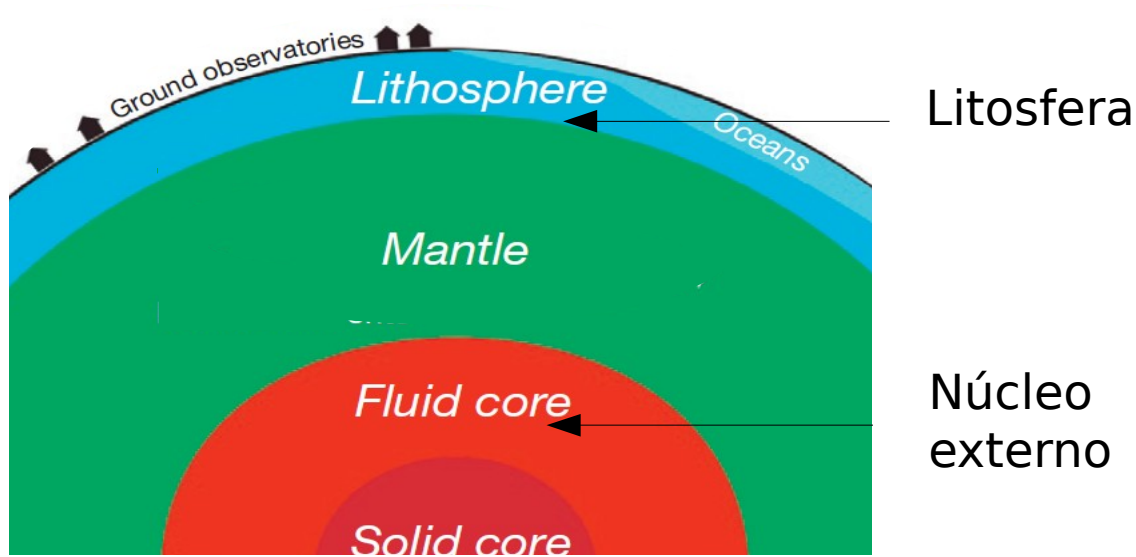
Modificado de Hulot et al. (2015)

O campo produzido por estas fontes é denominado **campo crustal** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015) e representa a principal componente do campo geomagnético para estudos de geofísica aplicada (Blakely, 1996; Nabighian et al., 2005).

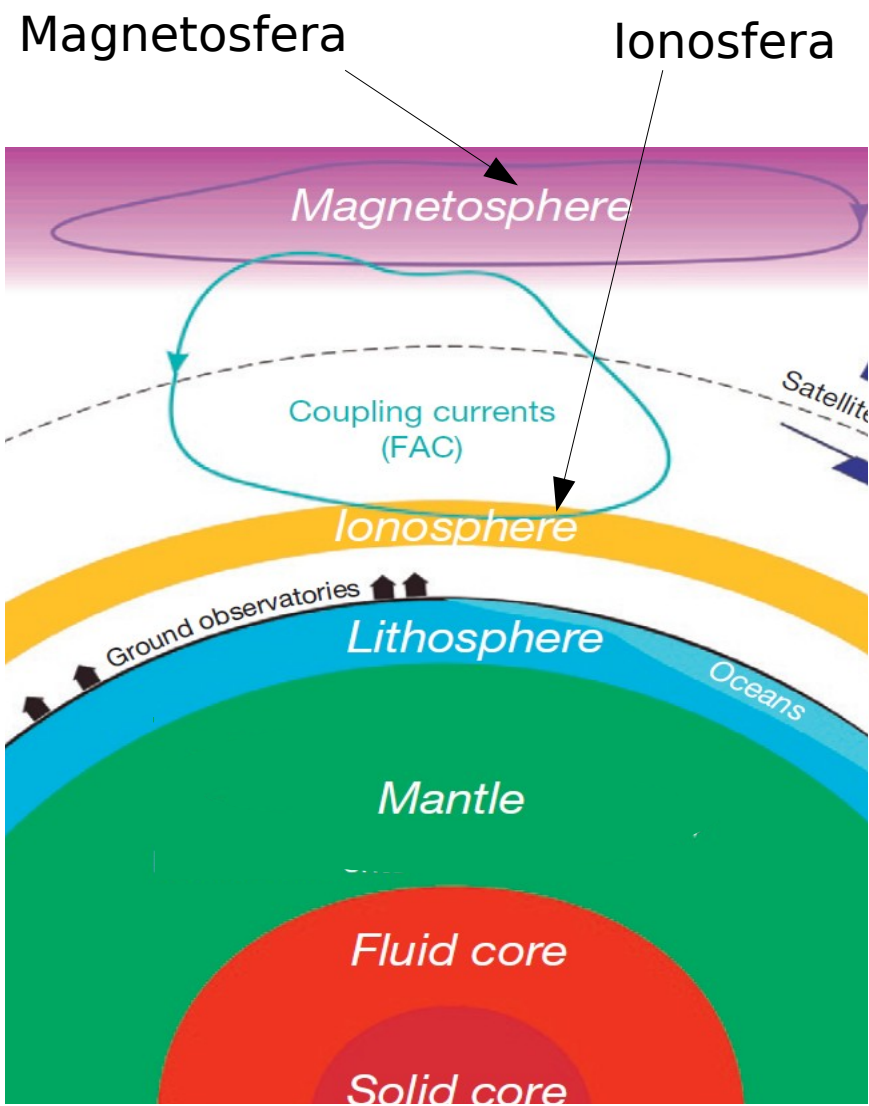


Modificado de Hulot et al. (2015)

Em geomagnetismo, a soma dos campos crustal e principal é denominada **campo interno** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015). Já em geofísica aplicada, é denominada **campo total** (Blakely, 1996; Nabighian et al., 2005).



Modificado de Hulot et al. (2015)

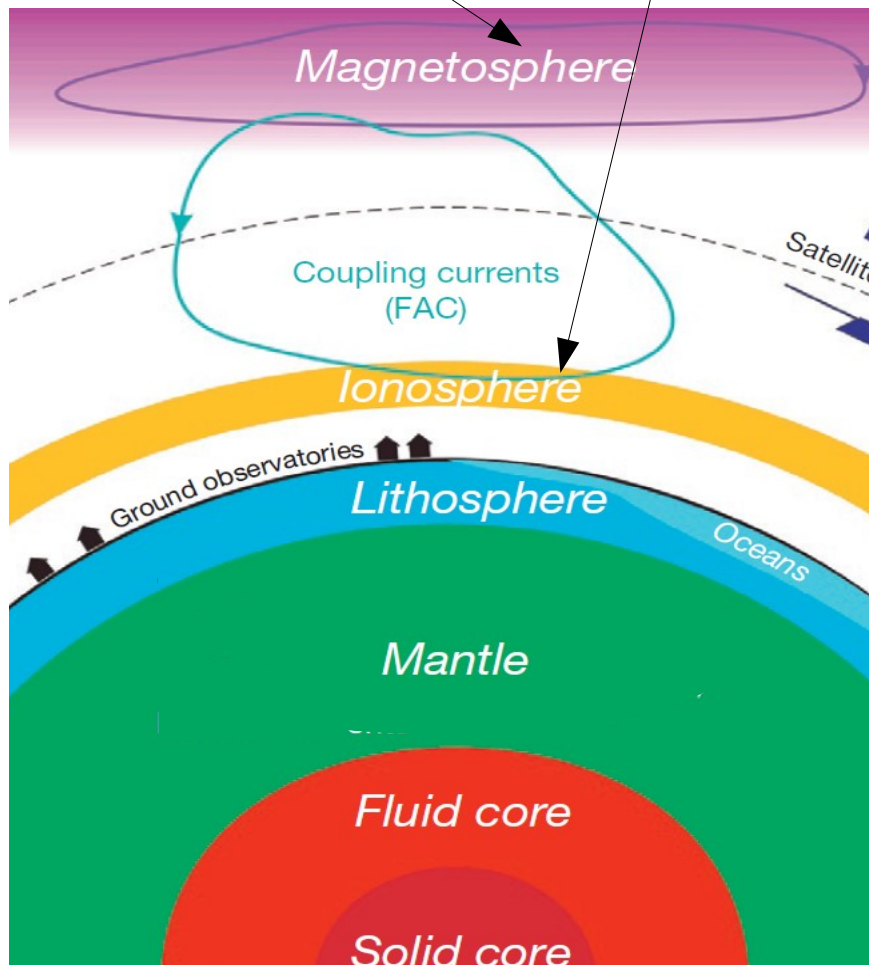


Modificado de Hulot et al. (2015)

Outras fontes do campo geomagnético são correntes elétricas provenientes do movimento de partículas carregadas na **magnetosfera** e **ionosfera**.

Magnetosfera

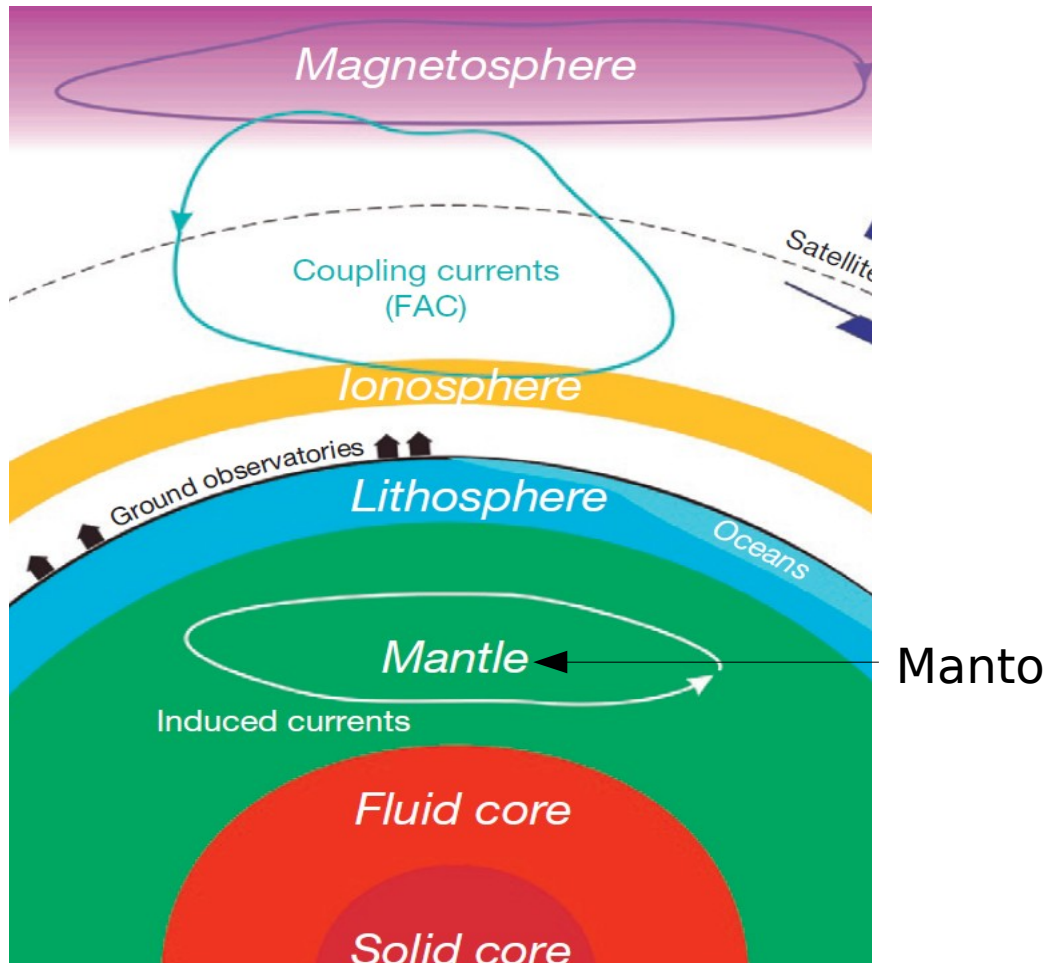
Ionosfera



O campo resultante produzido por estas fontes é denominado **campo externo** (Langel e Hinze, 1998; Hulot et al., 2015).

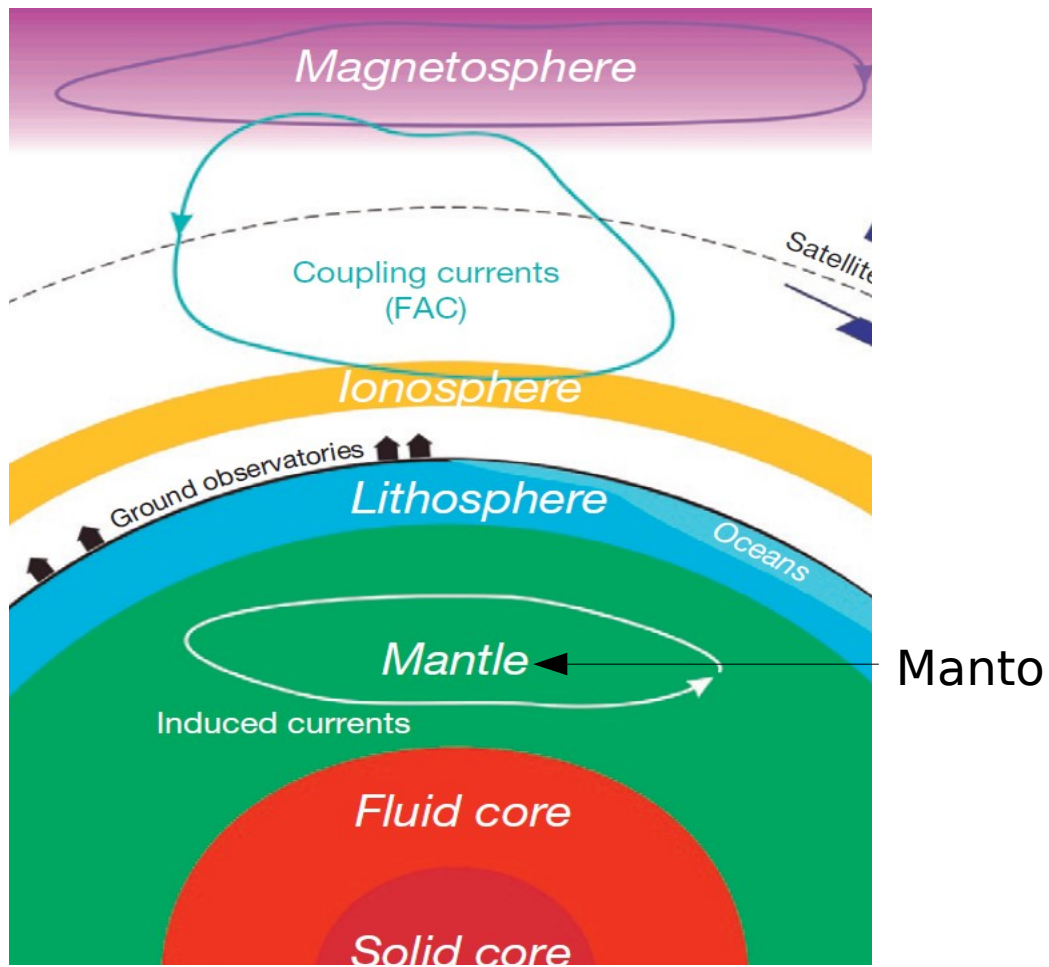
Modificado de Hulot et al. (2015)

Por fim, outras fontes do campo geomagnético são correntes elétricas induzidas na crosta, manto e oceanos. Estas correntes são produzidas por variações temporais do campo geomagnético.



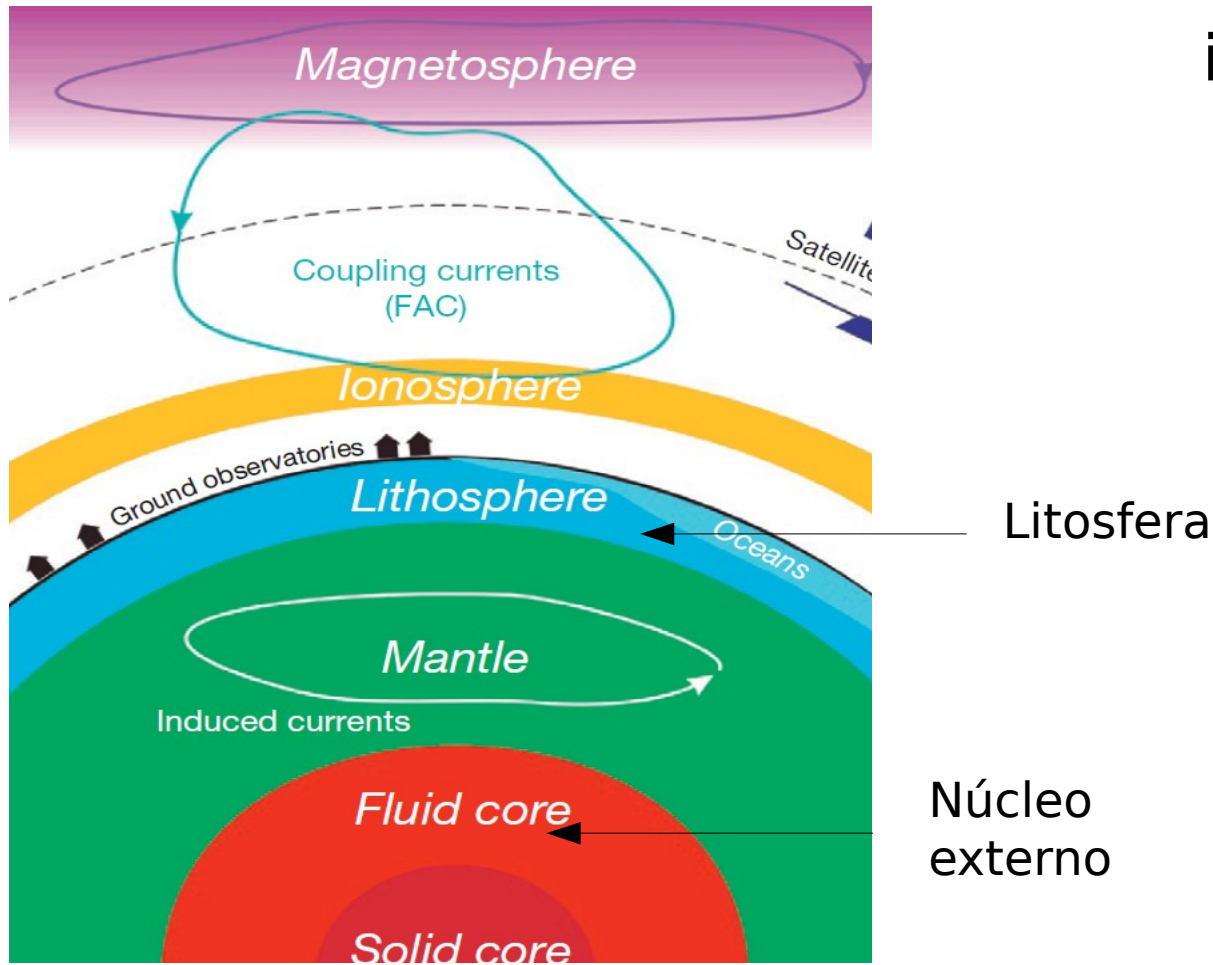
Modificado de Hulot et al. (2015)

Estas correntes dão origem aos **campos induzidos**.



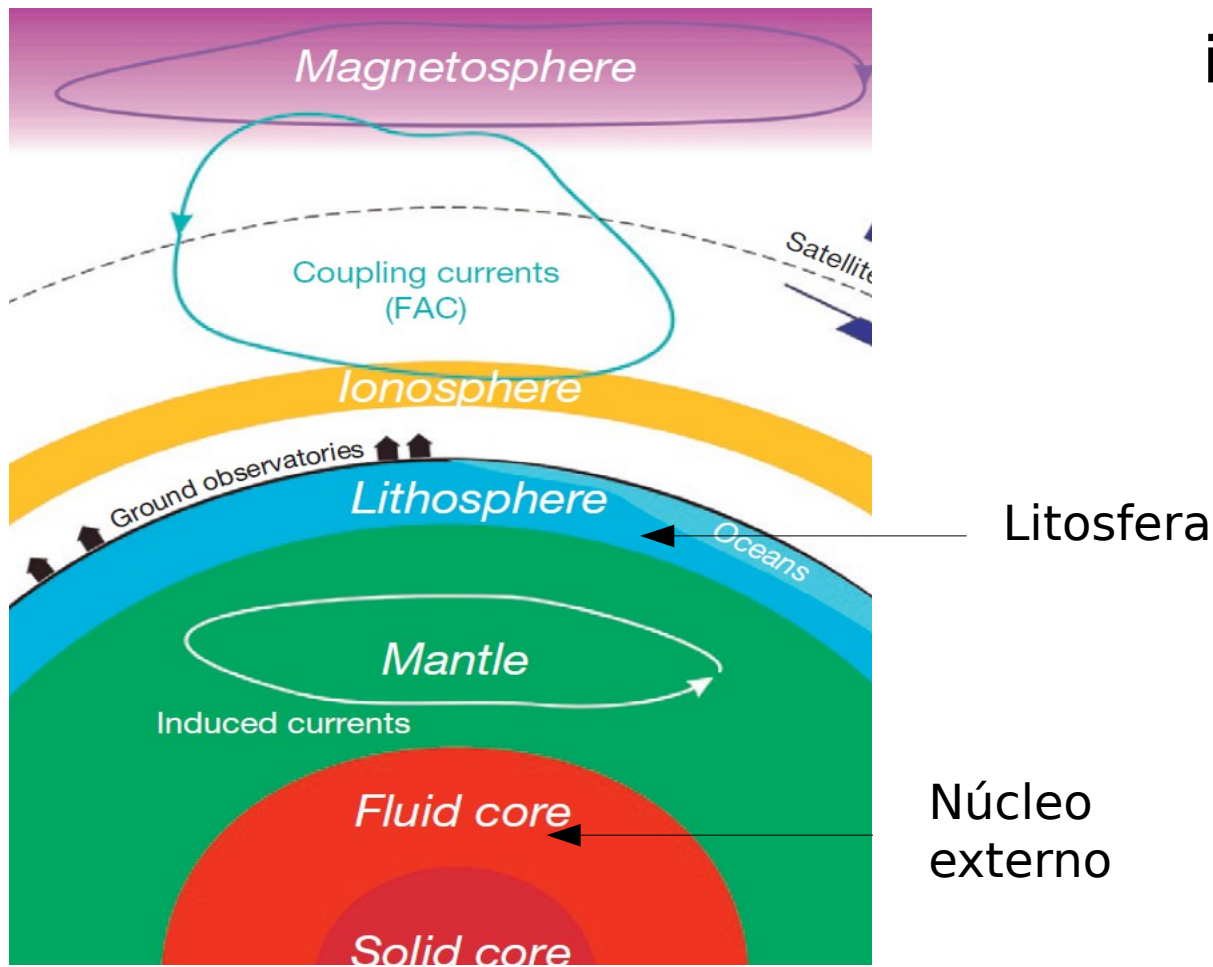
Modificado de Hulot et al. (2015)

Em geofísica aplicada,
em geral, estamos
interessados apenas no
campo total (ou
campo interno)



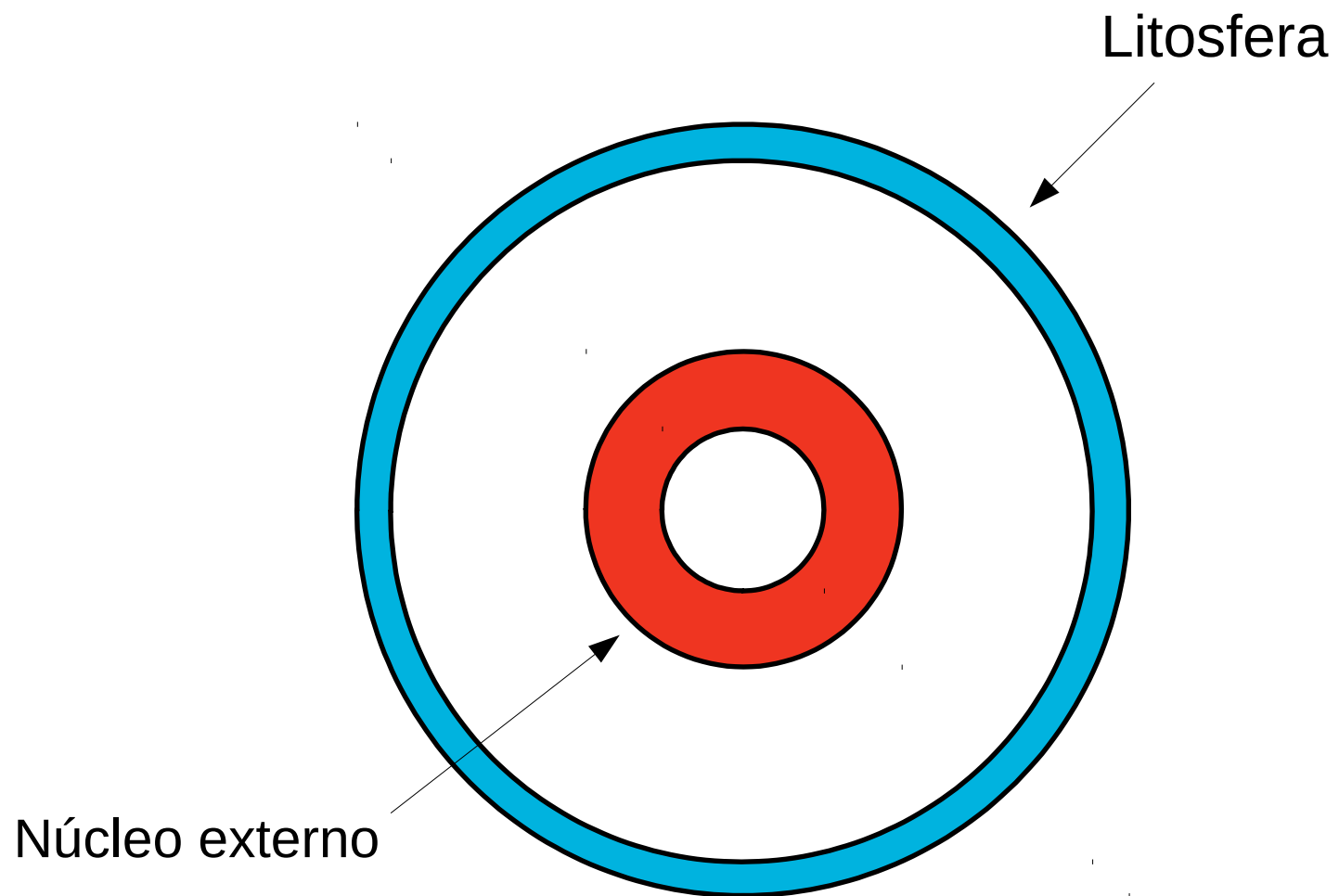
Modificado de Hulot et al. (2015)

Em geofísica aplicada,
em geral, estamos
interessados apenas no
campo total (ou
campo interno)

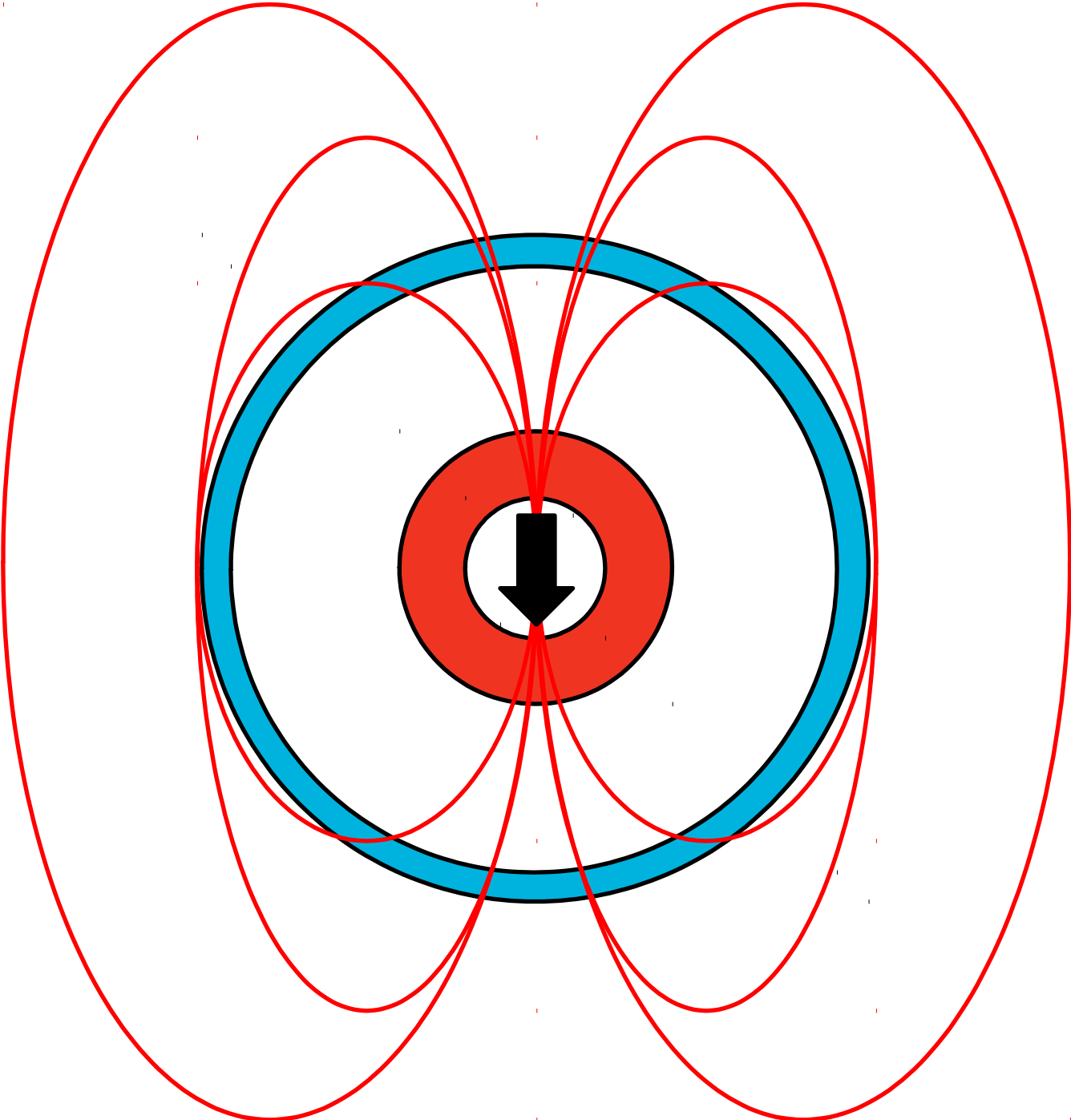


Modificado de Hulot et al. (2015)

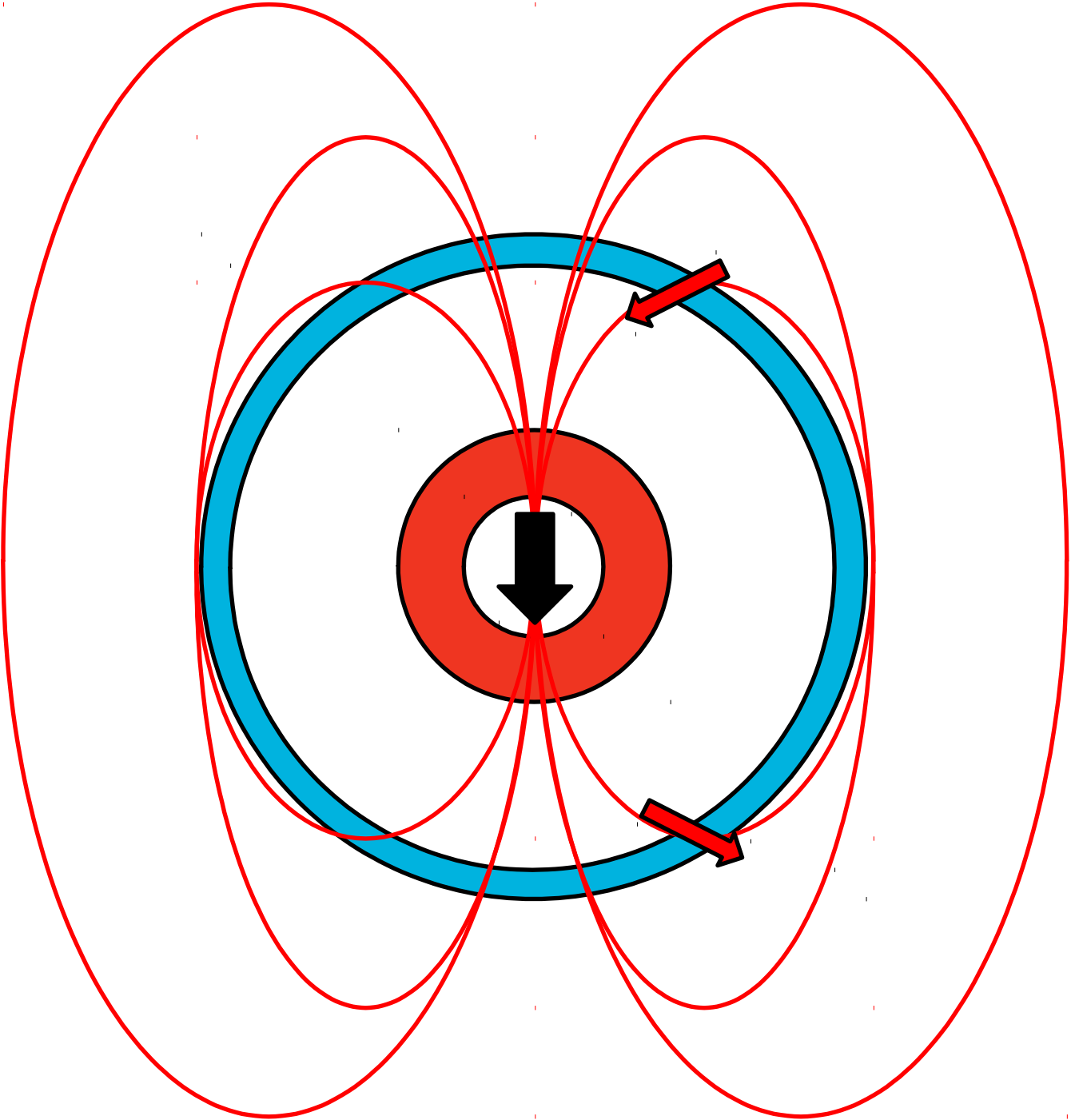
As outras componentes do
campo geomagnético são
removidas/atenuadas
durante o processamento



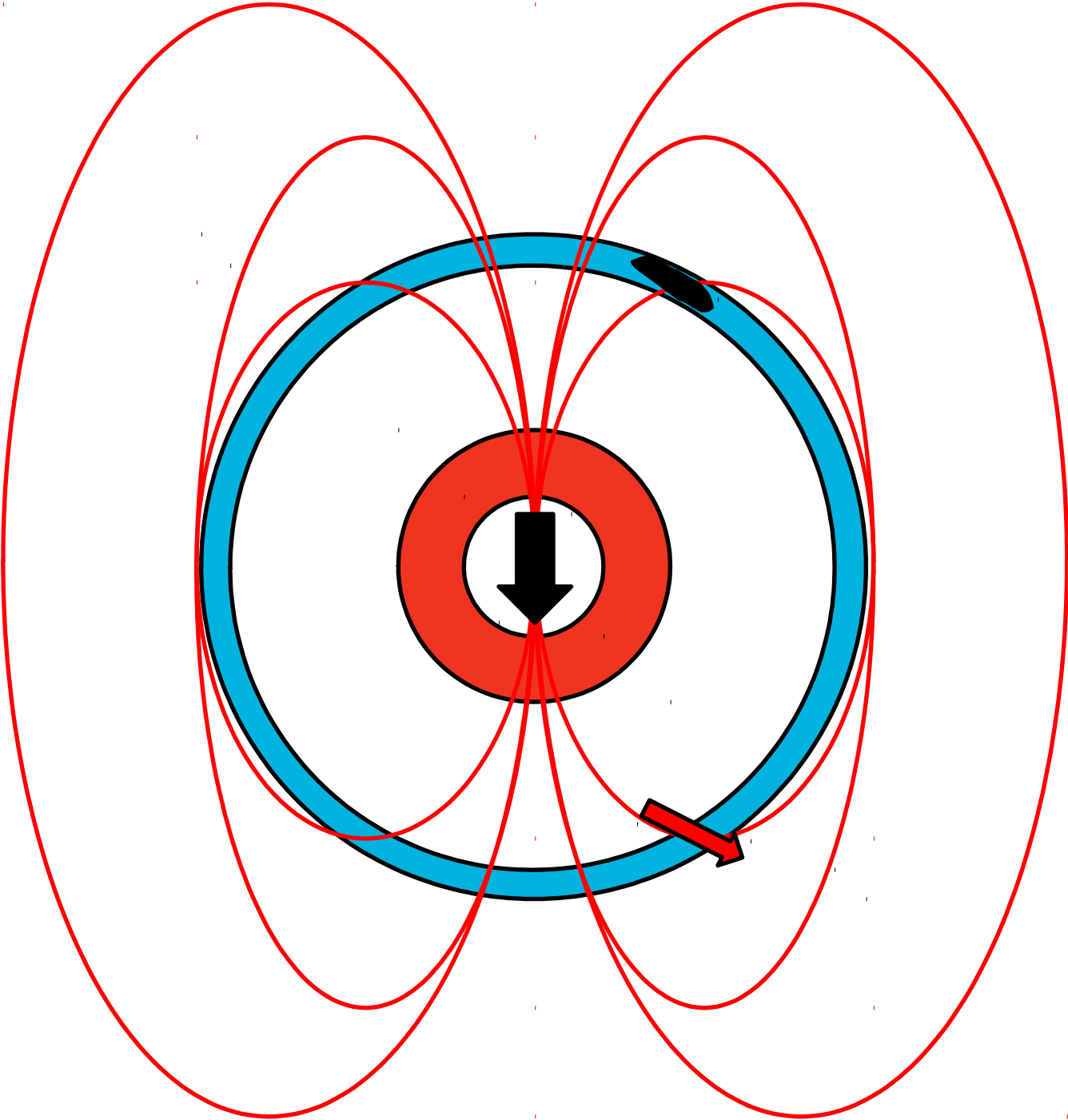
Campo principal
(IGRF, por exemplo)



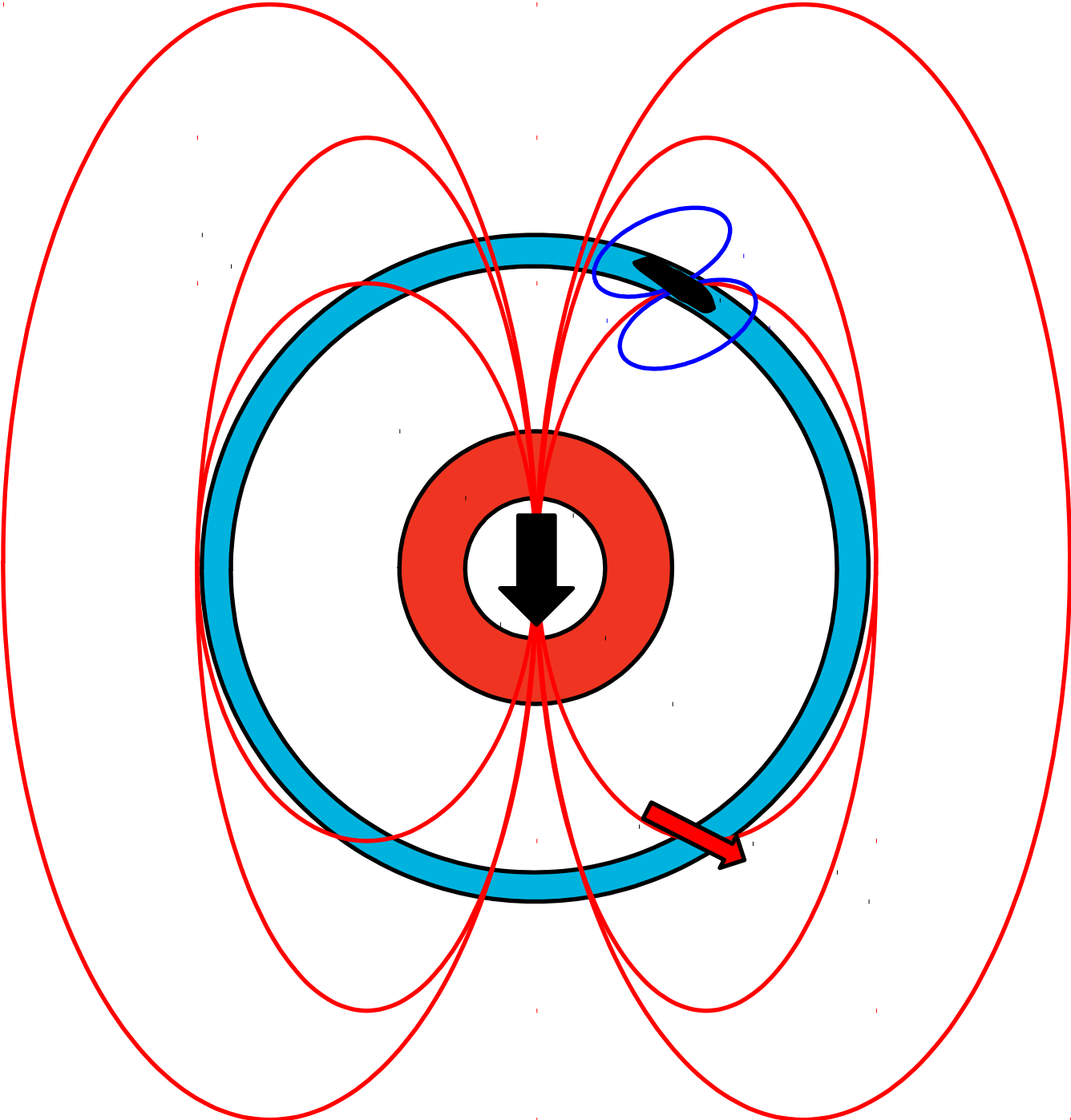
Campo principal
(IGRF, por exemplo)

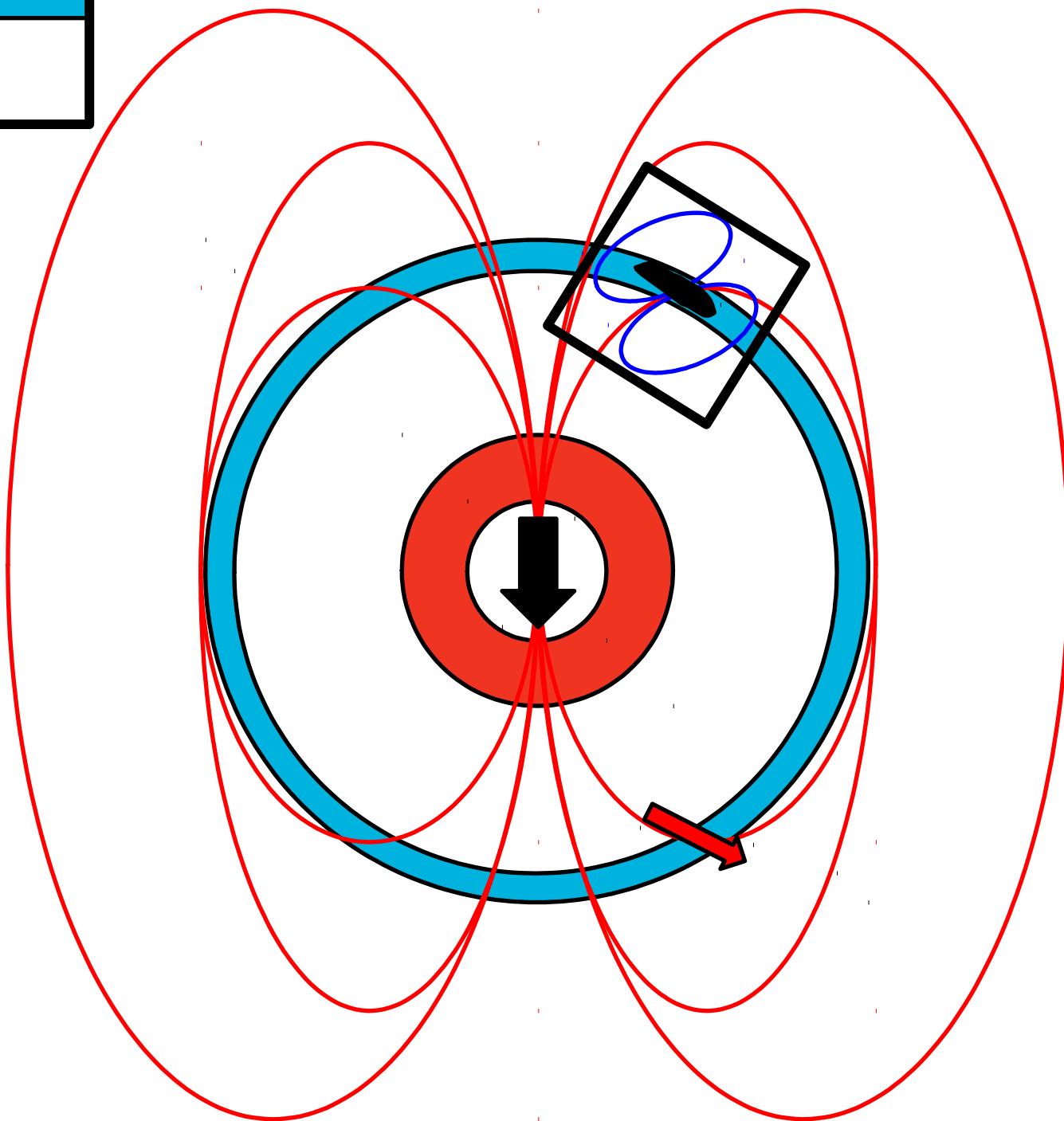
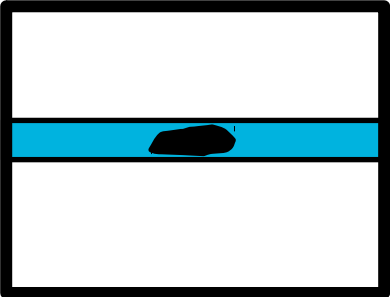


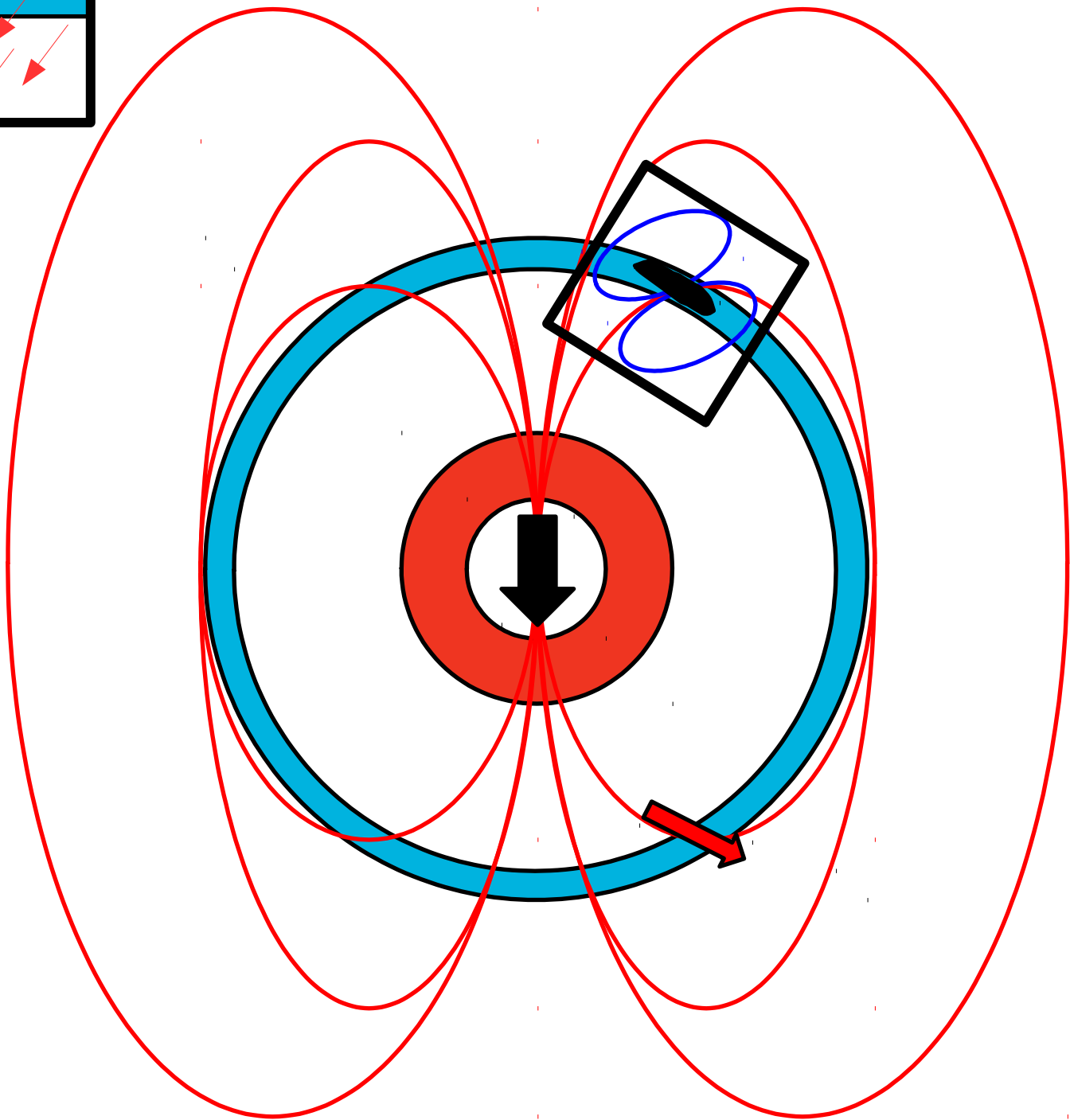
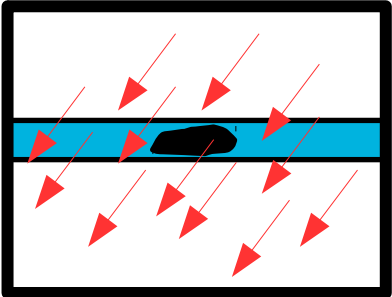
Campo principal
(IGRF, por exemplo)



Campo principal
(IGRF, por exemplo)







Campo
principal



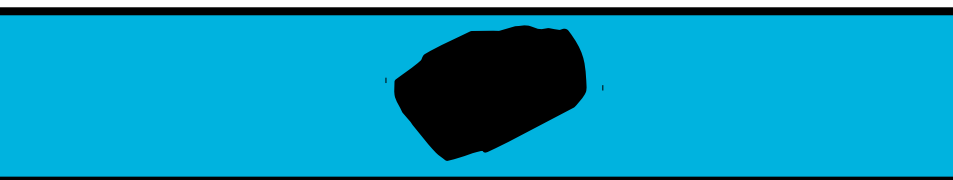
Norte



Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)

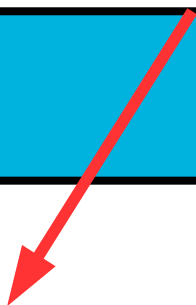
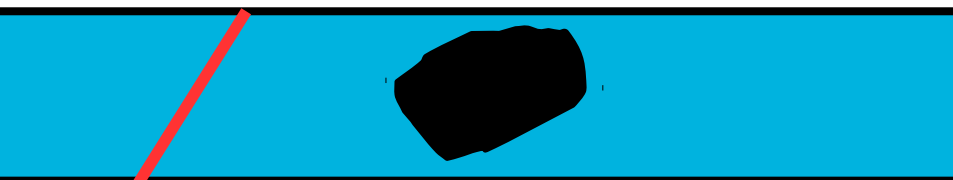


Posição (m)

Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)



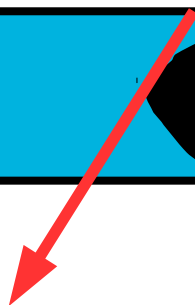
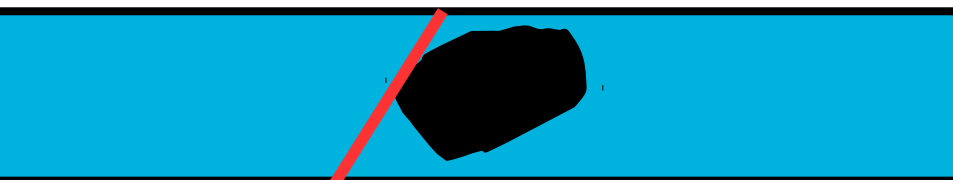
Posição (m)



Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)



Posição (m)



Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)



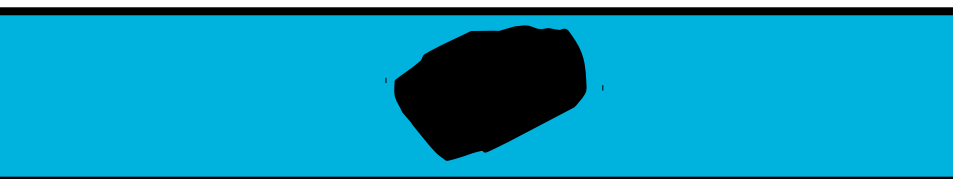
Posição (m)



Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)



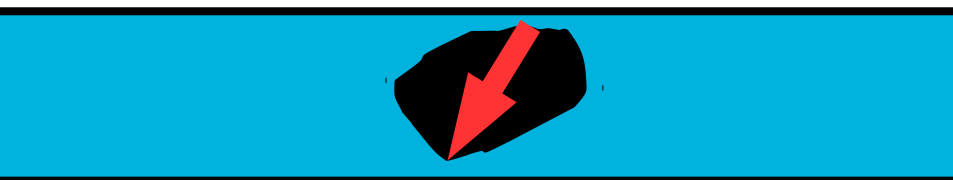
Posição (m)



Campo
principal



Norte



Magnetização induzida

Amplitude (nT)

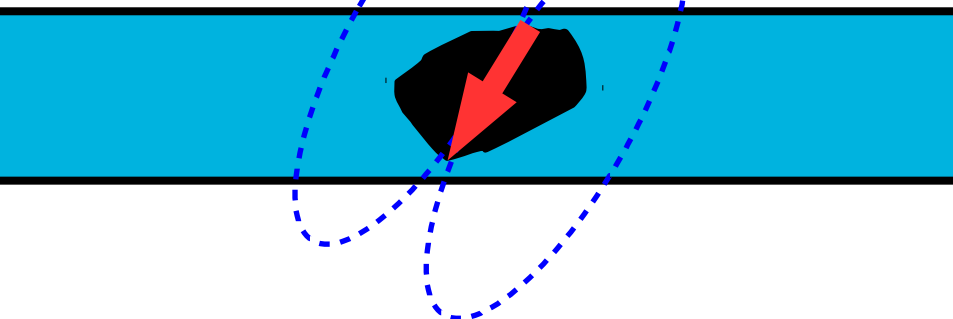


Posição (m)

Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)



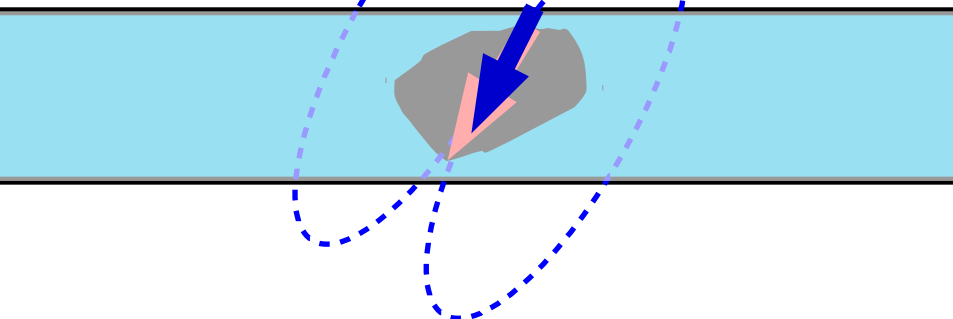
Posição (m)



Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)

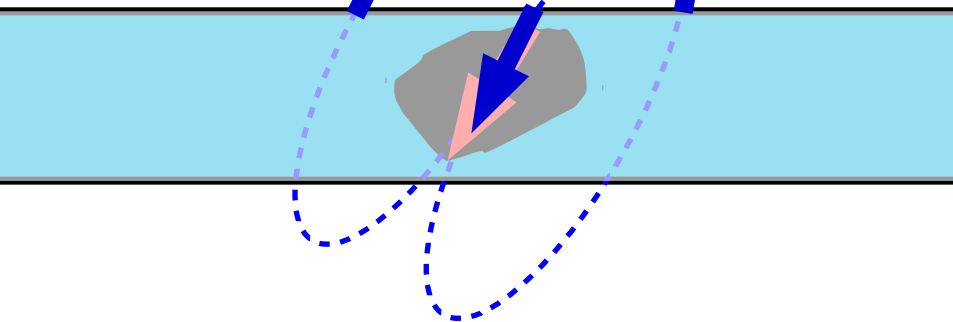


Posição (m)

Campo
principal



Norte



Amplitude (nT)

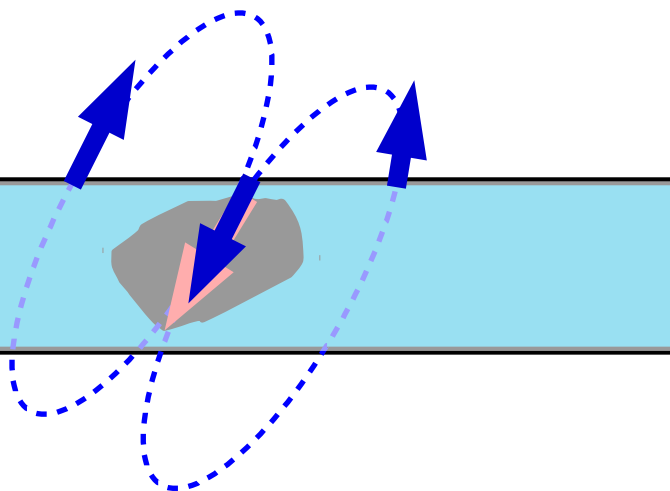


Posição (m)

Campo
principal



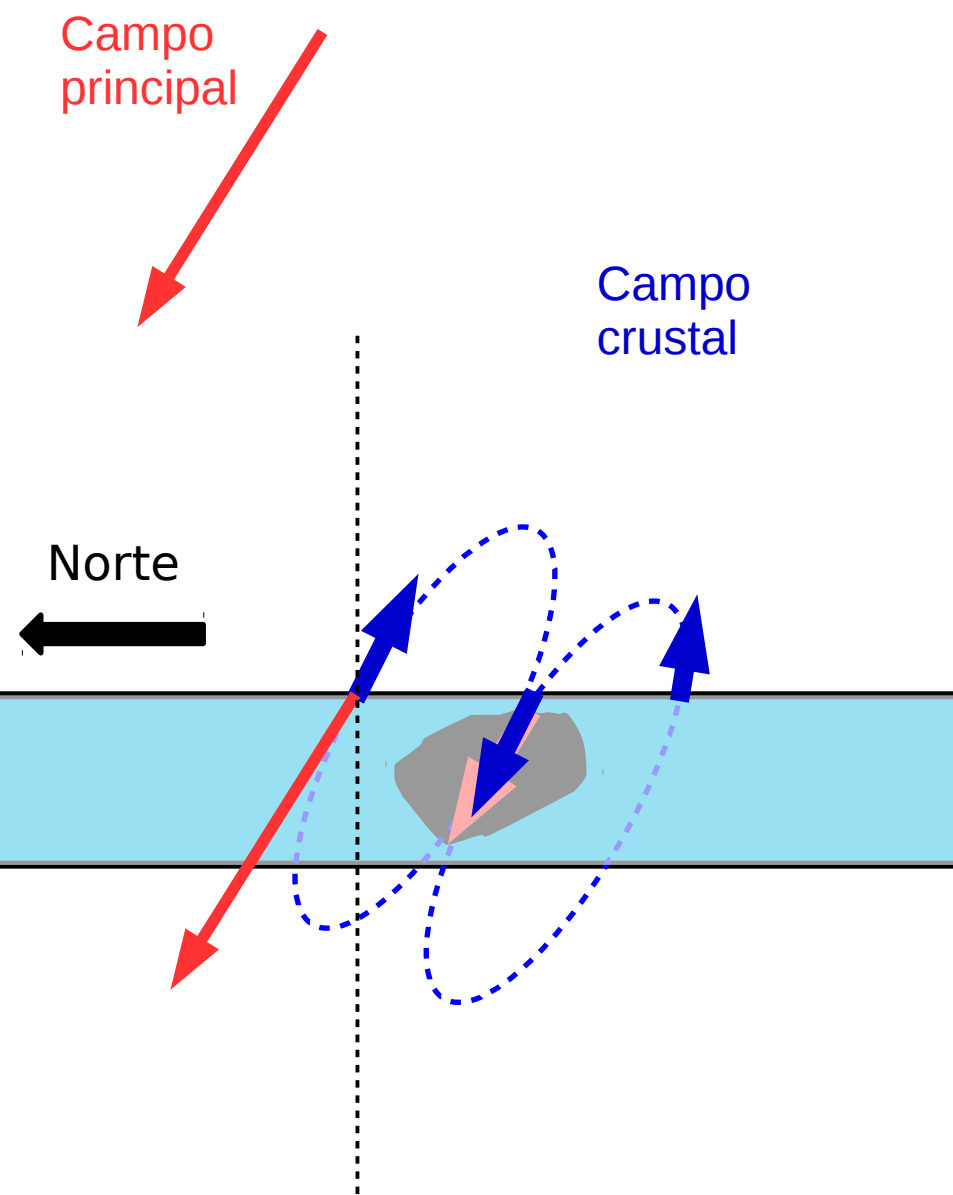
Campo
crustal



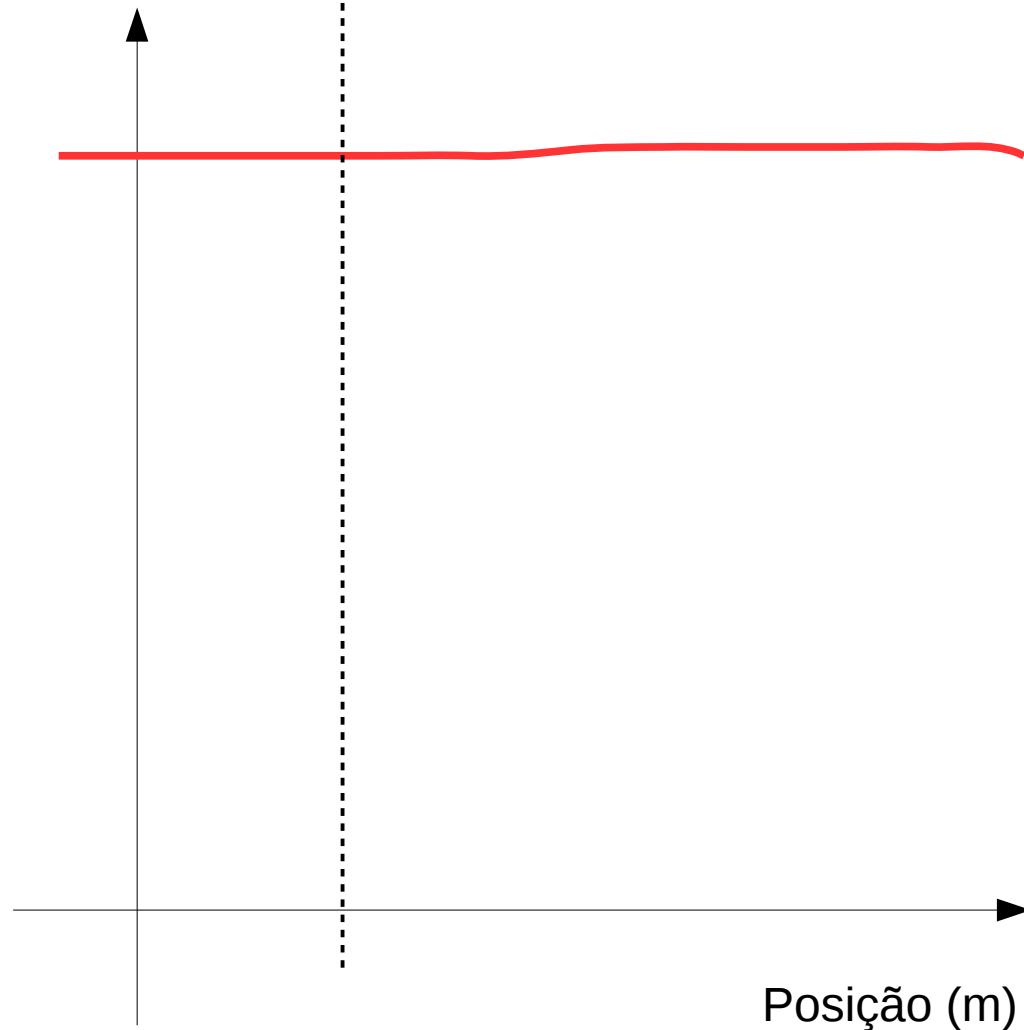
Amplitude (nT)

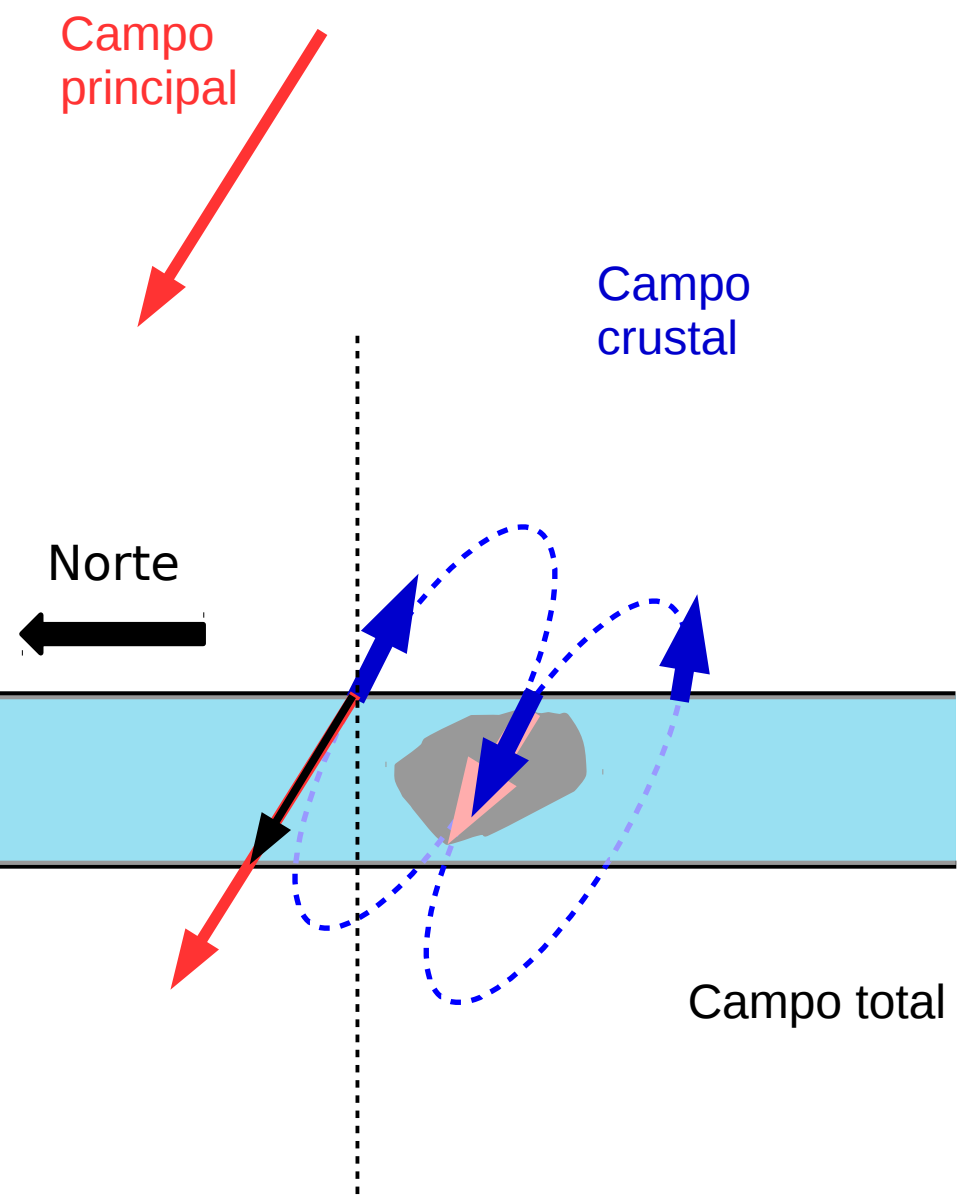


Posição (m)

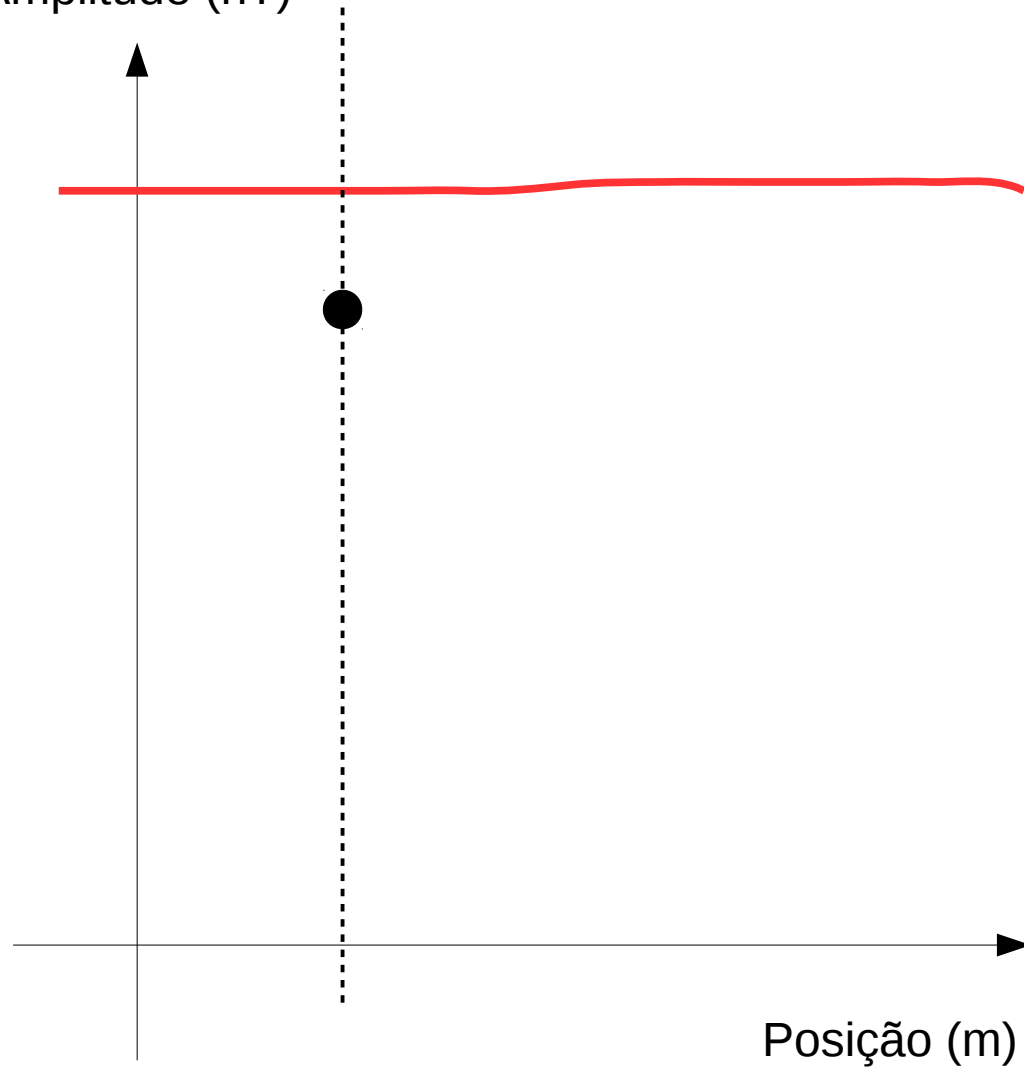


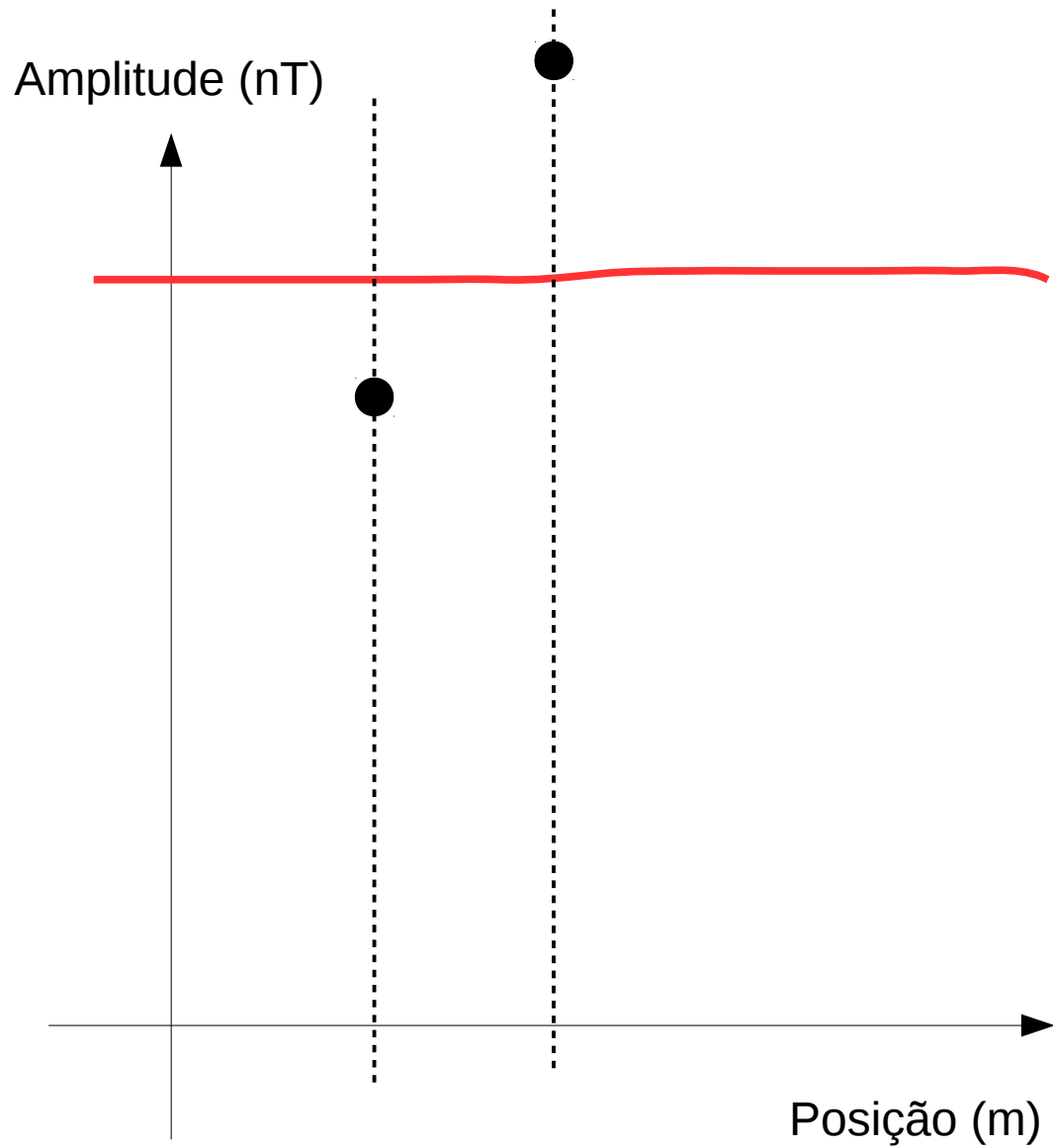
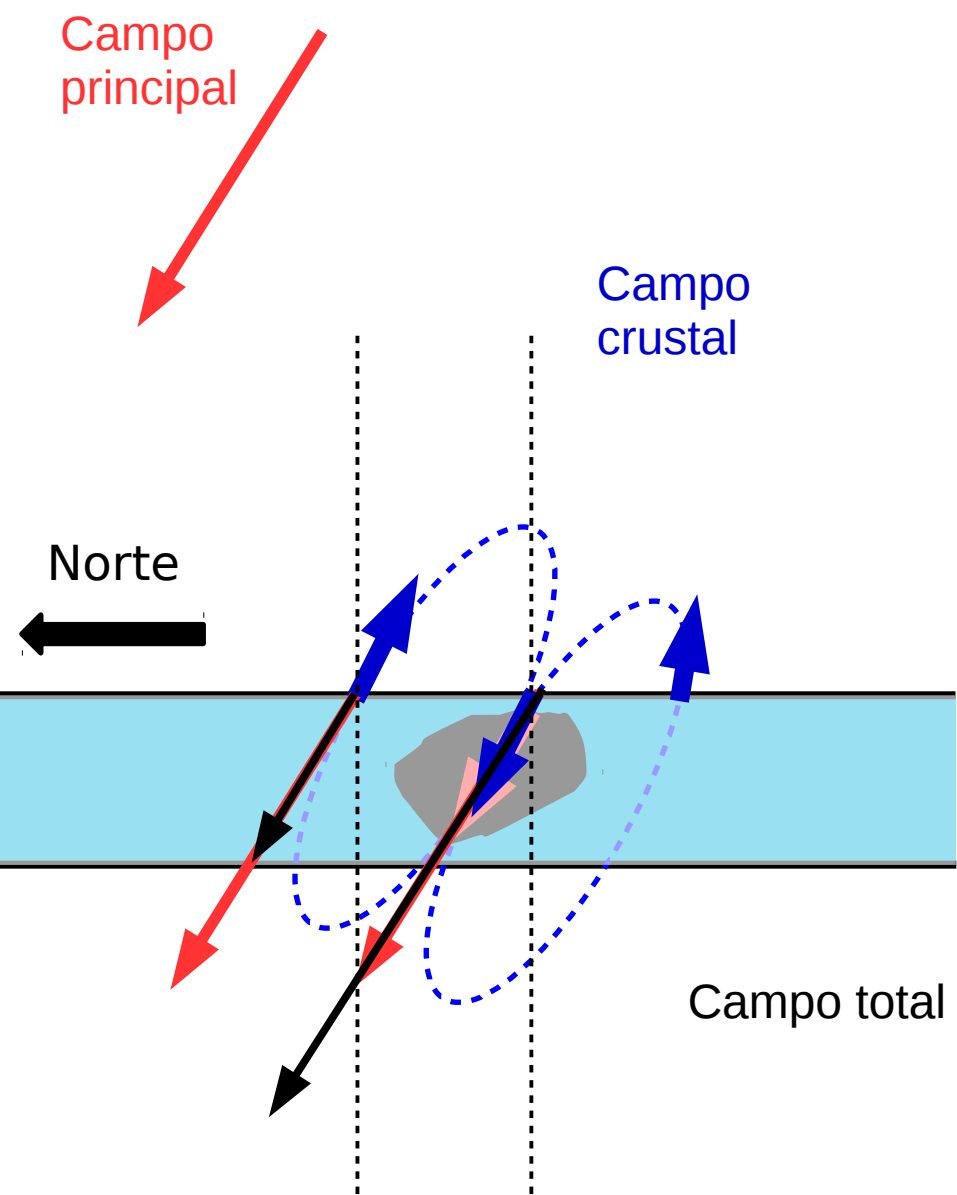
Amplitude (nT)

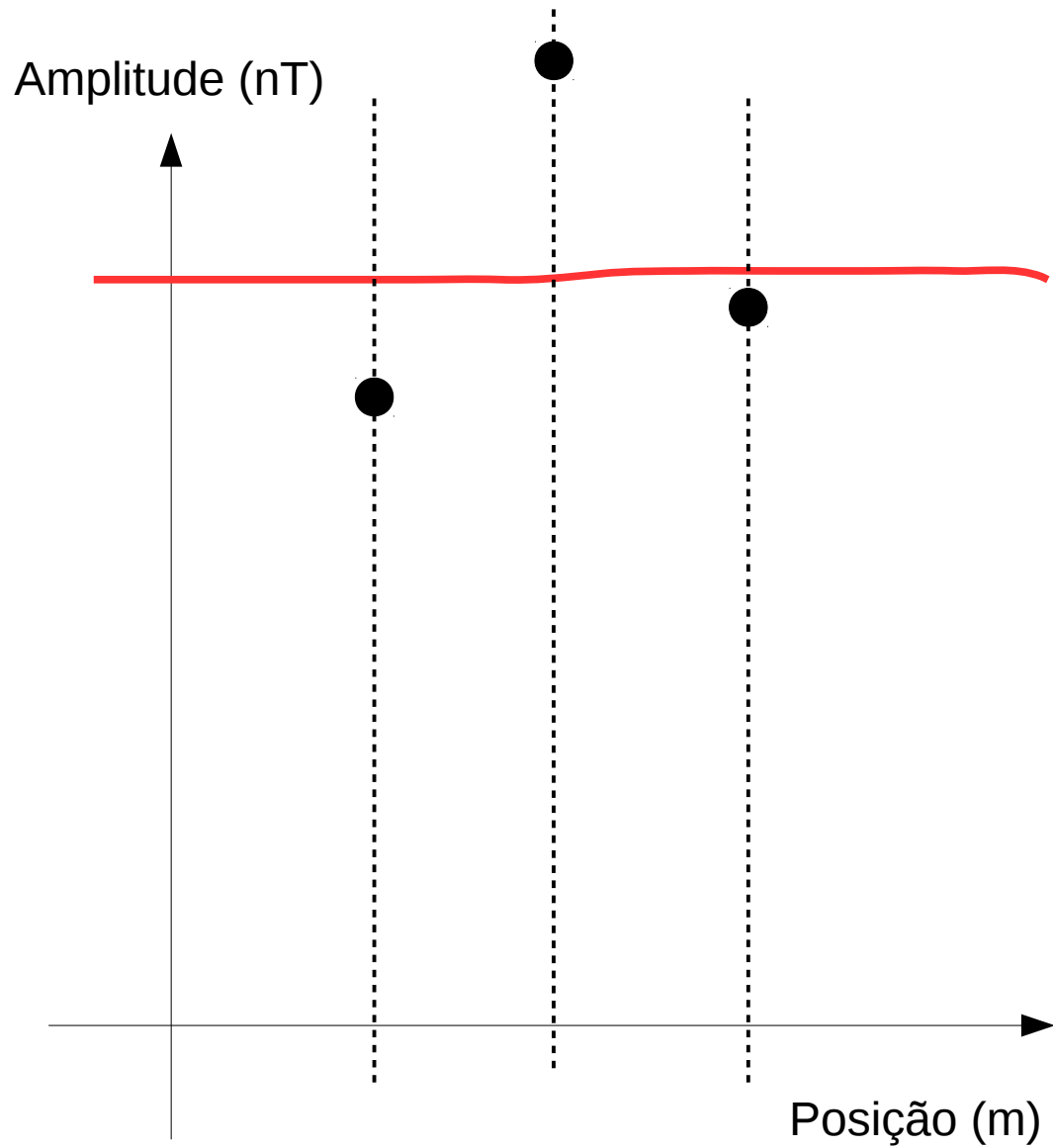
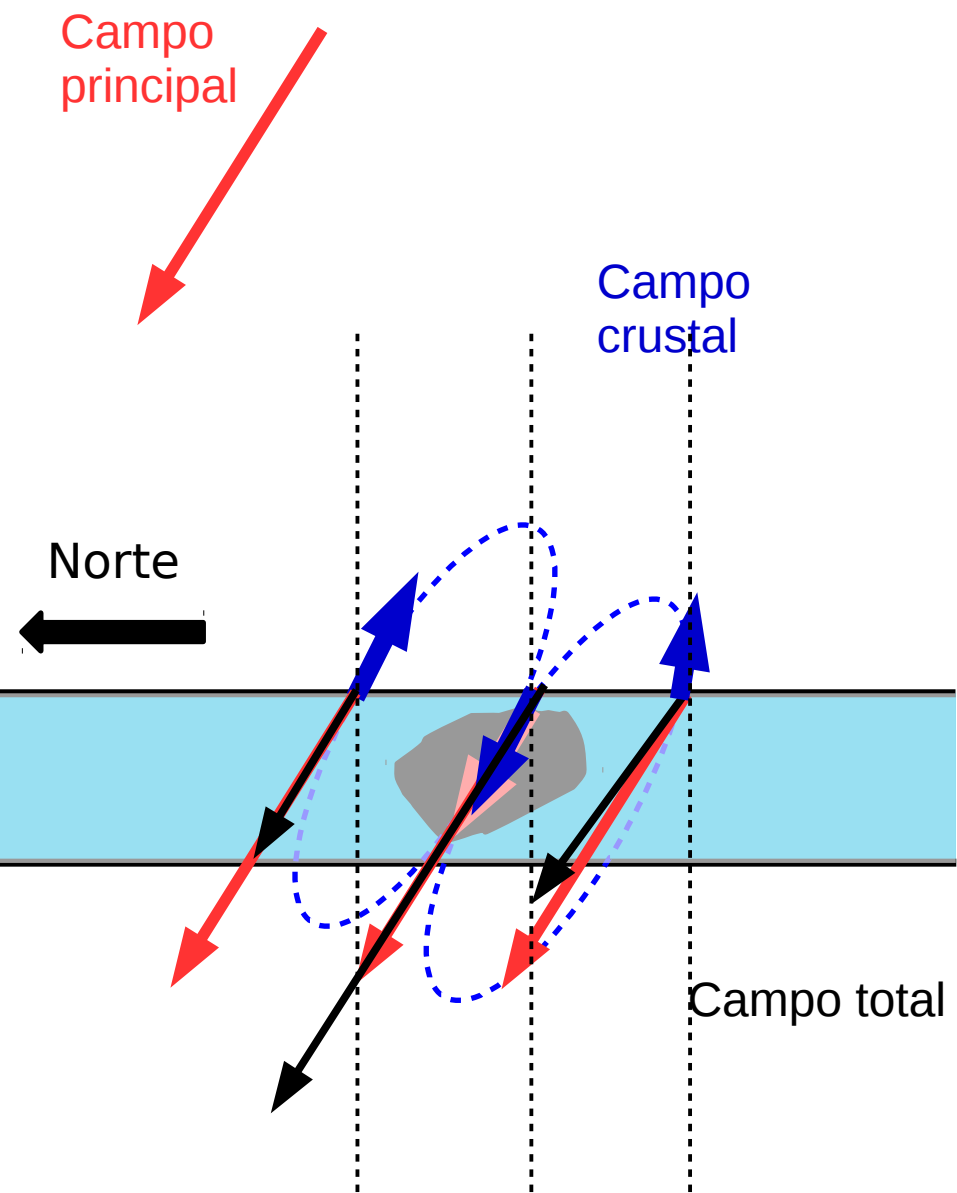


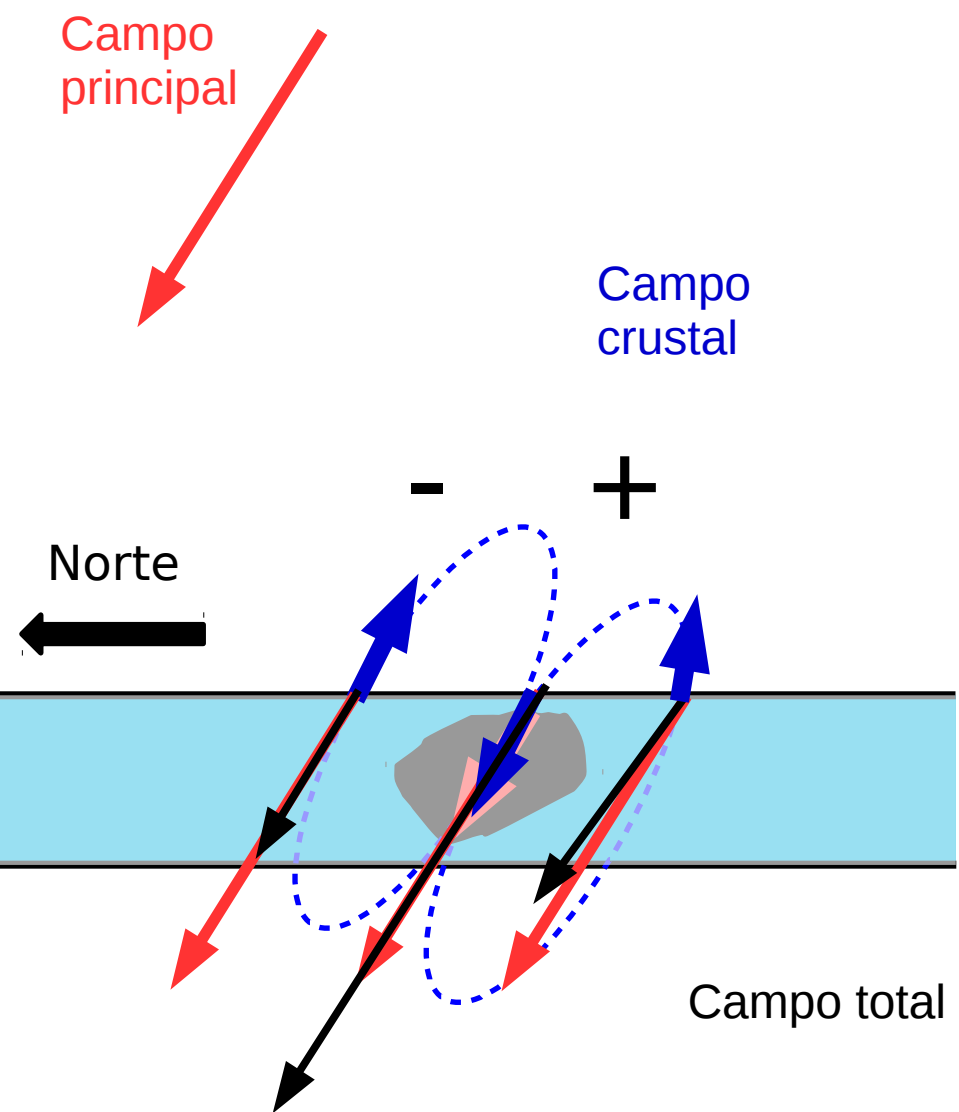


Amplitude (nT)

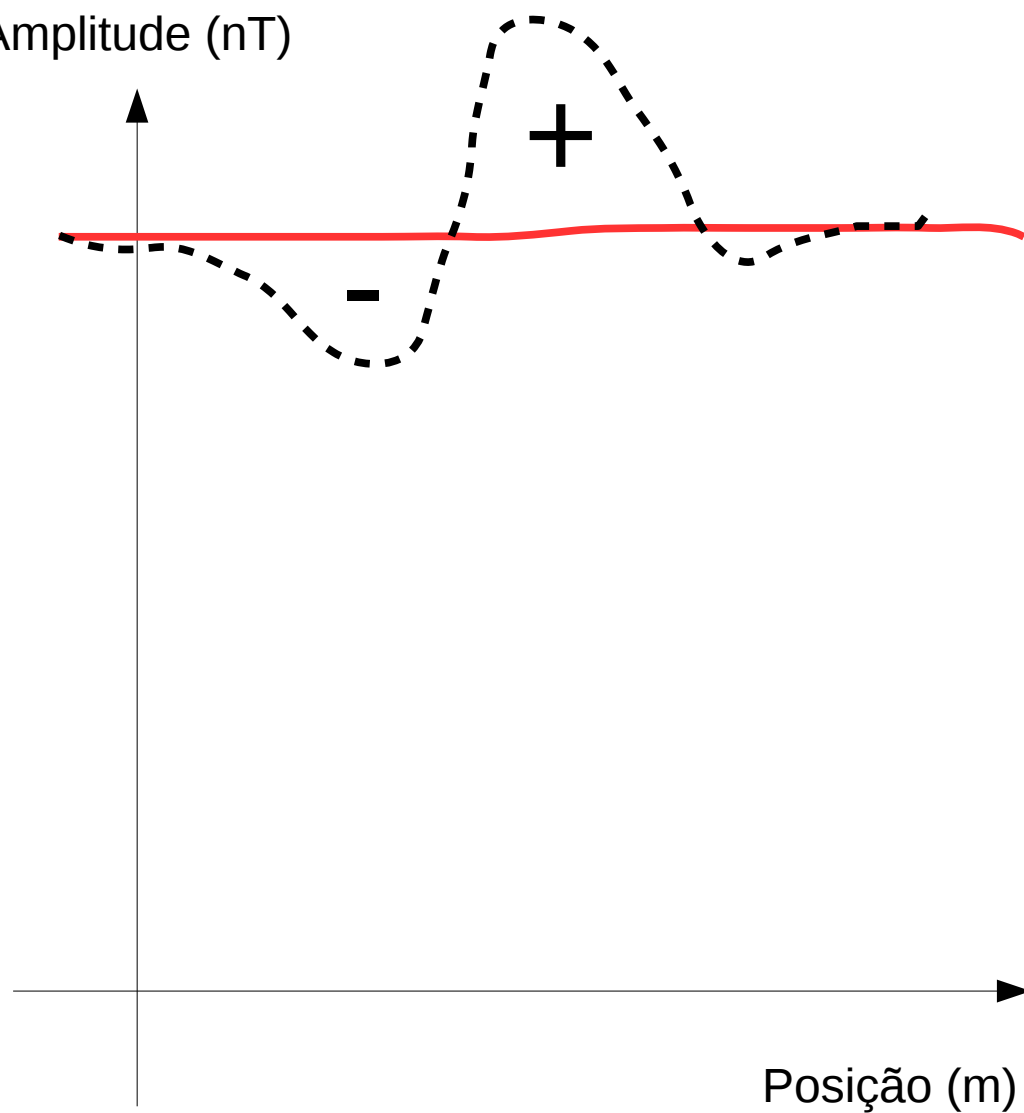








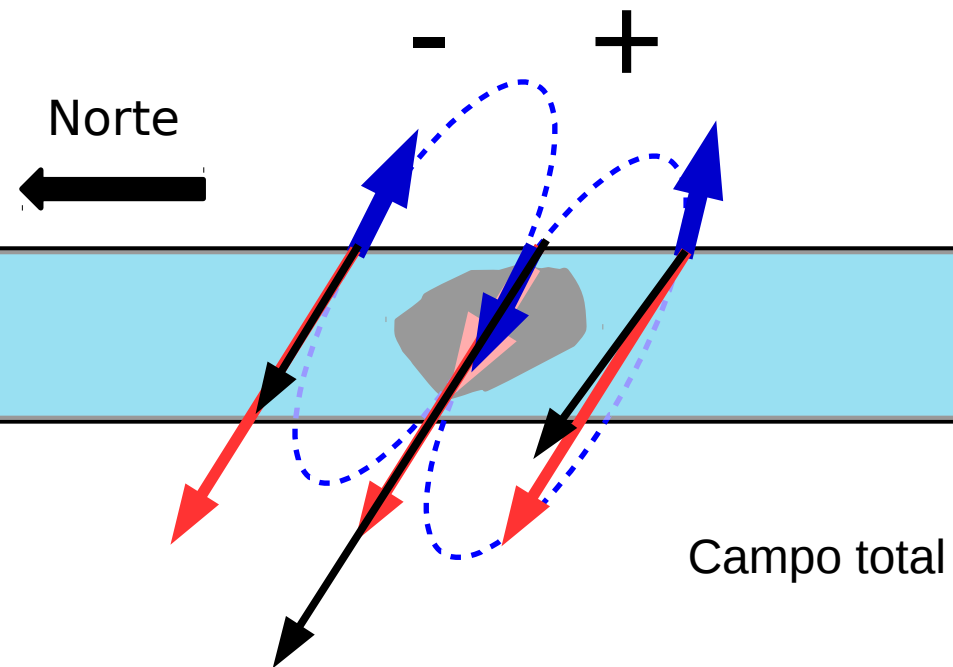
Amplitude (nT)



Campo principal

Campo crustal

Norte



Campo total

Anomalia
de campo
total

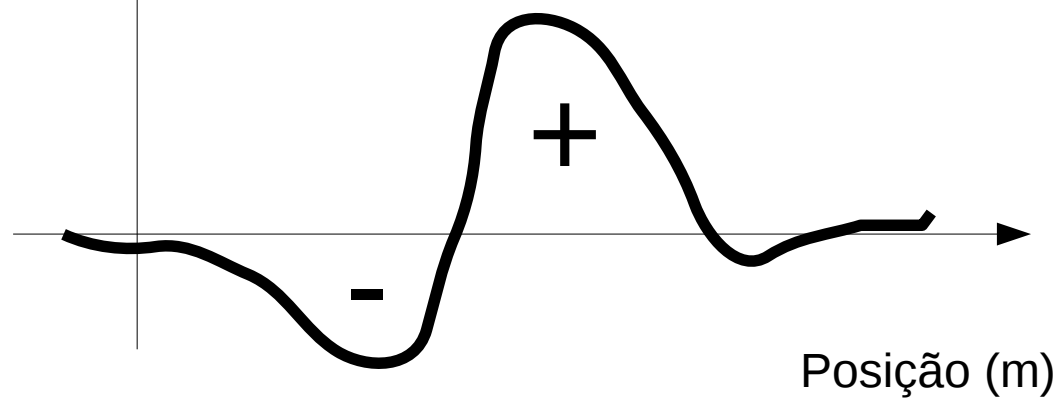
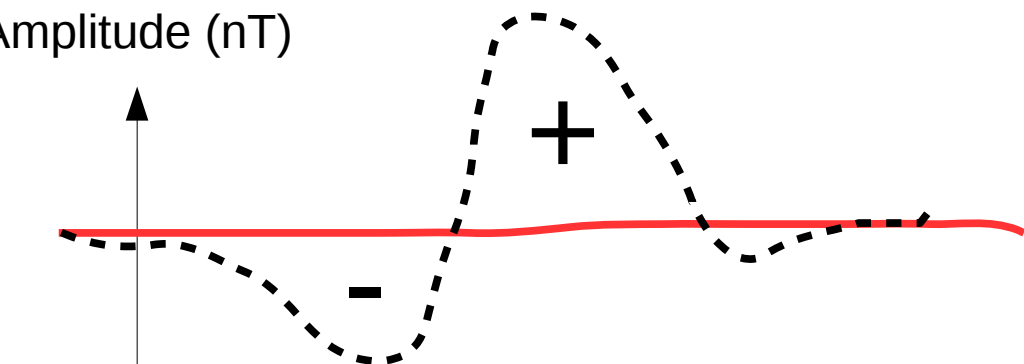
=

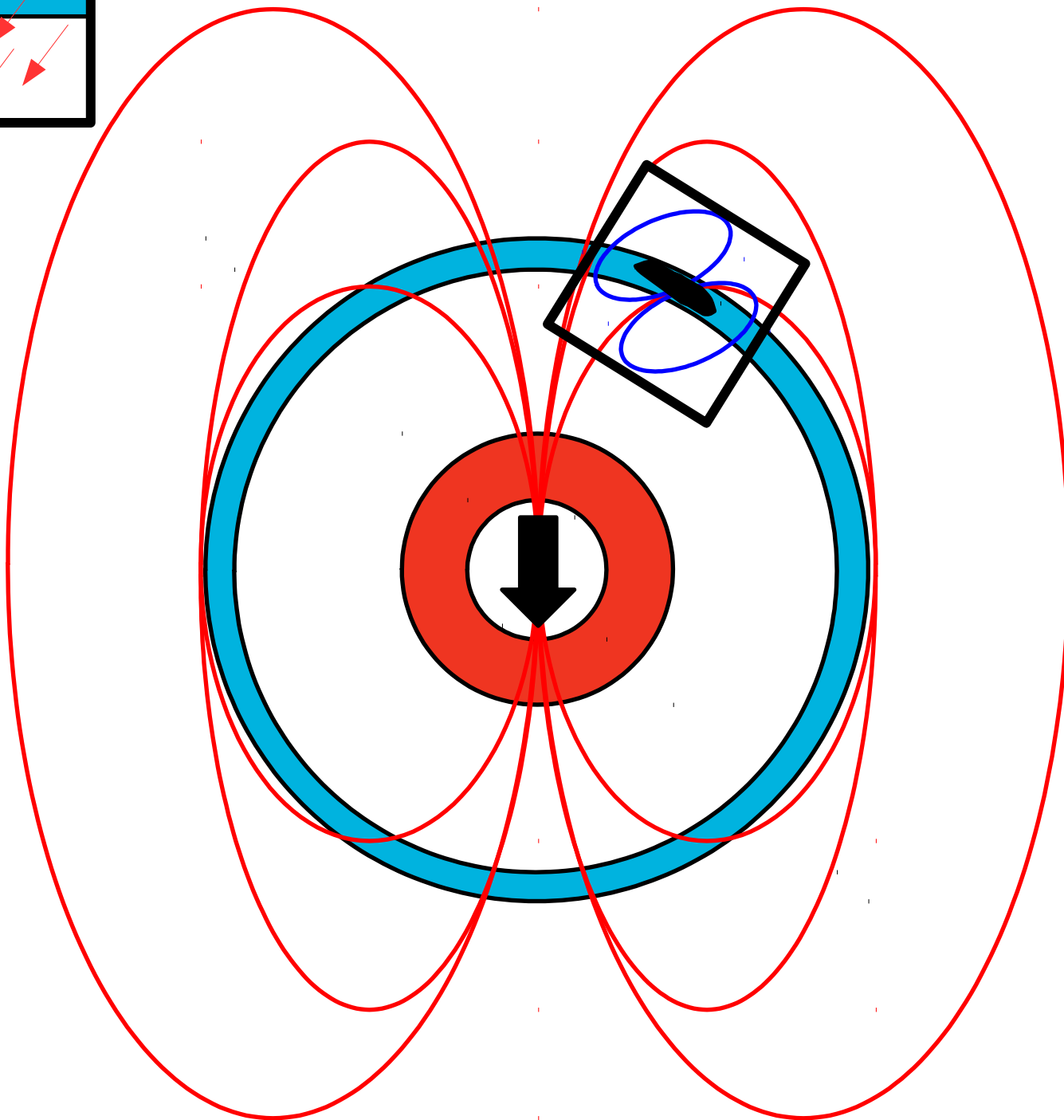
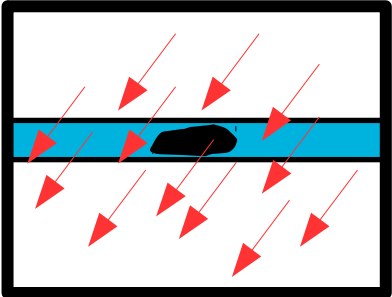
Campo
total

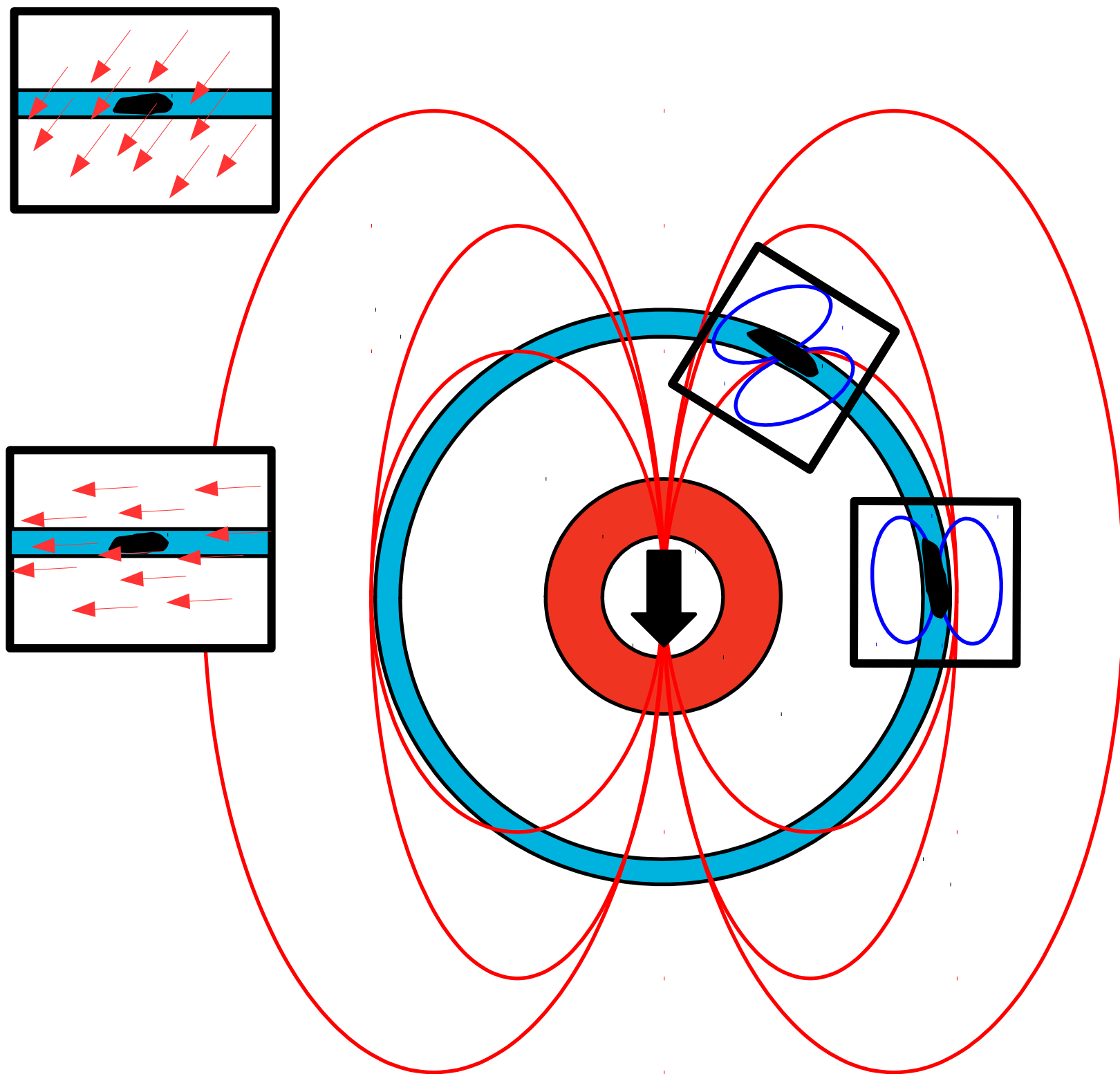
-

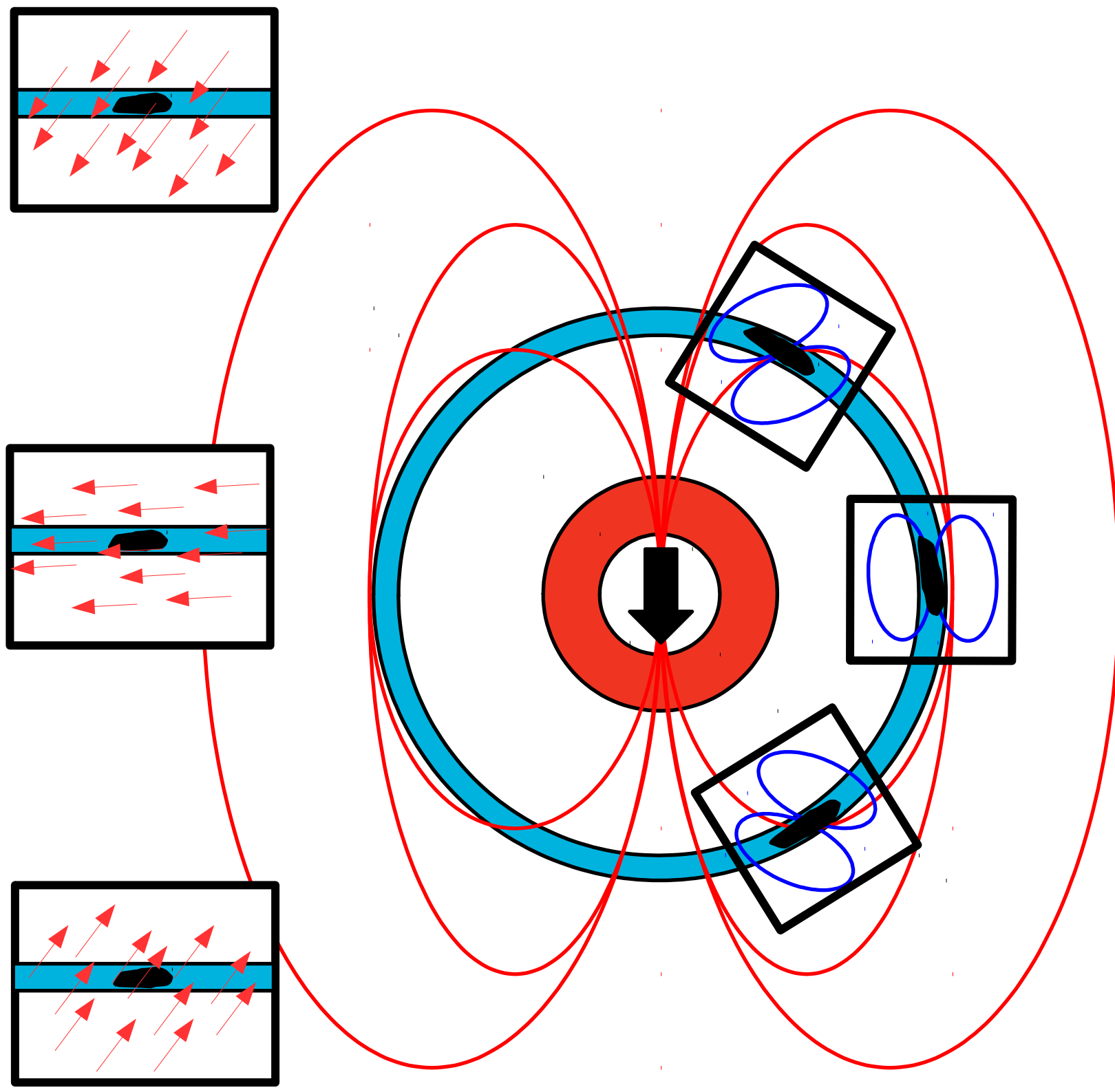
Campo
principal

Amplitude (nT)

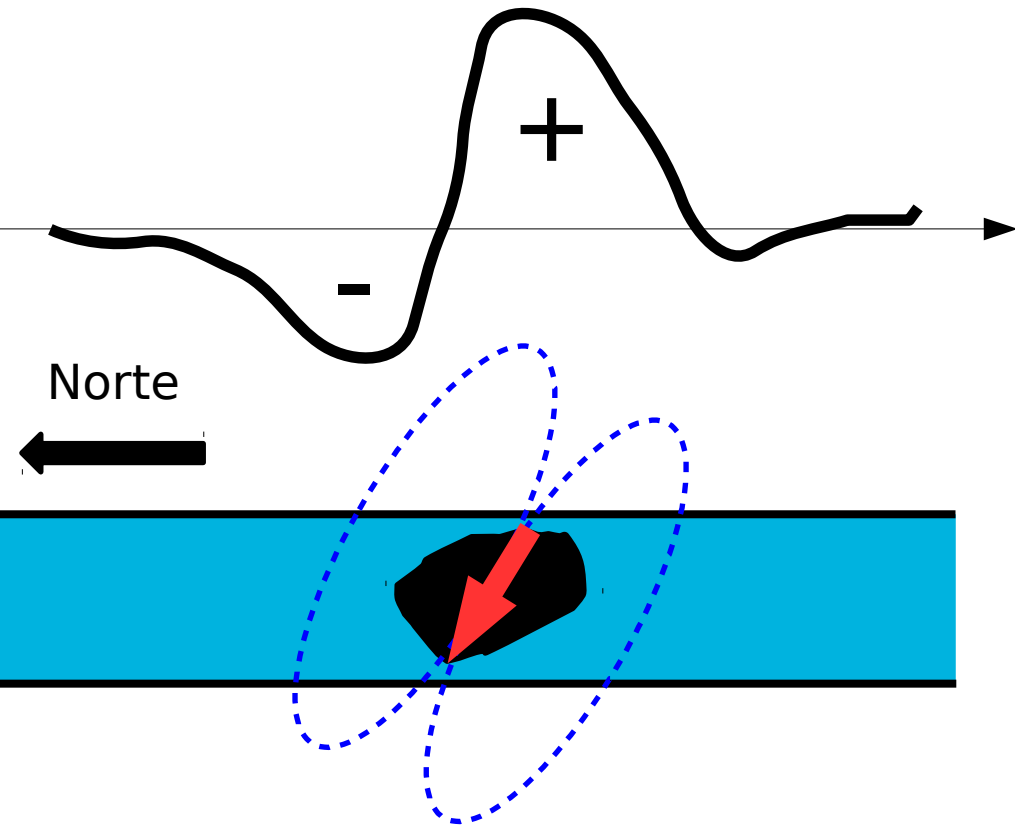




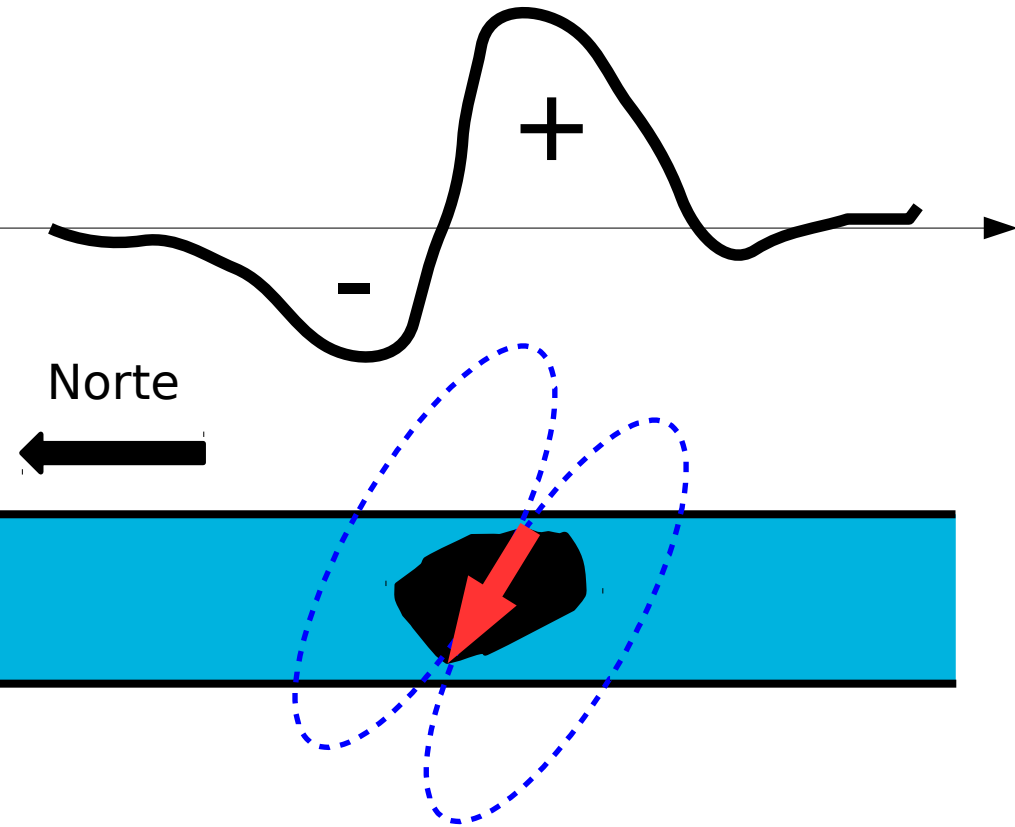




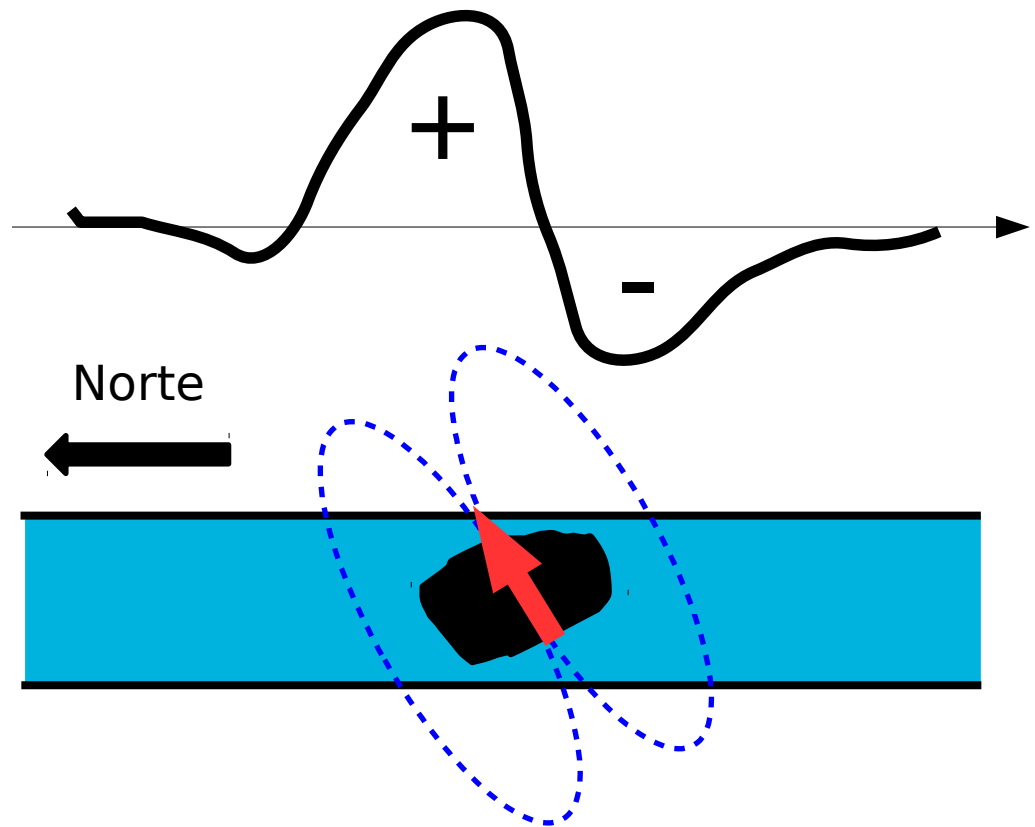
Hemisfério Norte



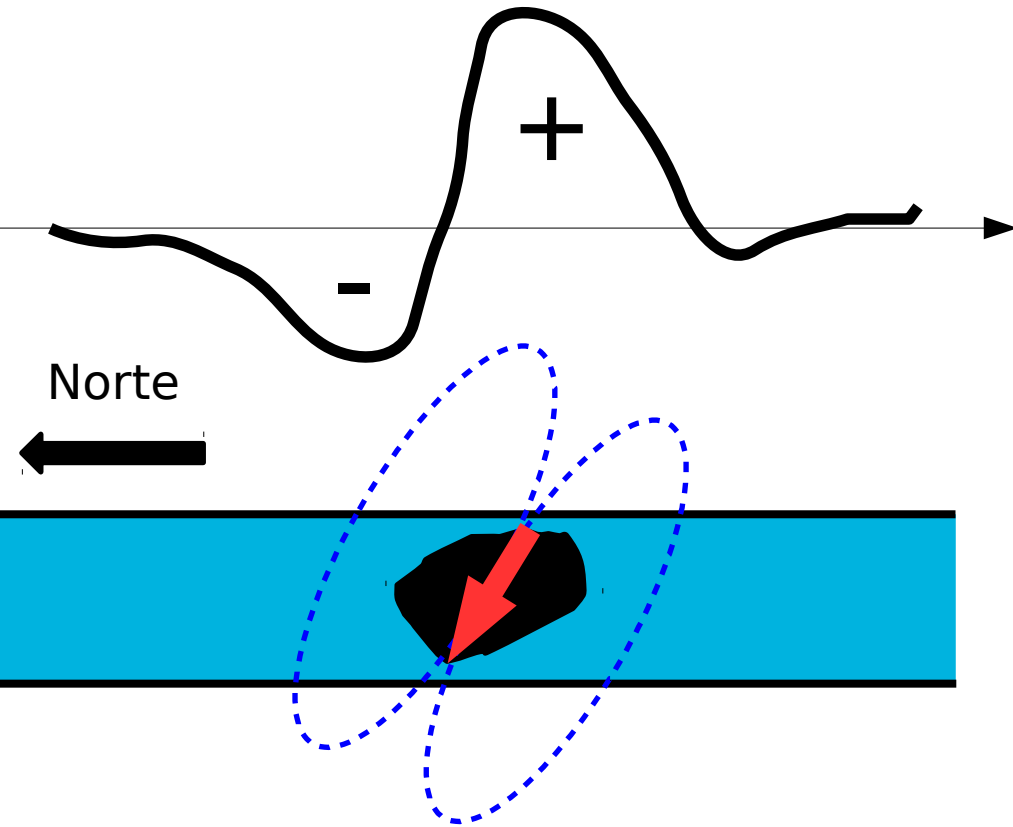
Hemisfério Norte



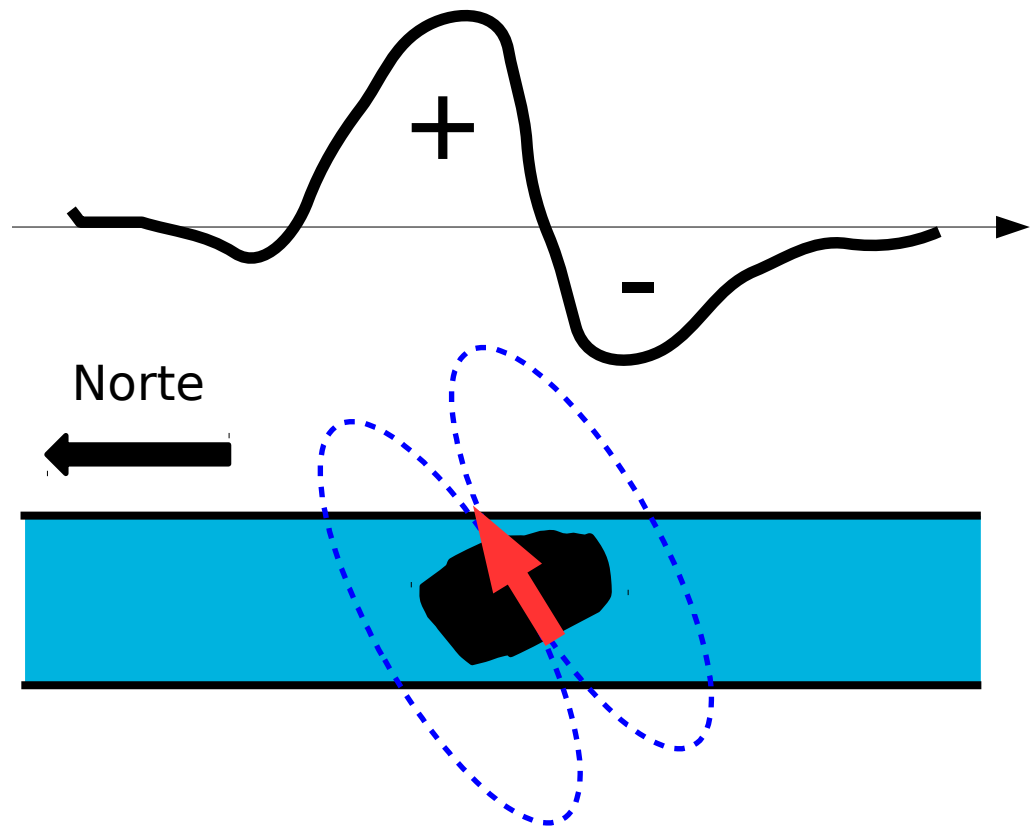
Hemisfério Sul



Hemisfério Norte

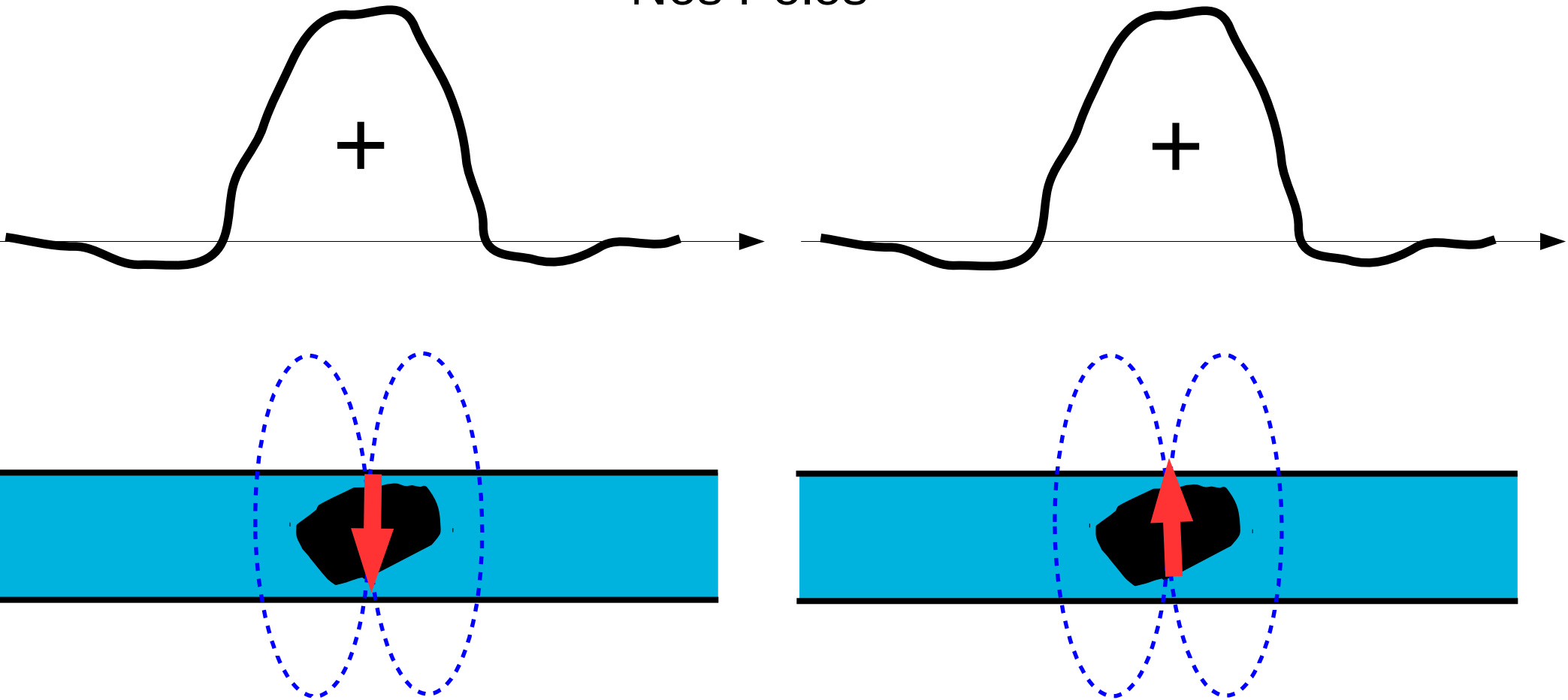


Hemisfério Sul




Este padrão aparece quando a magnetização da fonte é paralela ao campo principal

Nos Polos




Nos polos, a anomalia produzida
por um corpo magnetizado na
mesma direção do campo principal
é predominantemente positiva

Conteúdo

- **Métodos potenciais** 
 - Magnetometria**
 - Gravimetria
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Conteúdo

- **Métodos potenciais** 
 - Magnetometria
 - Gravimetria**
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Gravimetria

- Foi o primeiro método geofísico utilizado na busca por óleo e gás
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação (GPS) e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na definição do relevo do embasamento sob bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos
- Nos últimos anos, a gradiometria da gravidade passou a ganhar importância na exploração mineral

Gravimetria

- Foi o primeiro método geofísico utilizado na busca por óleo e gás
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação (GPS) e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na definição do relevo do embasamento sob bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos
- Nos últimos anos, a gradiometria da gravidade passou a ganhar importância na exploração mineral

Gravimetria

- Foi o primeiro método geofísico utilizado na busca por óleo e gás
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação (GPS) e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na definição do relevo do embasamento sob bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos
- Nos últimos anos, a gradiometria da gravidade passou a ganhar importância na exploração mineral

Gravimetria

- Foi o primeiro método geofísico utilizado na busca por óleo e gás
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação (GPS) e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na definição do relevo do embasamento sob bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos
- Nos últimos anos, a gradiometria da gravidade passou a ganhar importância na exploração mineral

Gravimetria

- Foi o primeiro método geofísico utilizado na busca por óleo e gás
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação (GPS) e das plataformas de compensação possibilitou a cobertura de grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos aplicados na exploração mineral
- É utilizado na definição do relevo do embasamento sob bacias sedimentares, definição de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos
- Nos últimos anos, a gradiometria da gravidade passou a ganhar importância na exploração mineral

Gravimetria

- Foi o primeiro método geofísico utilizado na busca por petróleo e gás
- O desenvolvimento da instrumentação, navegação por GPS e das plataformas de compensação possibilitou a realização de levantamentos em grandes áreas
- É um dos principais métodos geofísicos utilizados na exploração mineral
- É utilizado na identificação do embasamento sob bacias sedimentares, na determinação de contatos geológicos e delimitação de corpos geológicos
- Nos últimos anos, a gradiometria da gravidade passou a ganhar importância na exploração mineral

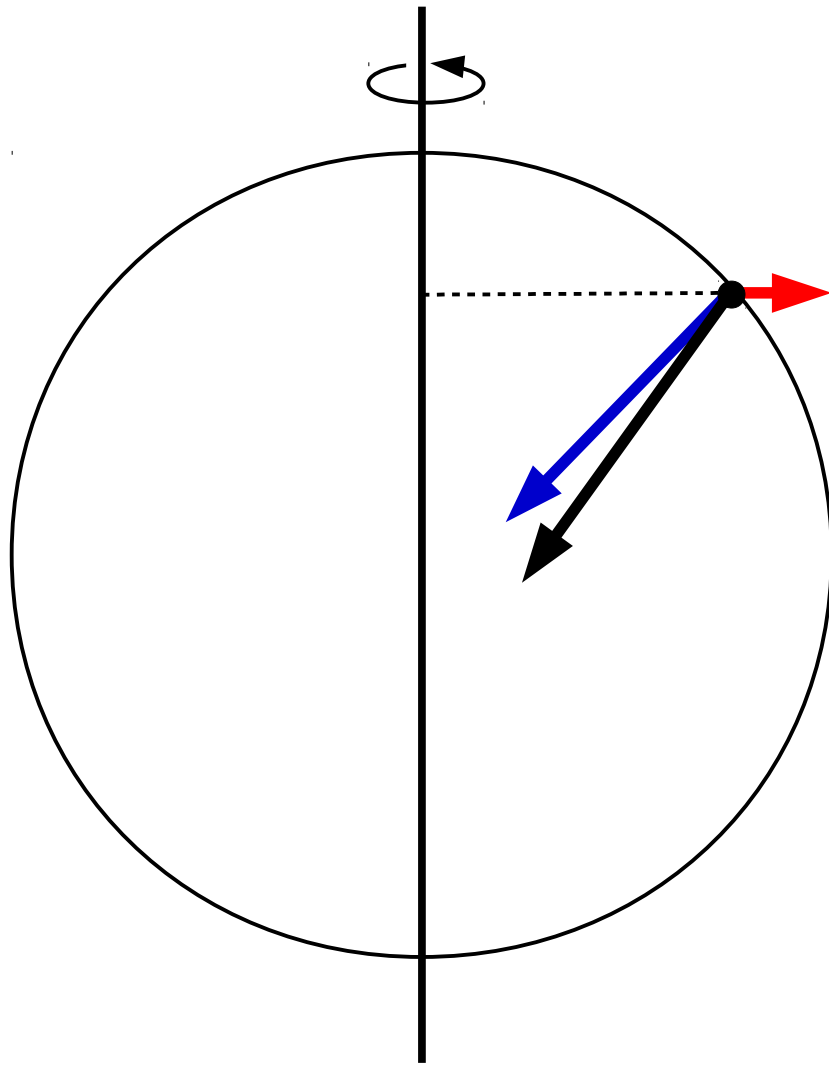
Qual é o dado?

Para entendermos os dados, é importante definirmos alguns elementos do **campo de gravidade**

Considere uma massa
unitária em repouso na
superfície da Terra



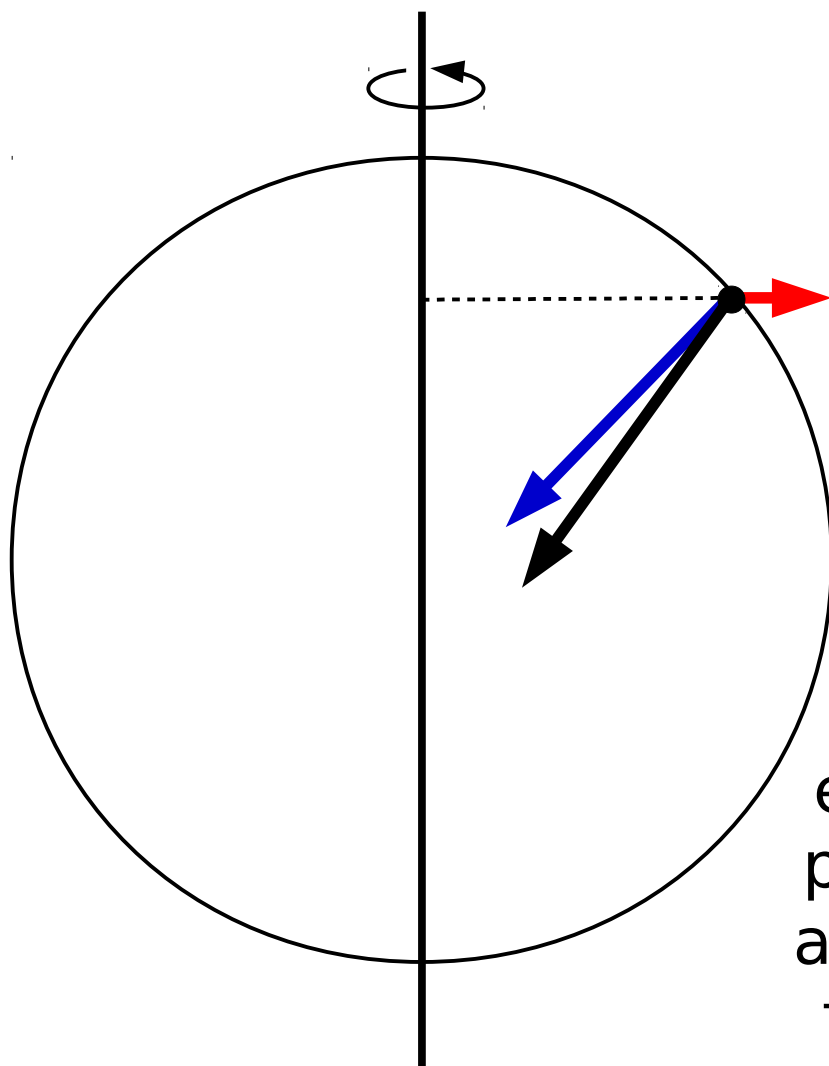
[http://www.guiageo-
americas.com/mapas/globo
-america.htm](http://www.guiageo-americas.com/mapas/globo-america.htm)



Este corpo experimenta uma força **gravitacional** e uma força[#] **centrífuga**. A resultante destas duas “forças” é chamada **vetor gravidade*** e sua amplitude é chamada, simplesmente, **gravidade*** (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005).

[#] De fato, isso não é uma força (Symon, 1971, p. 279)

^{*} Em física, a terminologia pode ser diferente (Symon, 1971, p. 280)



Este corpo experimenta uma força **gravitacional** e uma força[#] **centrífuga**. A resultante destas duas “forças” é chamada **vetor gravidade**^{*} e sua amplitude é chamada, simplesmente, **gravidade**^{*} (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005).

No caso de gravimetria em plataformas móveis (aviões, helicópteros, navios), há outros efeitos não-gravitacionais produzidos pelo movimento do veículo, tais como a força[#] de Coriolis e vibrações de alta frequência (Symon, 1971; Glennie et al., 2000; Nabighian et al., 2005; Baumann et al., 2012).

[#] De fato, isso não é uma força (Symon, 1971, p. 279)

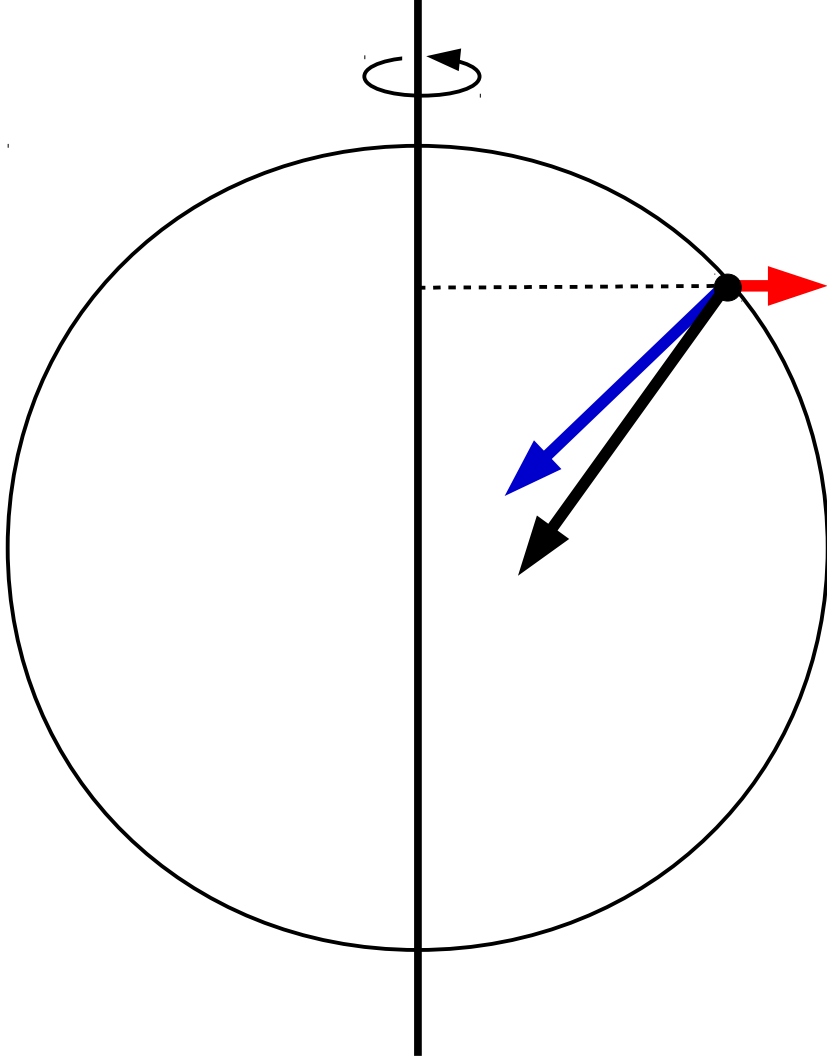
^{*} Em física, a terminologia pode ser diferente (Symon, 1971, p. 280)

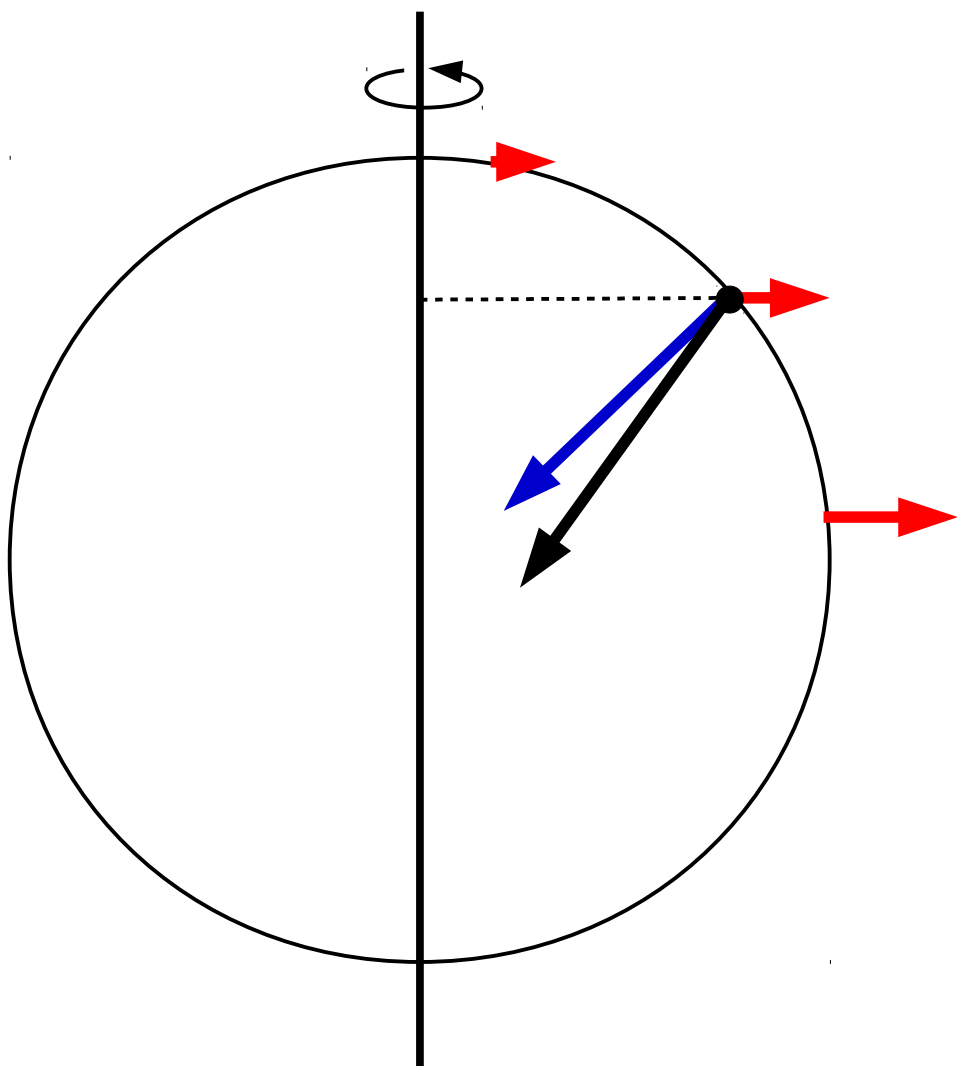
Em geral, o geofísico está interessado na componente gravitacional da gravidade, que é produzida pelas variações na distribuição interna de densidade da Terra

Em geral, o geofísico está interessado na componente gravitacional da gravidade, que é produzida pelas variações na distribuição interna de densidade da Terra

Por isso, é necessário remover as componentes não-gravitacionais produzidas pelo movimento do veículo (avião, helicóptero, navio) e também variações temporais produzidas pela atração luni-solar, deriva instrumental e variações da pressão atmosférica

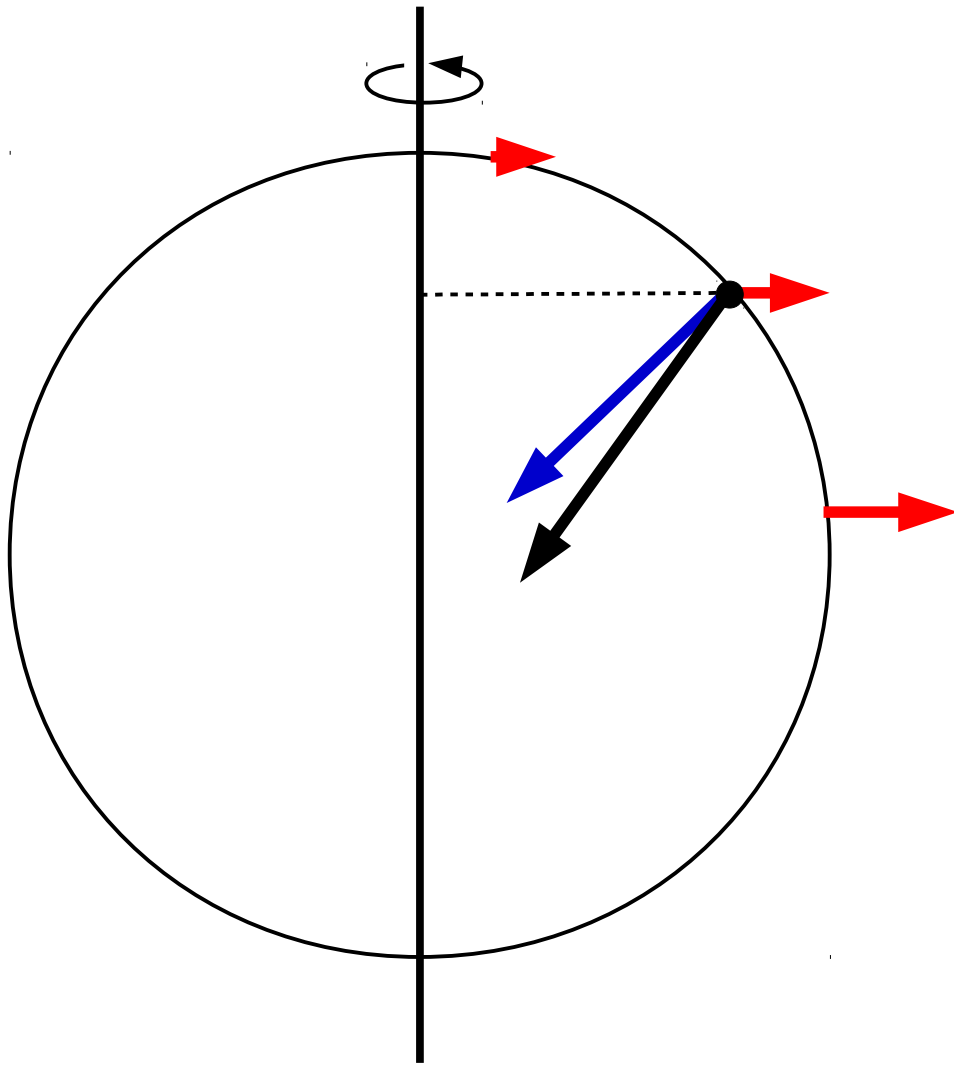
De volta pra Terra ...





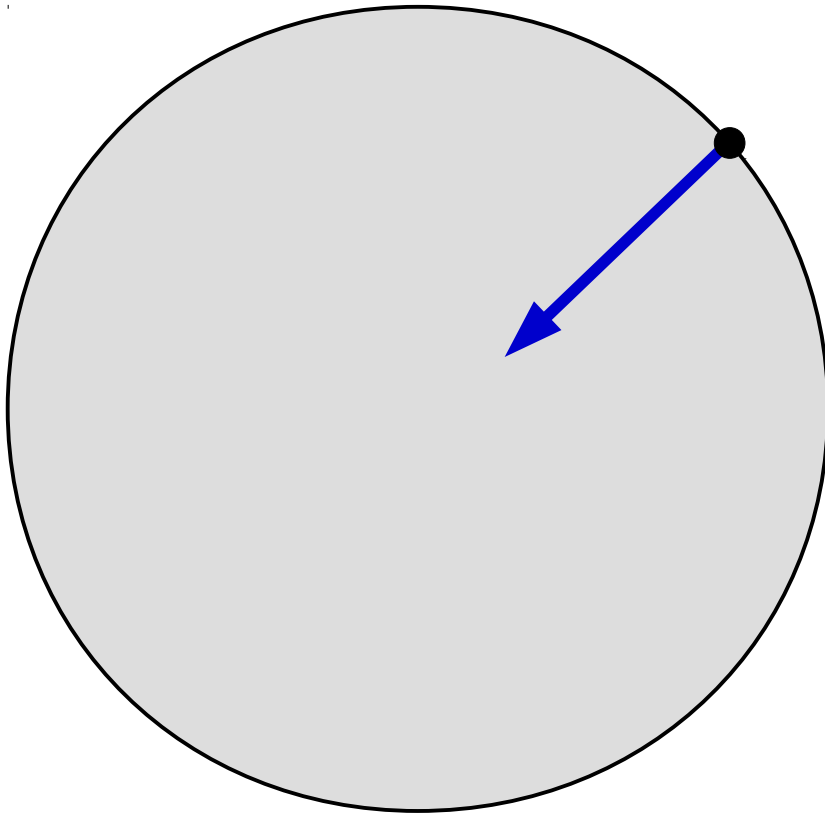
A componente **centrífuga** sempre aponta para fora da Terra e aumenta com a distância até o eixo de rotação

Já a componente **gravitacional** é mais complicada ...

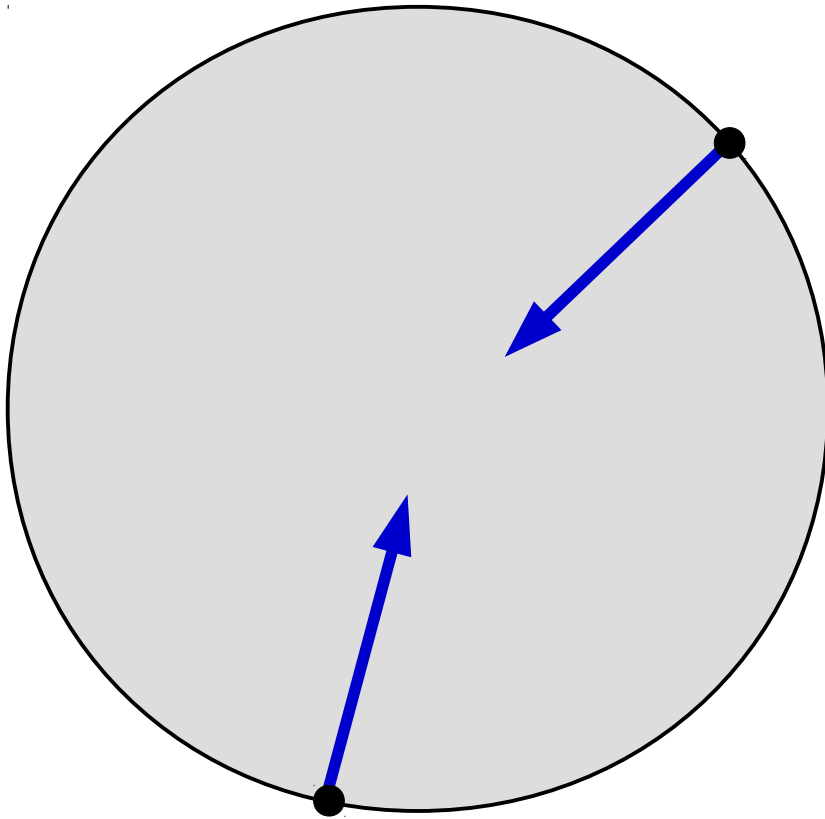


A componente **centrífuga** sempre aponta para fora da Terra e aumenta com a distância até o eixo de rotação

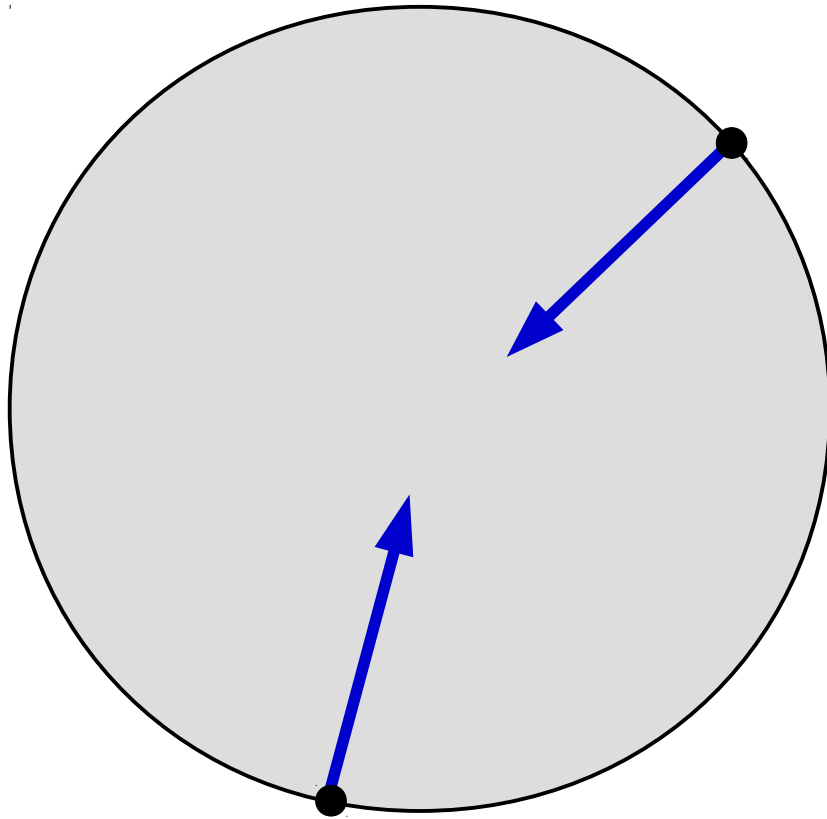
Desconsidere a componente
centrífuga por um momento e
considere que a Terra tem
densidade constante



Desconsidere a componente centrífuga por um momento e considere que a Terra tem densidade constante



Agora considere a componente **gravitacional** em outro ponto na superfície da Terra

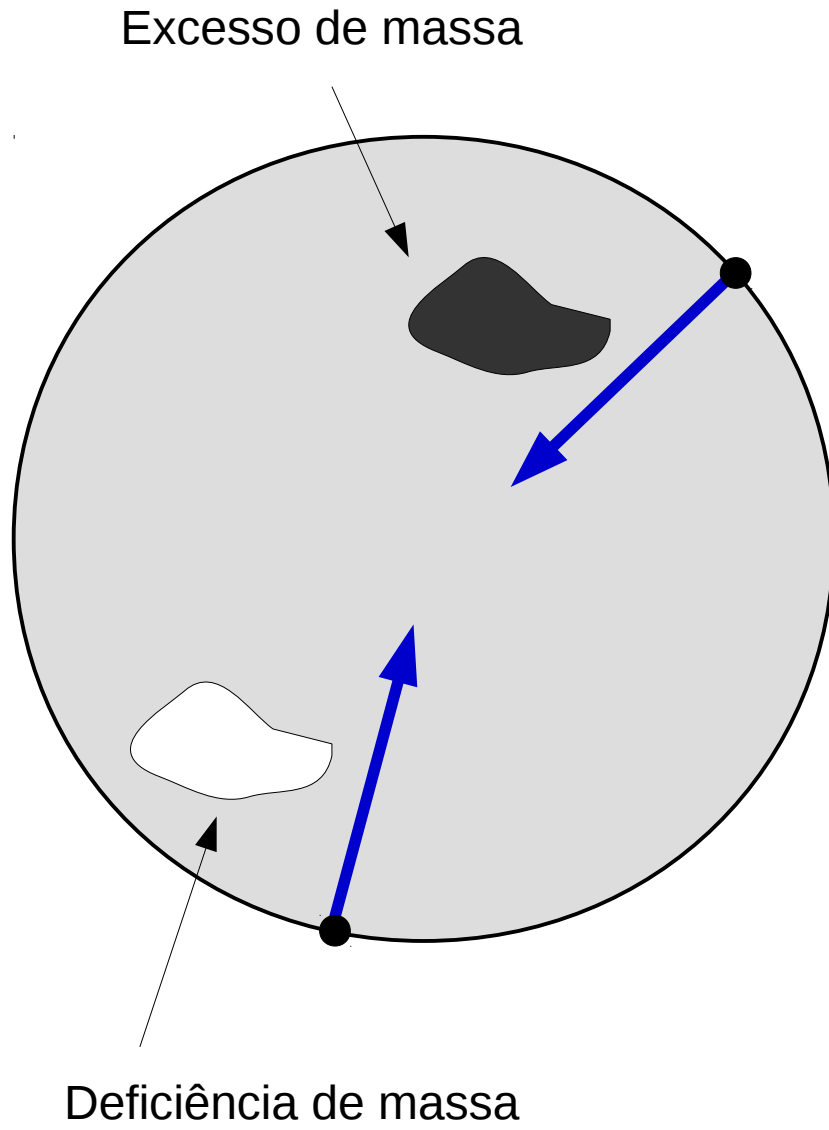


Desconsidere a componente centrífuga por um momento e considere que a Terra tem densidade constante

Agora considere a componente **gravitacional** em outro ponto na superfície da Terra

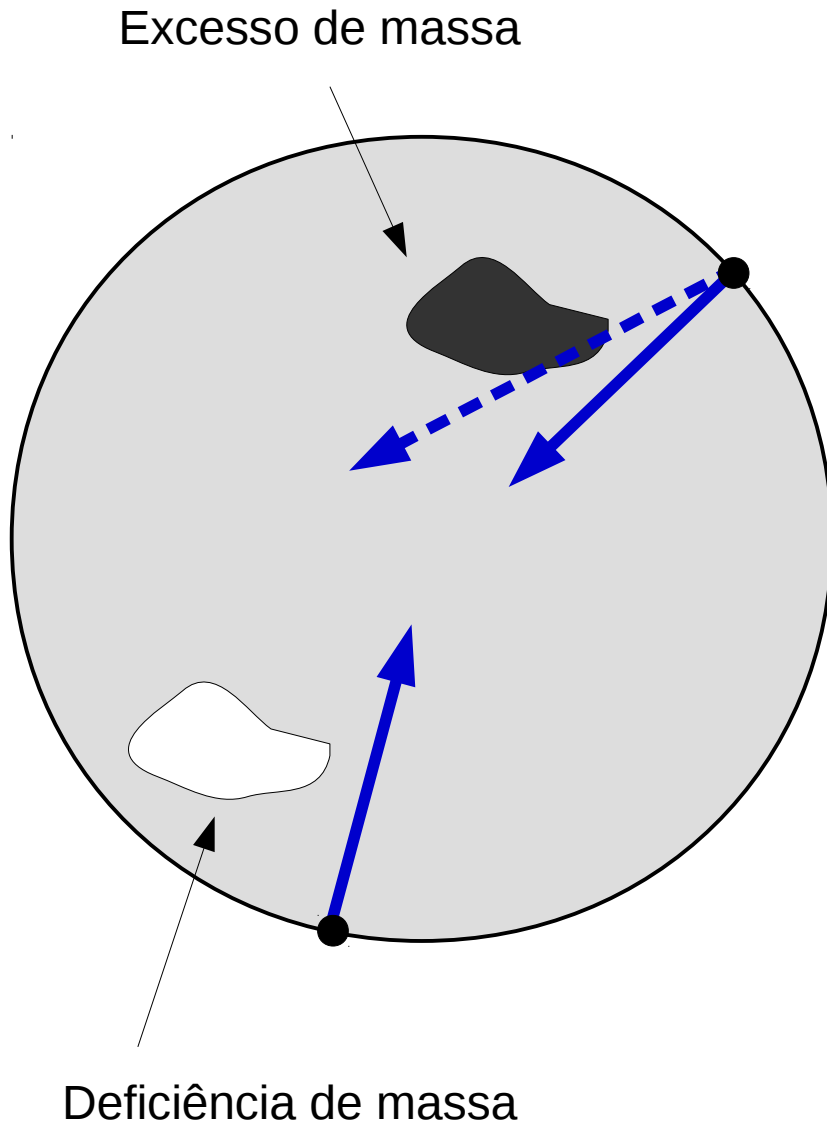
Neste caso, a direção da componente gravitacional fica bem diferente, mas a amplitude é praticamente a mesma porque a densidade é constante

Considere agora que a massa da Terra foi redistribuída, mas a massa total continua a mesma

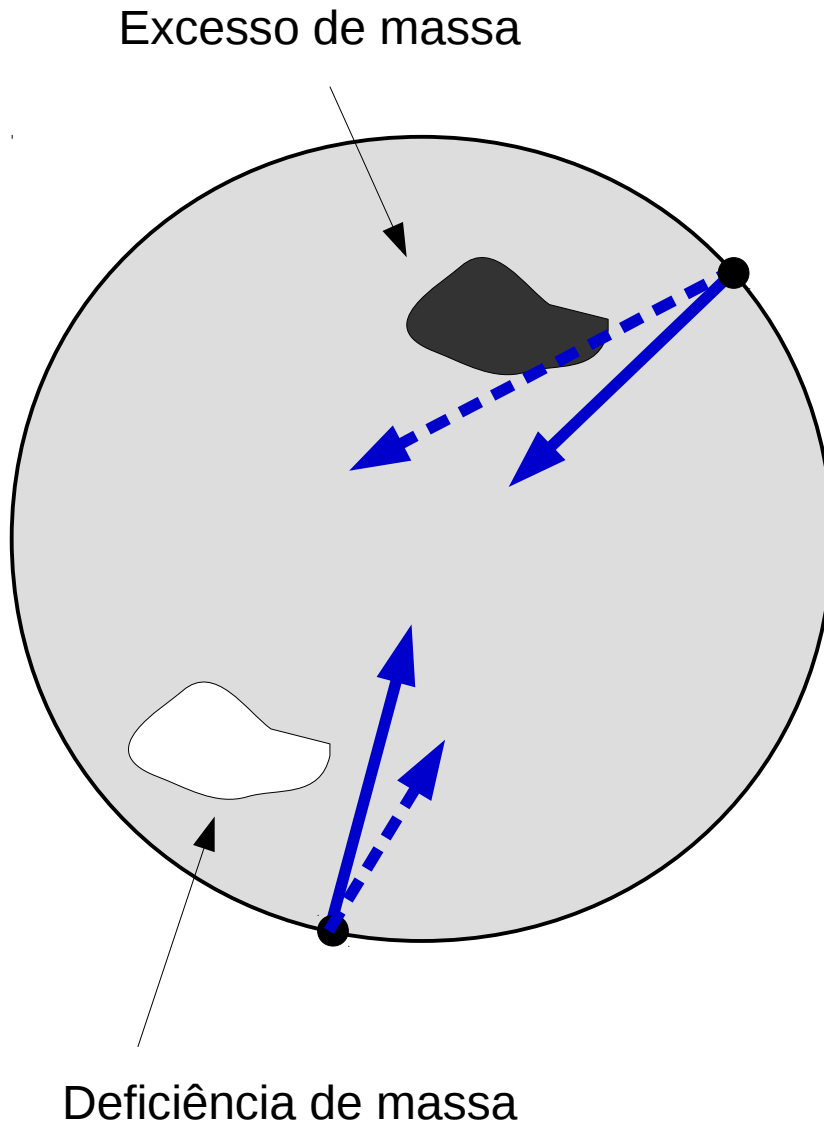


Considere agora que a massa da Terra foi redistribuída, mas a massa total continua a mesma

A região com **excesso** de massa irá **aumentar** a componente gravitacional em comparação ao modelo anterior, em que a densidade era constante na Terra toda



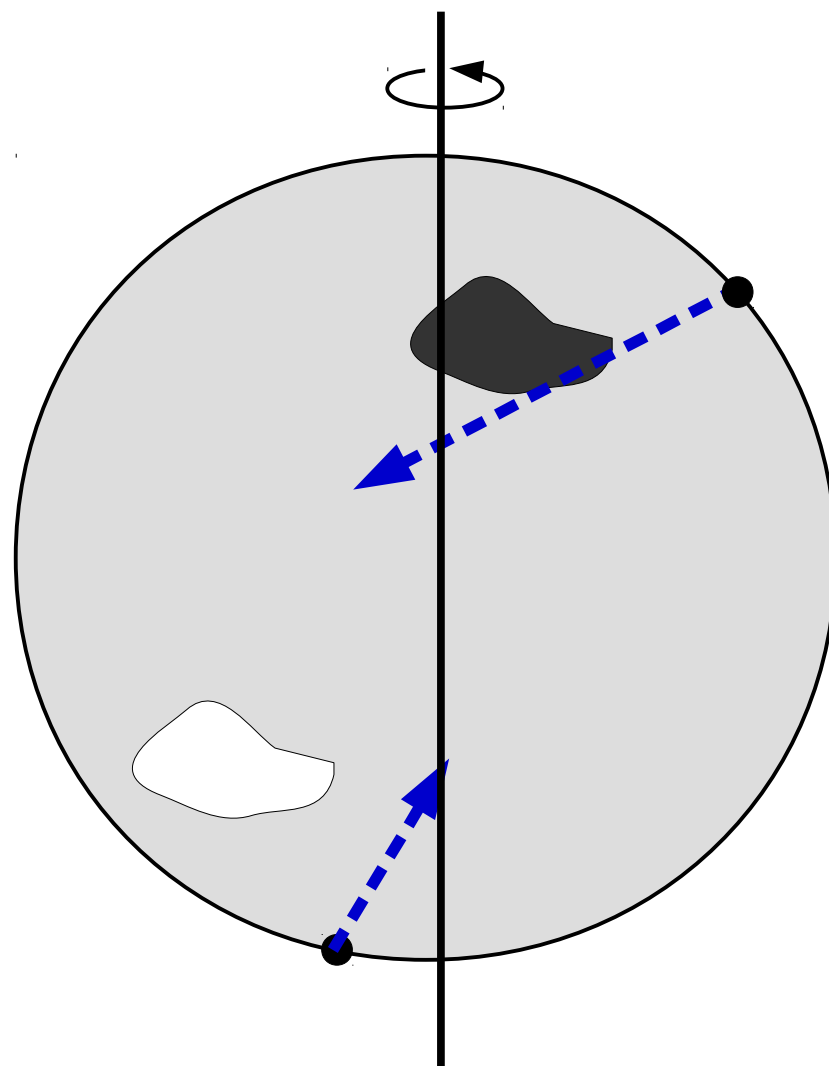
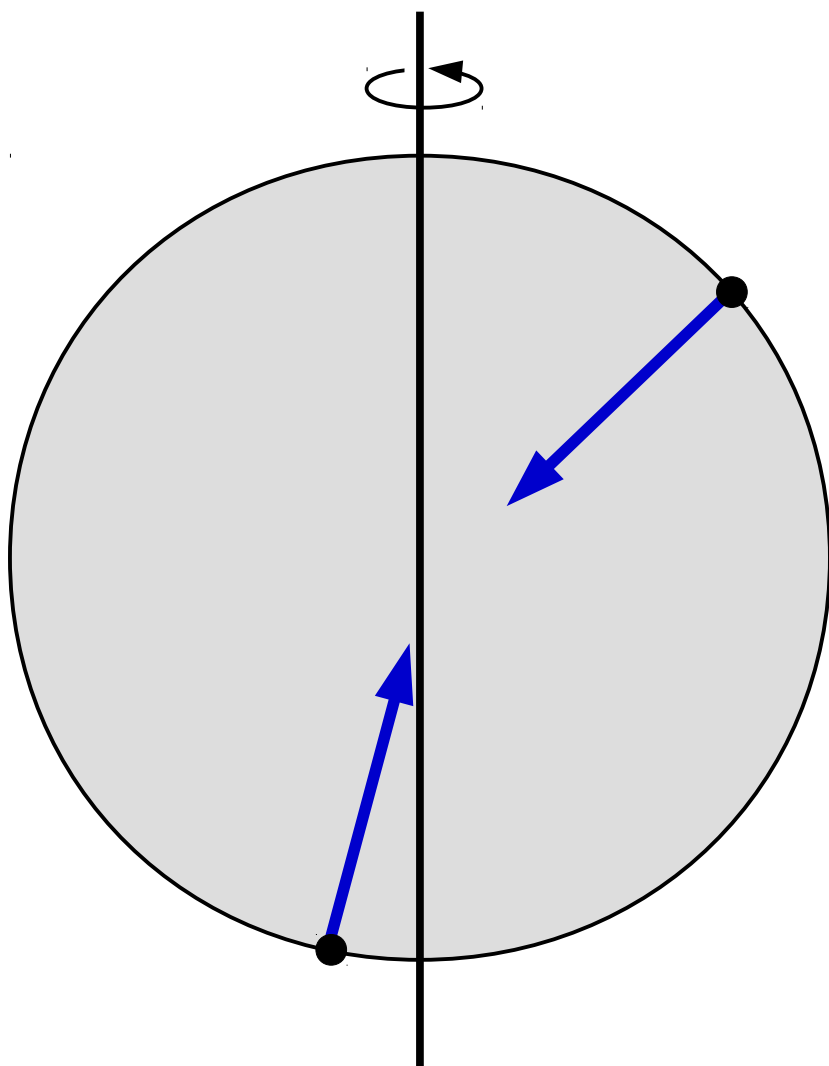
Considere agora que a massa da Terra foi redistribuída, mas a massa total continua a mesma



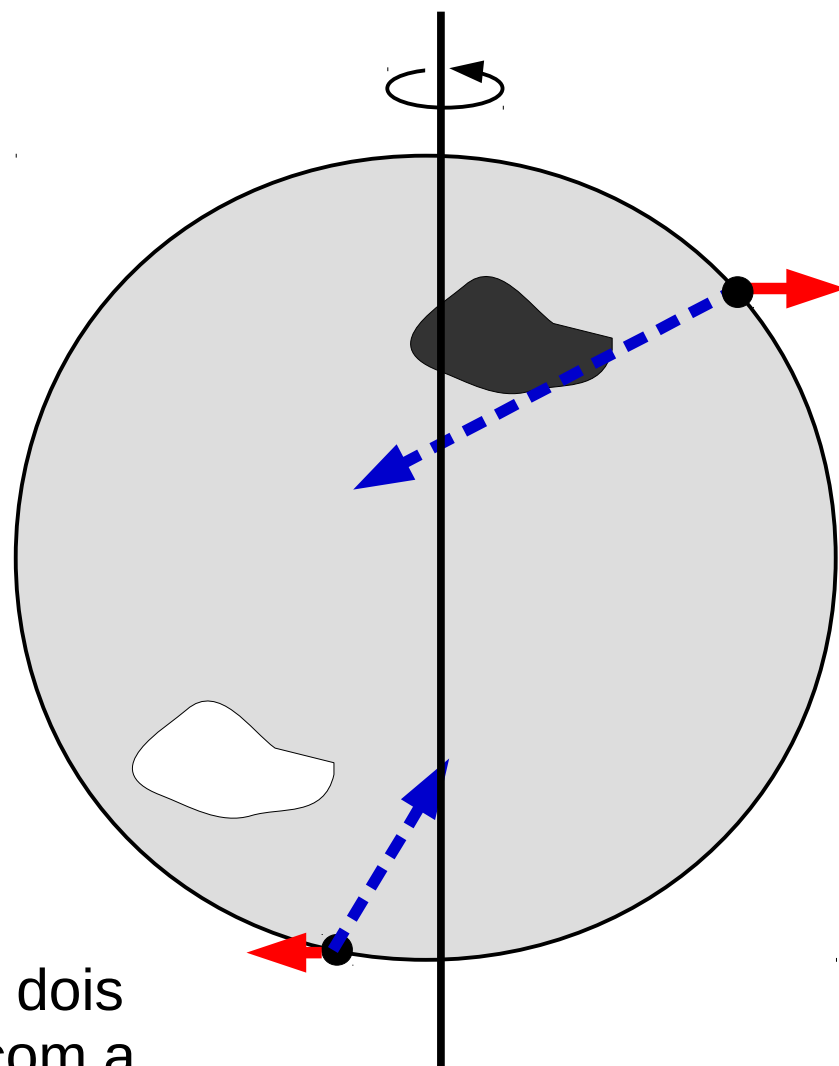
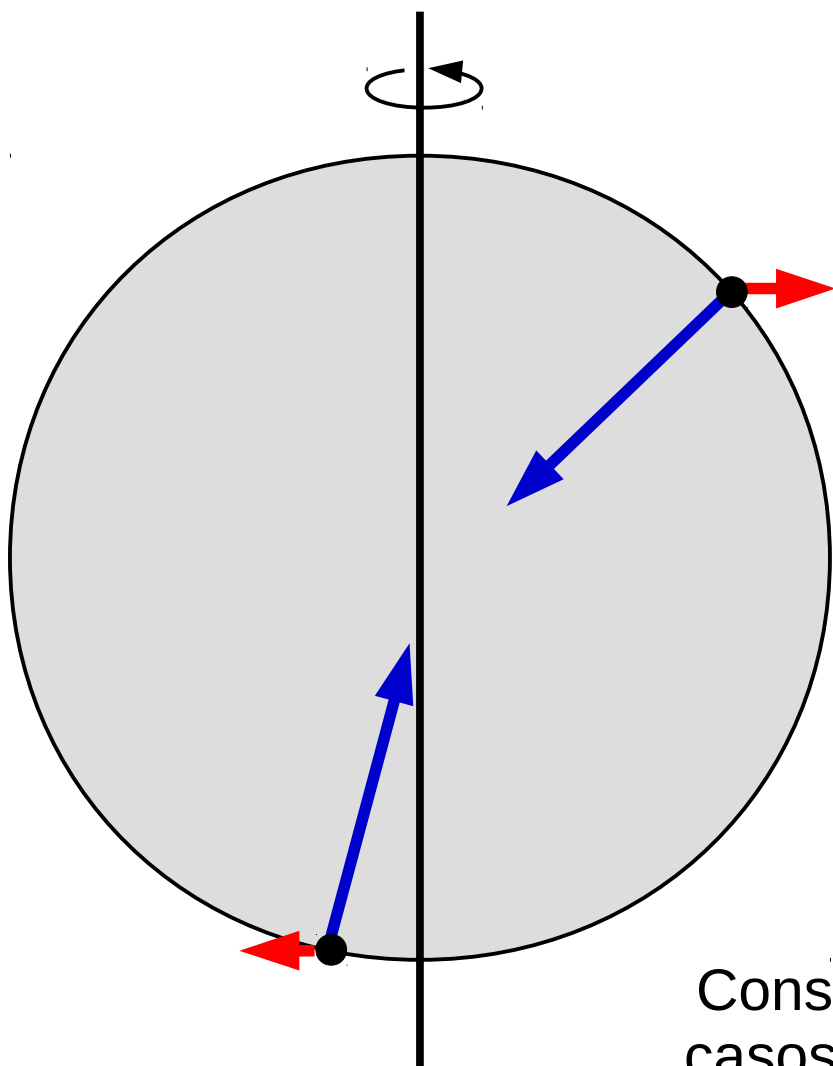
A região com **excesso** de massa irá **aumentar** a componente gravitacional em comparação ao modelo anterior, em que a densidade era constante na Terra toda

Por outro lado, a região com **deficiência** de massa irá **diminuir** a componente gravitacional em comparação ao modelo anterior, em que a densidade era constante na Terra toda

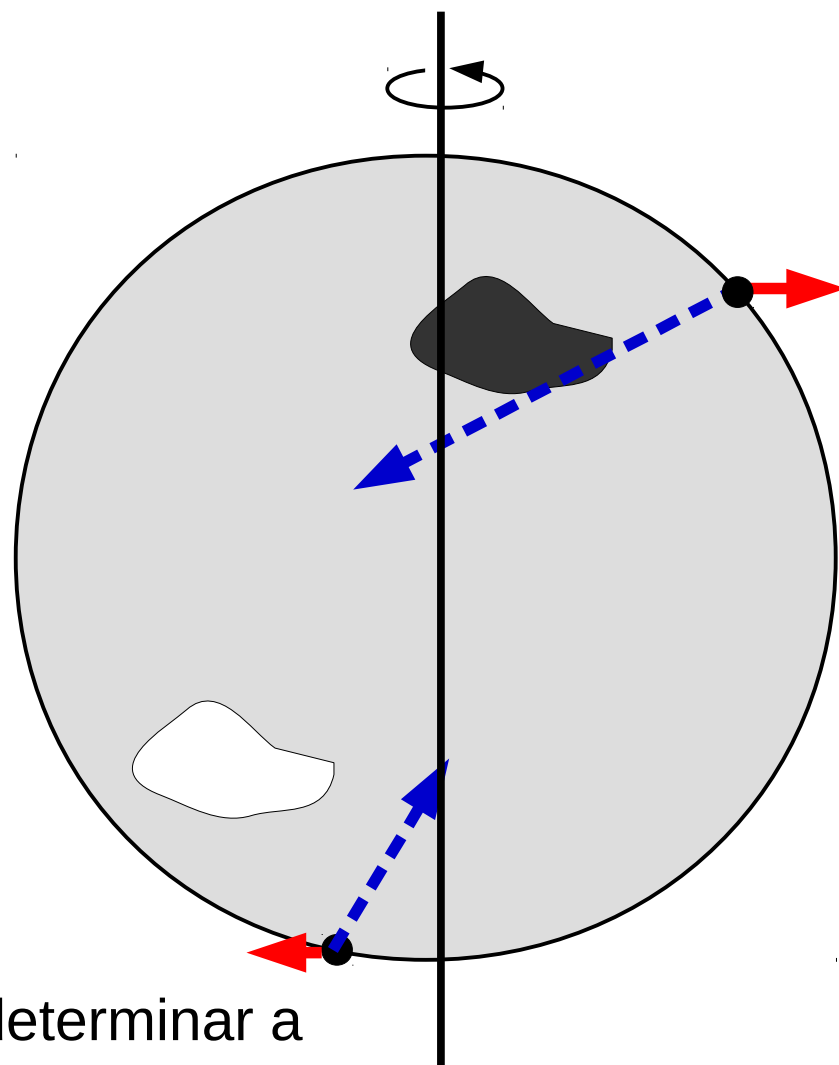
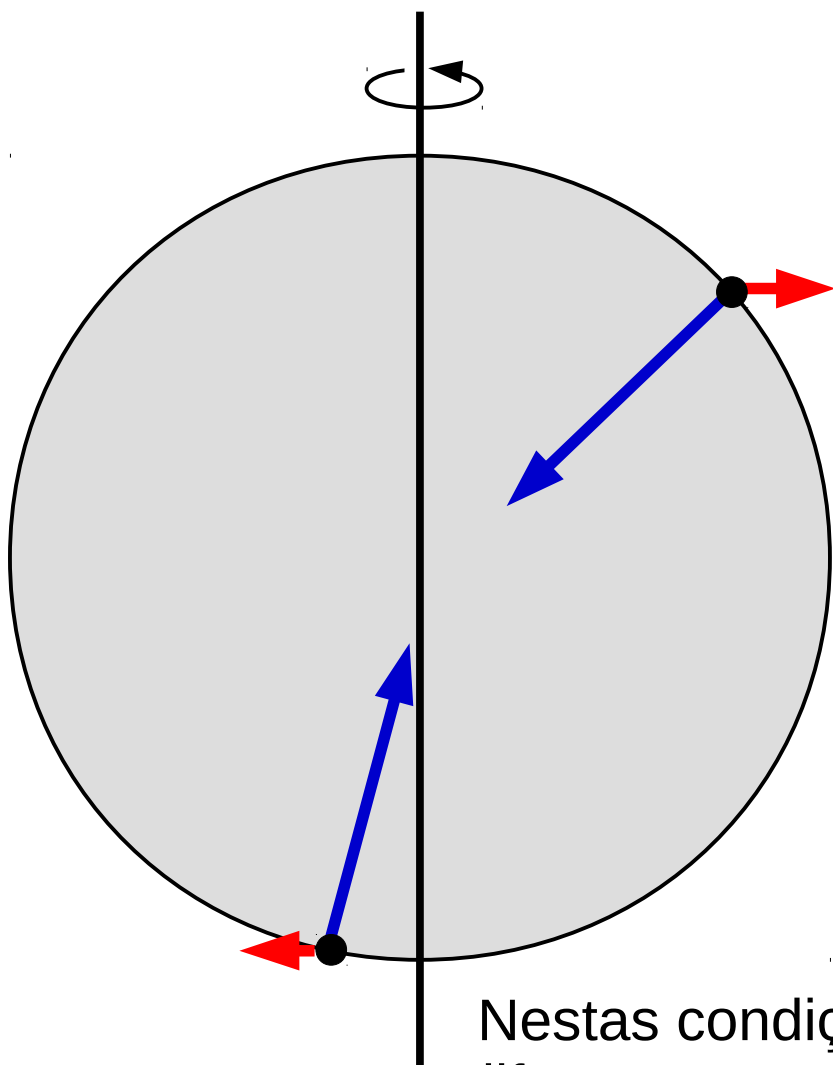
Em ambos os casos, a massa
total é a mesma



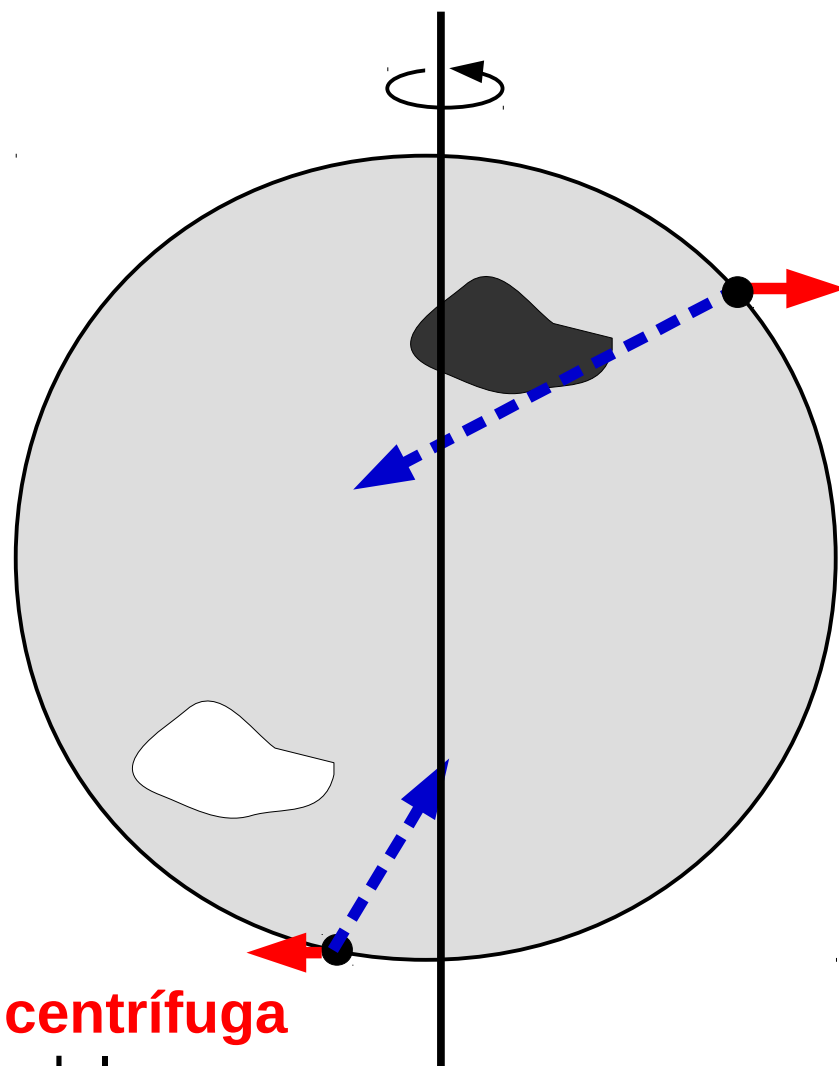
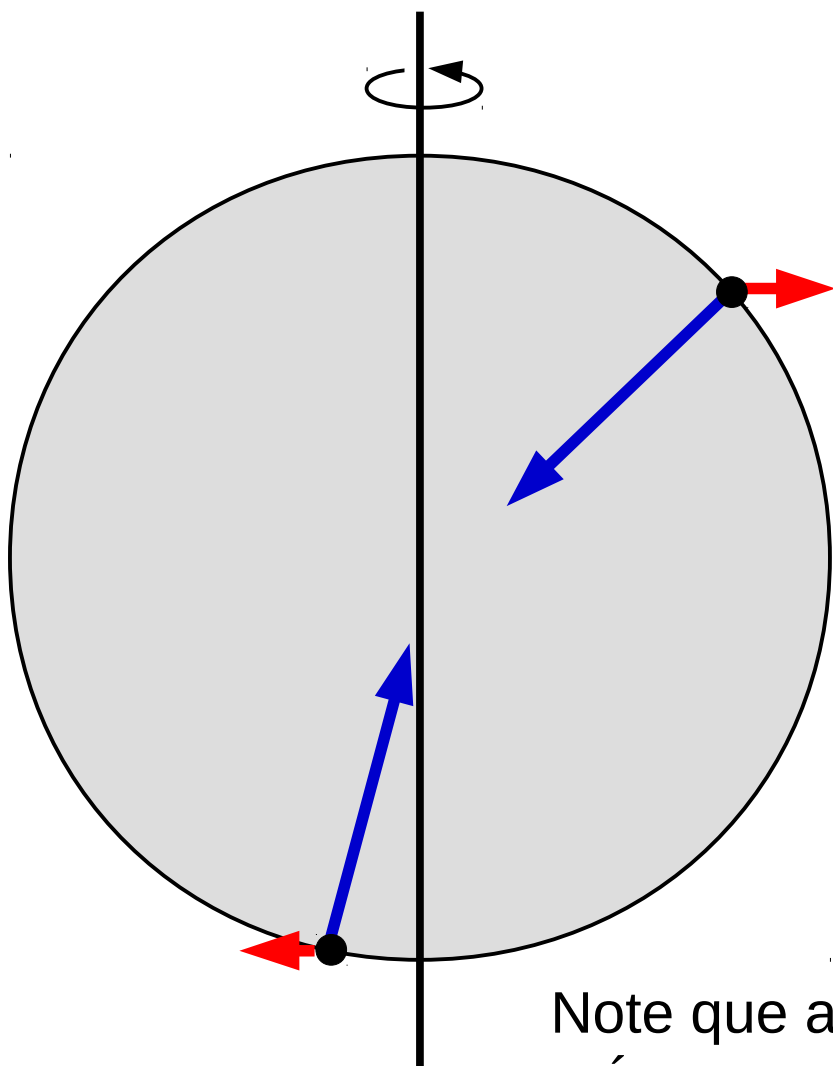
Em ambos os casos, a massa
total é a mesma



Considere que nos dois
casos a Terra gira com a
mesma velocidade angular
e, portanto, a componente
centrífuga é a mesma

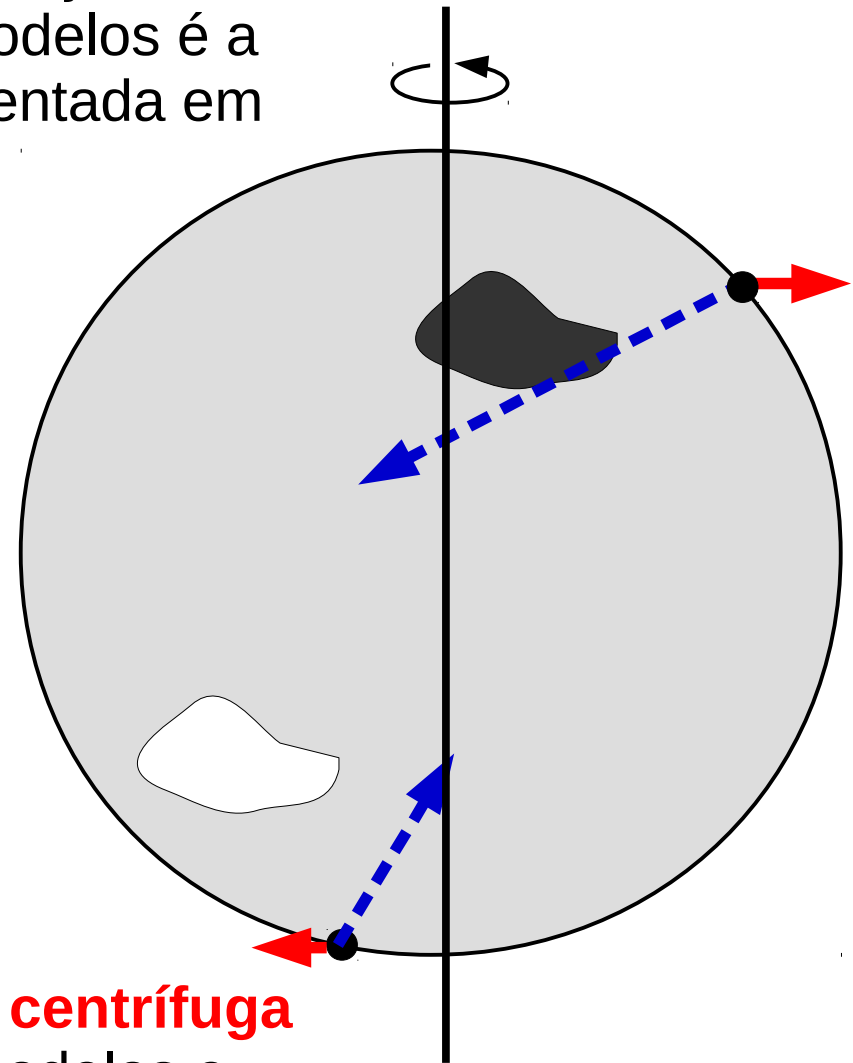
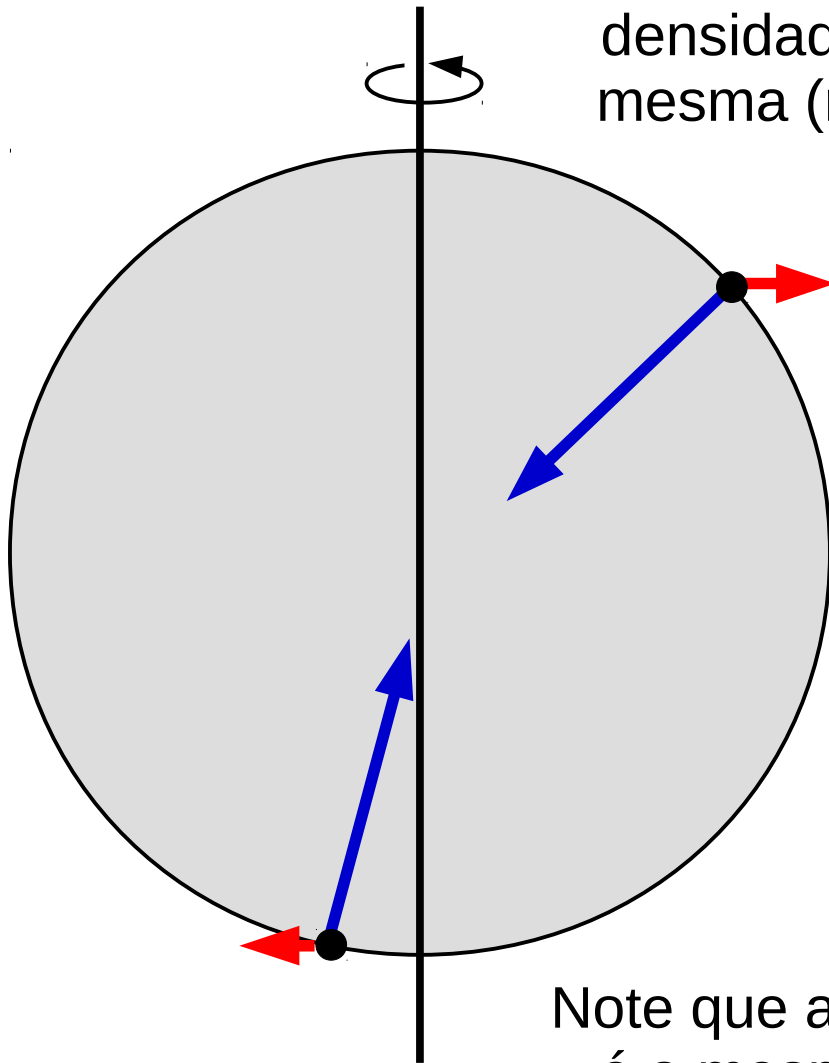


Nestas condições, vamos determinar a diferença, nos mesmos pontos, entre as componentes do vetor gravidade e também a diferença entre a distribuição de densidade dos dois modelos

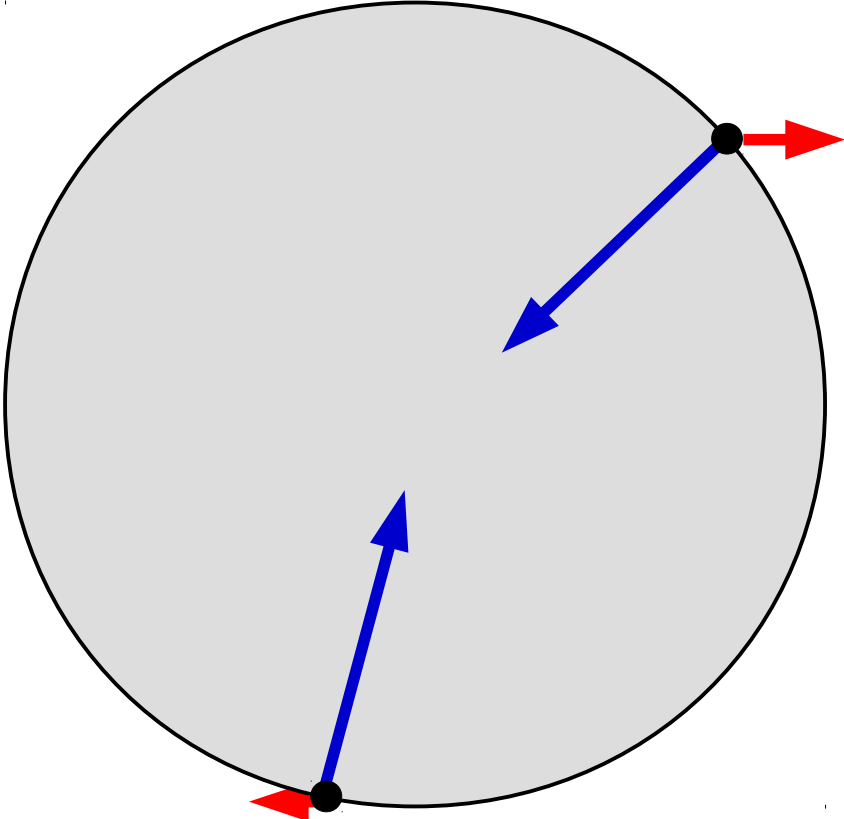


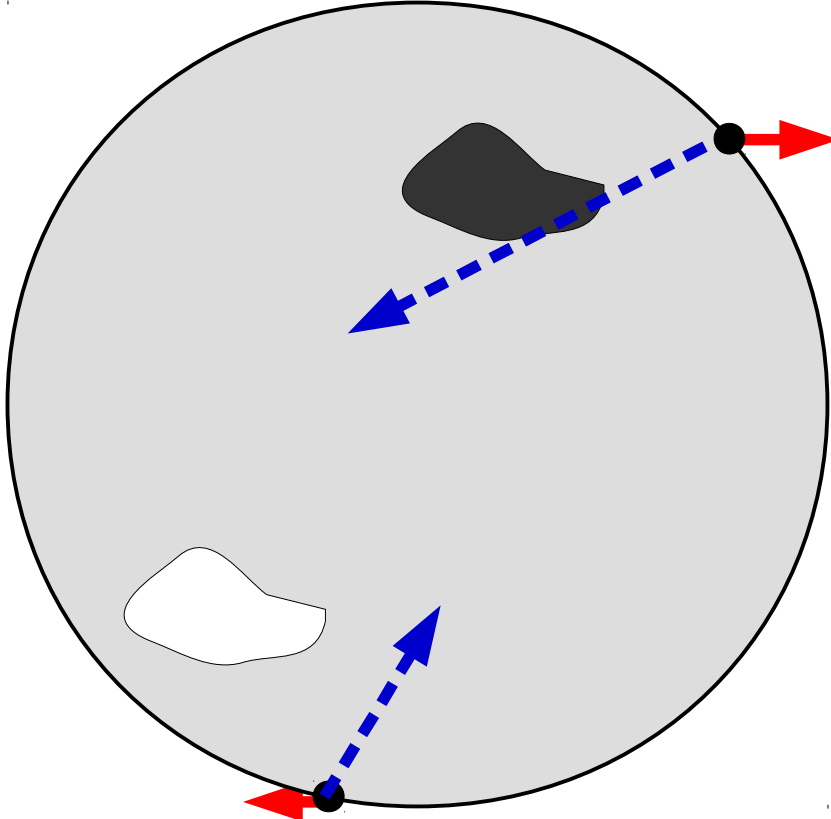
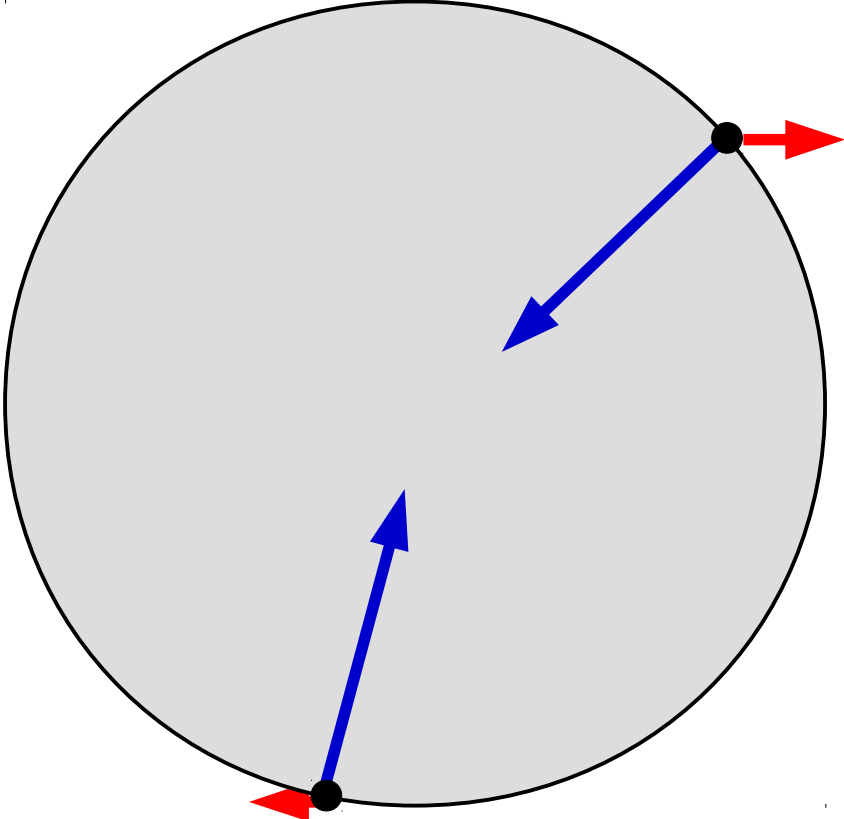
Note que a componente **centrífuga** é a mesma nos dois modelos e, portanto, elas se cancelam. O que resta é uma diferença entre as componentes gravitacionais.

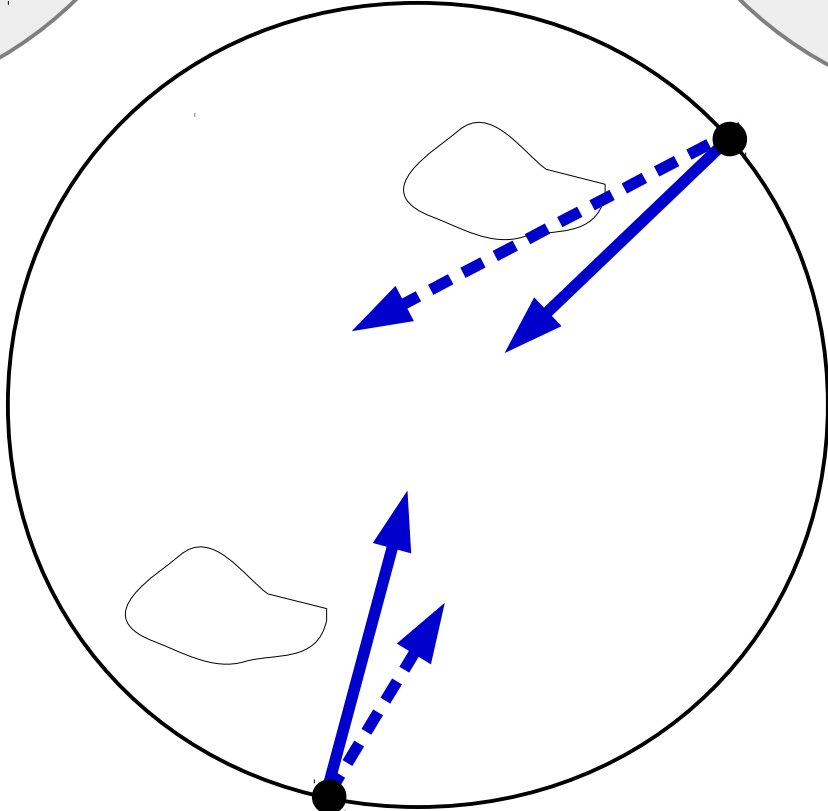
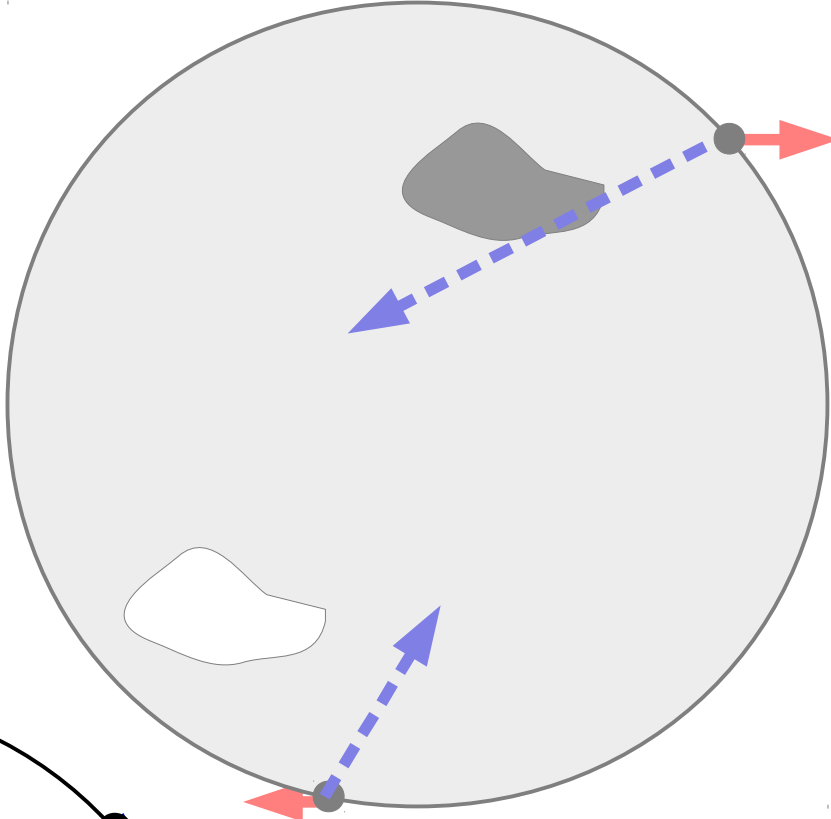
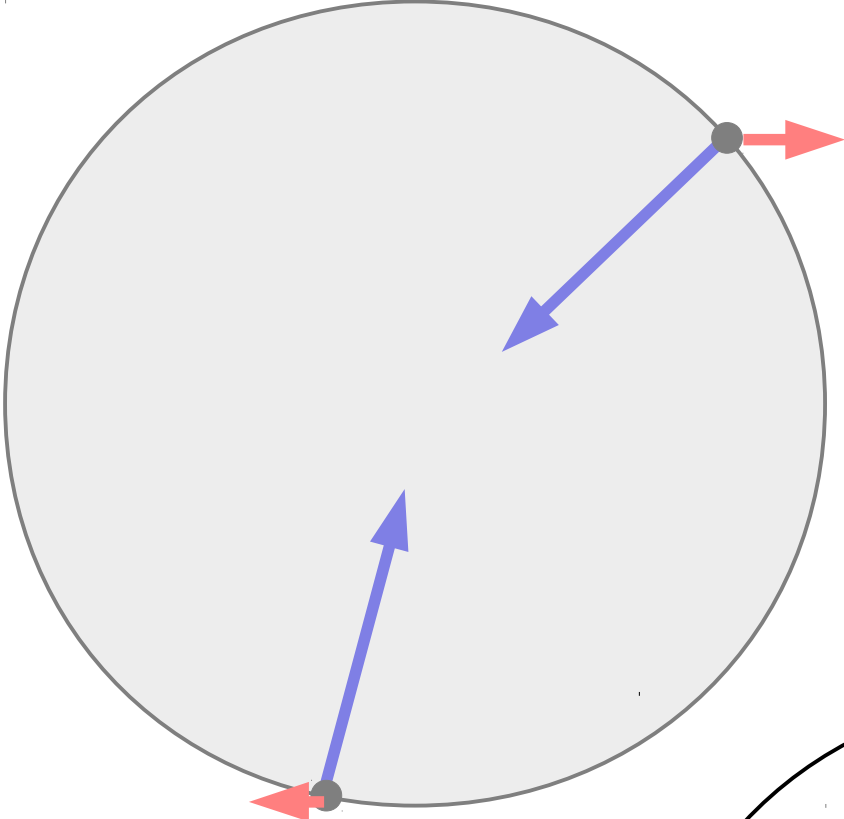
Note também que, exceto nas regiões em que a massa foi redistribuída, a distribuição de densidade nos dois modelos é a mesma (região representada em cinza claro)

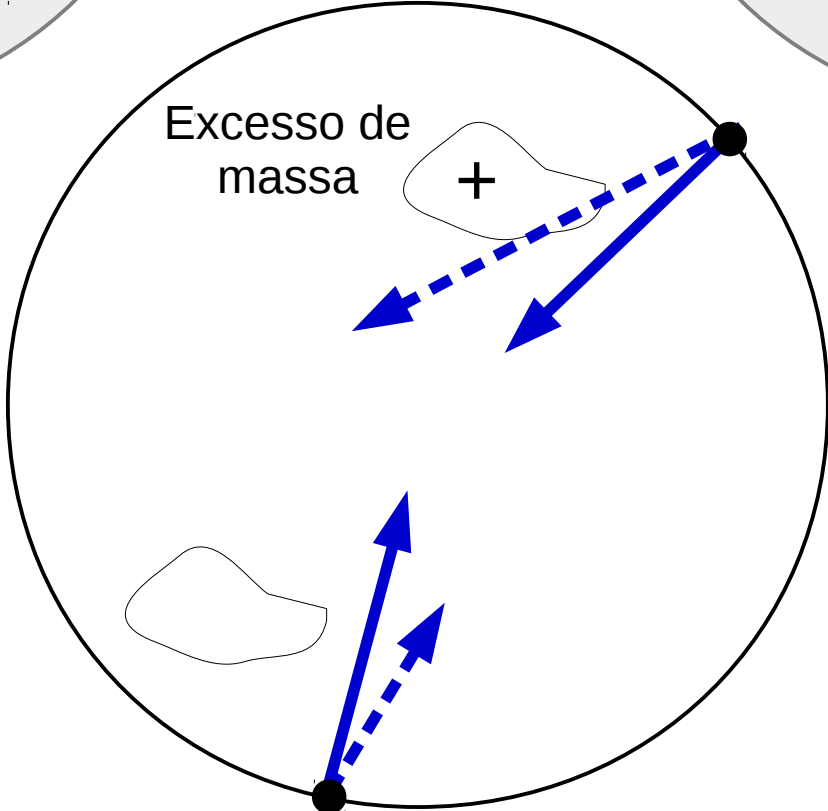
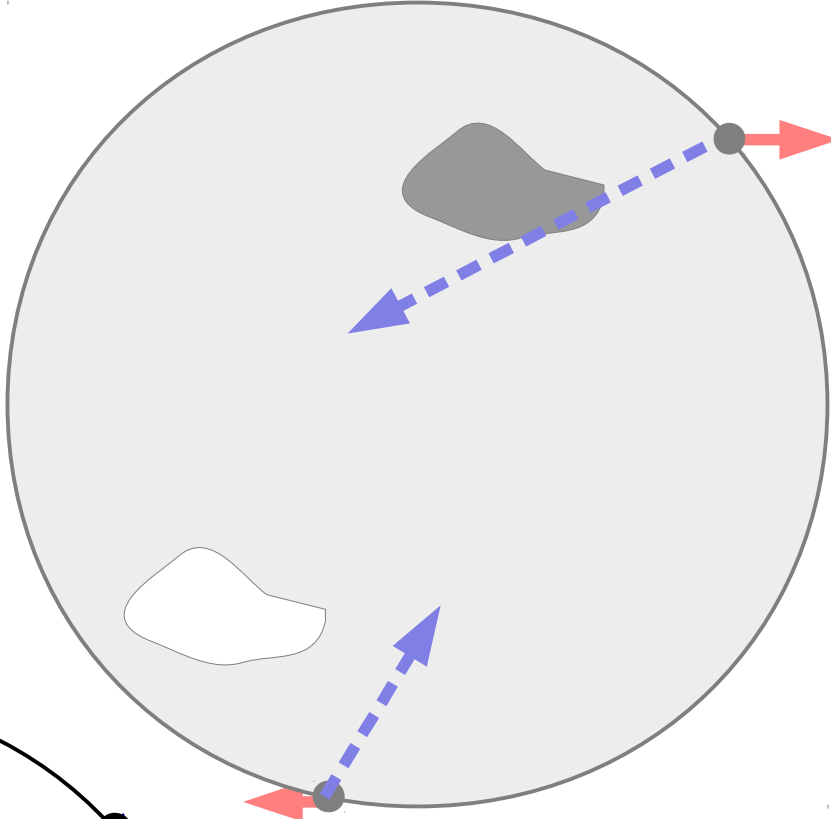
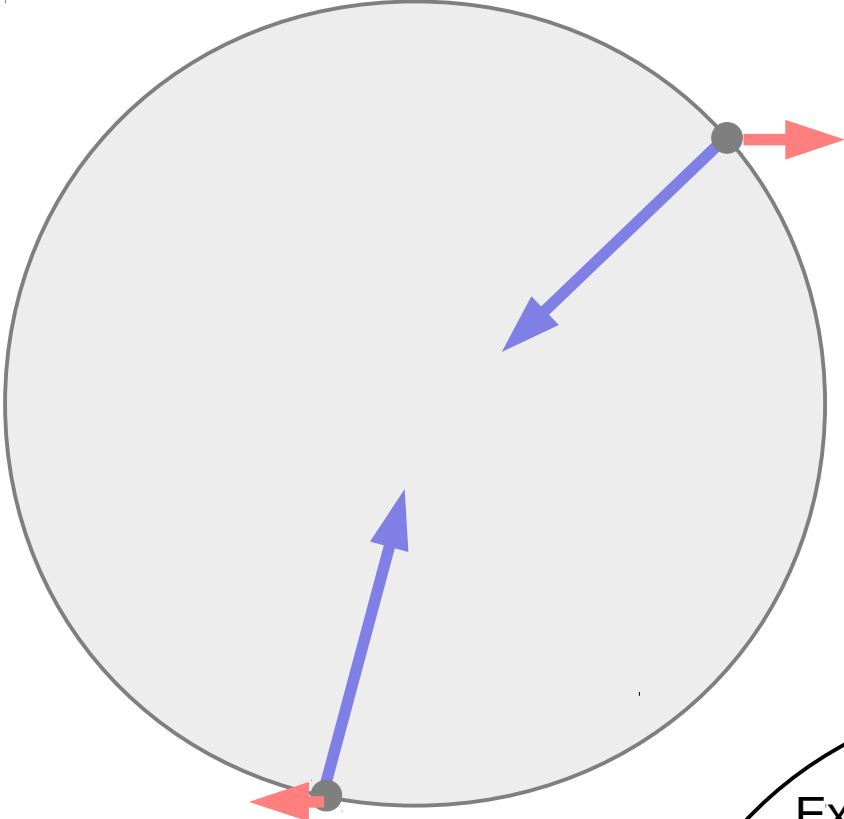


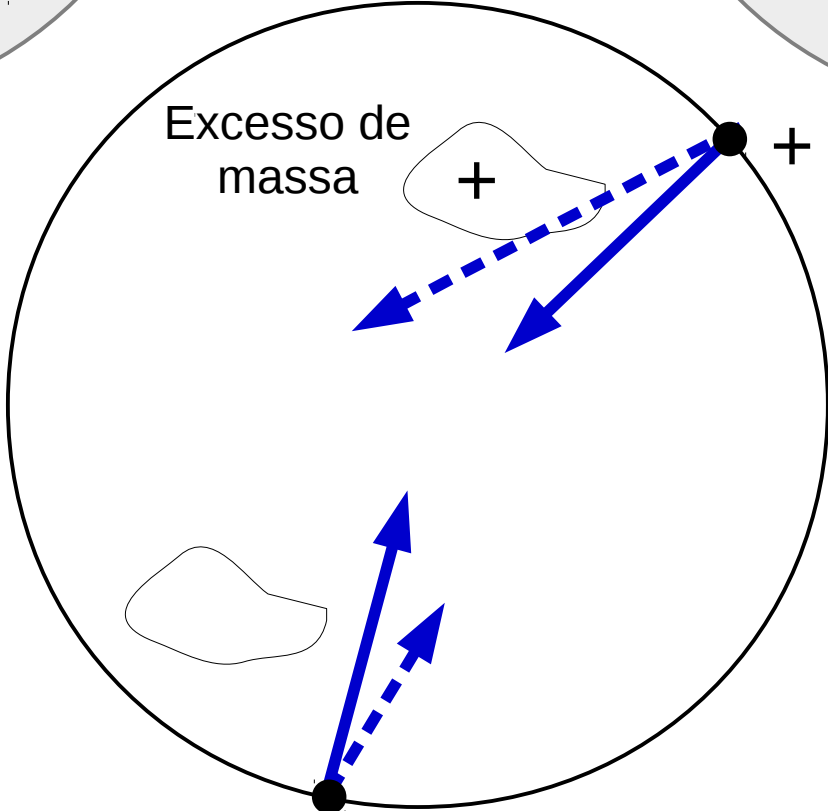
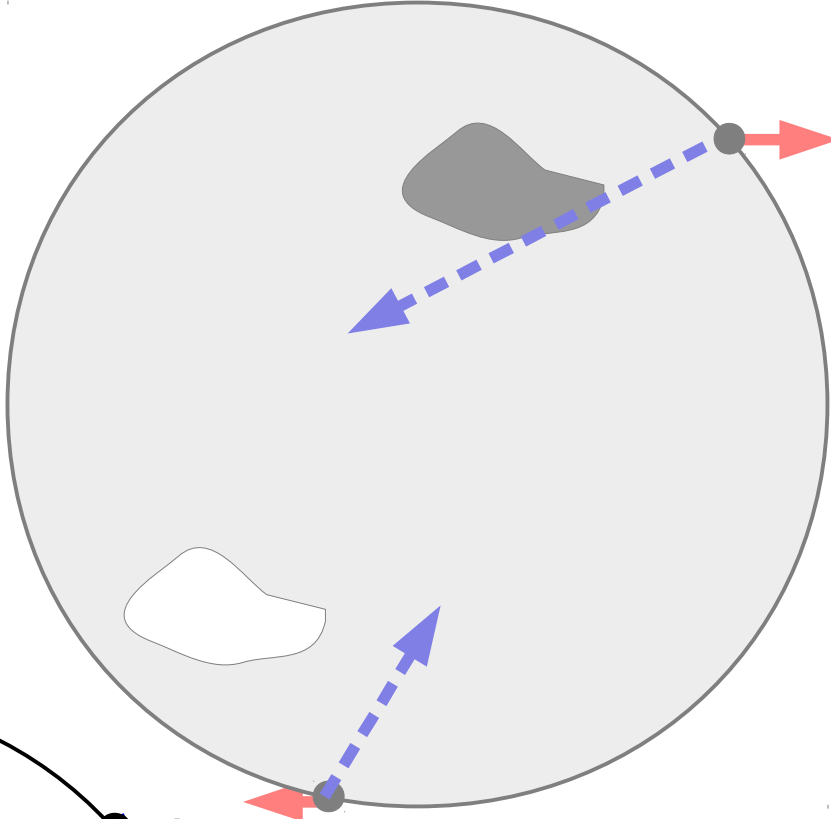
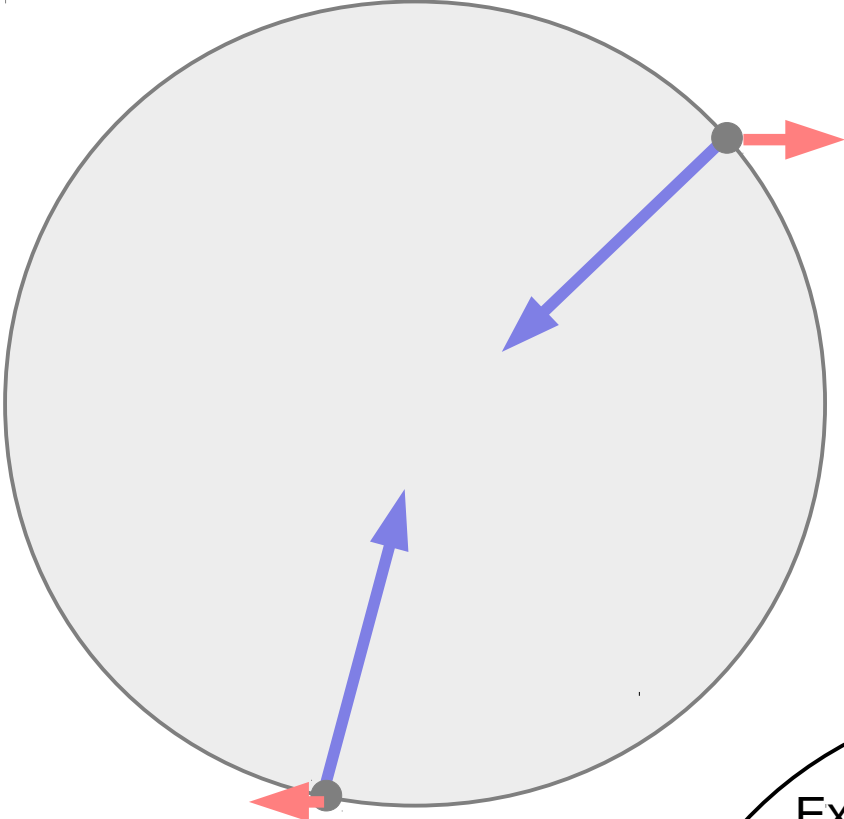
Note que a componente **centrífuga** é a mesma nos dois modelos e, portanto, elas se cancelam. O que resta é uma diferença entre as componentes gravitacionais.









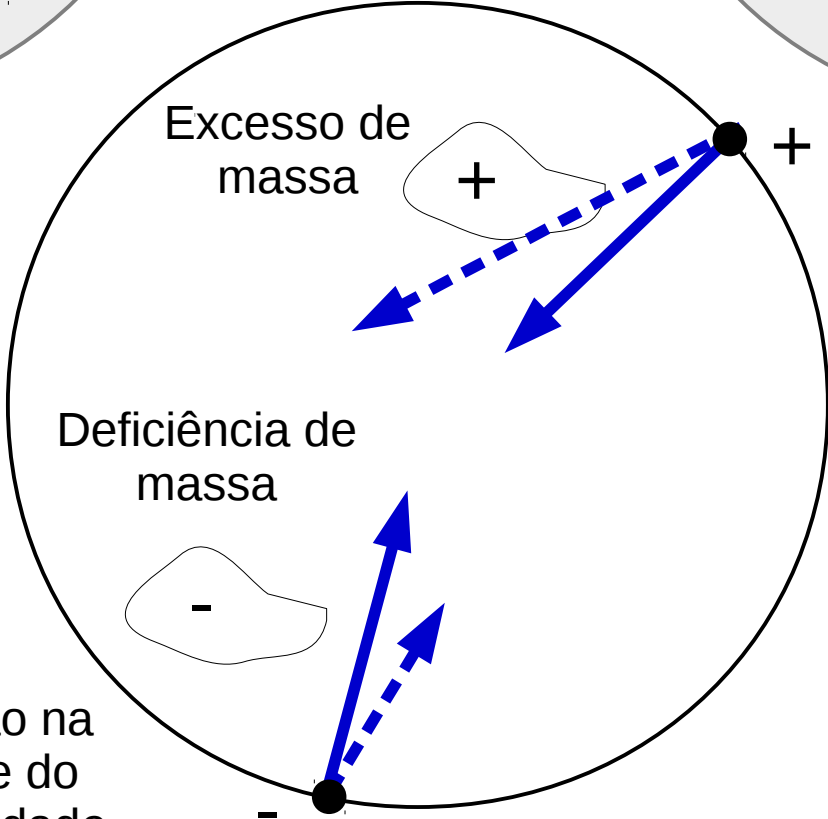
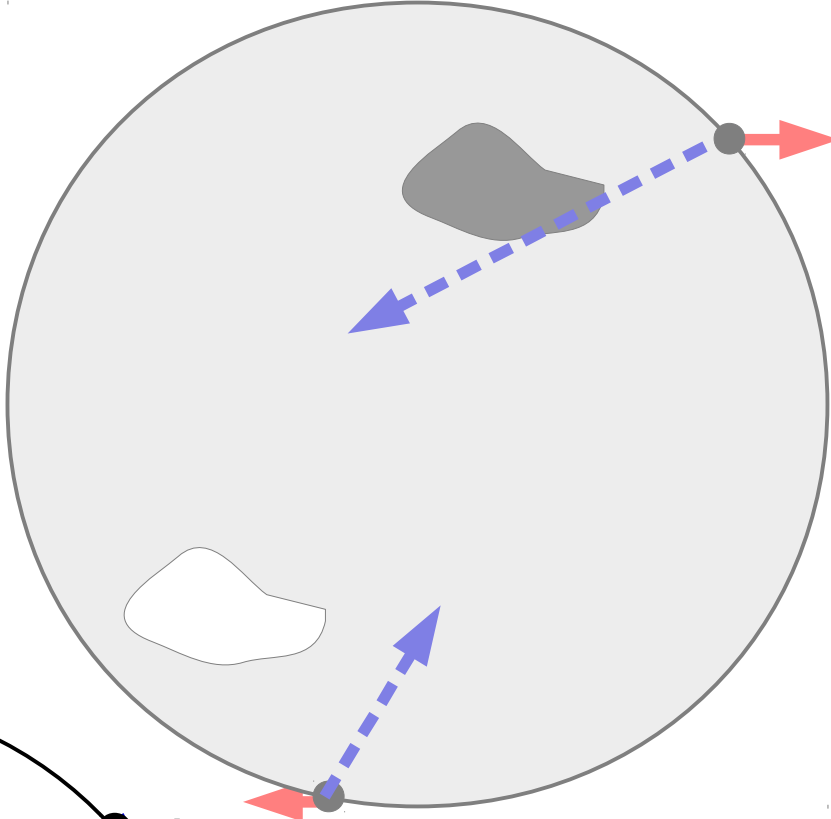
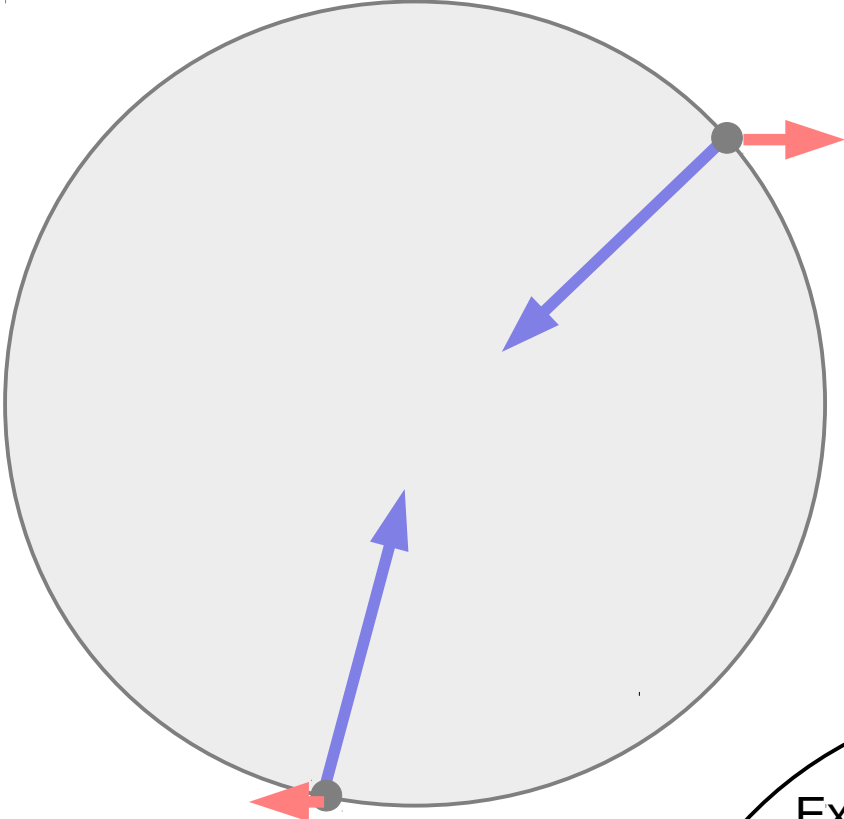


Excesso de
massa

+

+

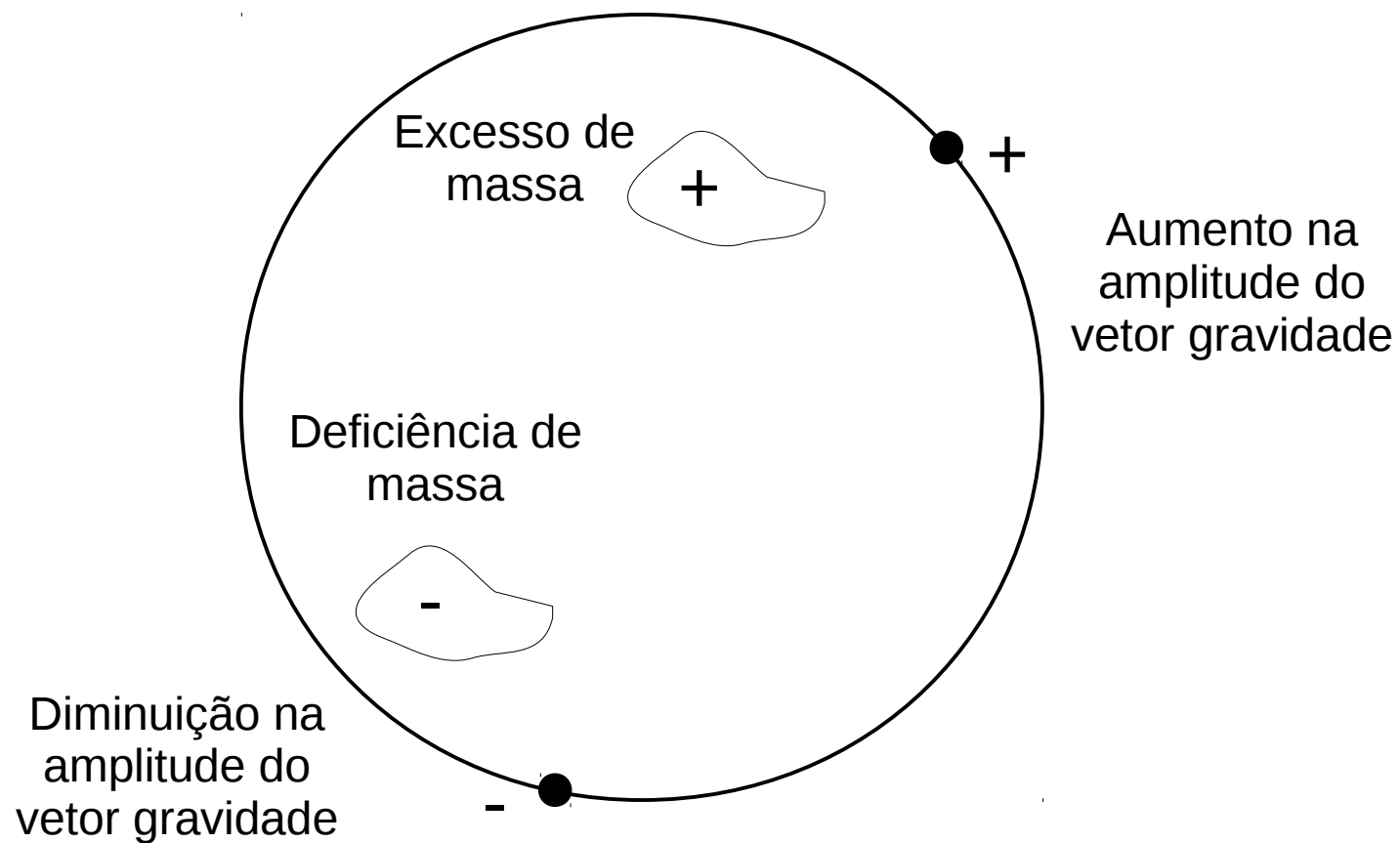
Aumento na
amplitude do
vetor gravidade



Aumento na
amplitude do
vetor gravidade

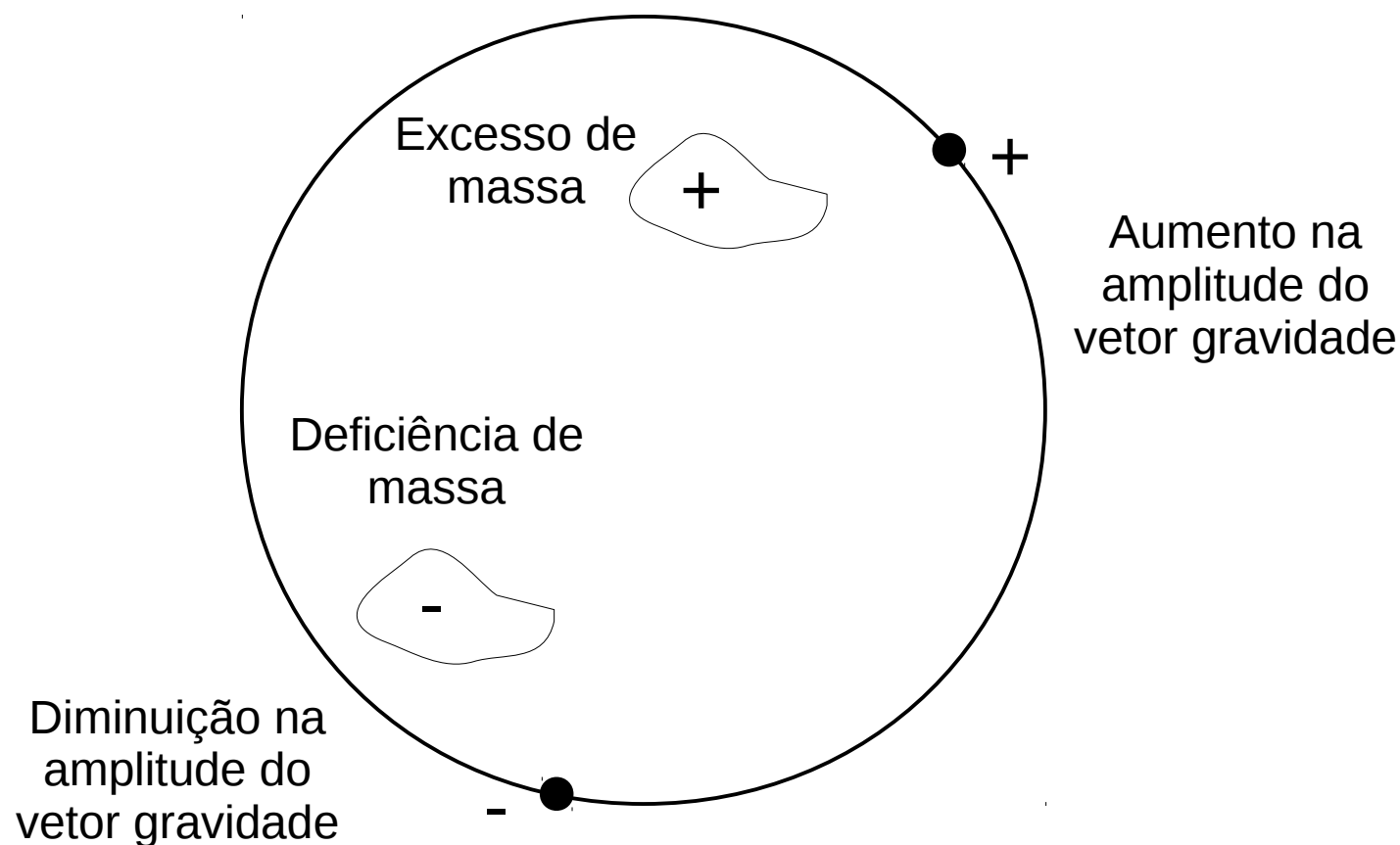
Diminuição na
amplitude do
vetor gravidade

Existe um modelo de
Terra que é similar a
este modelo com
densidade constante



Existe um modelo de Terra que é similar a este modelo com densidade constante

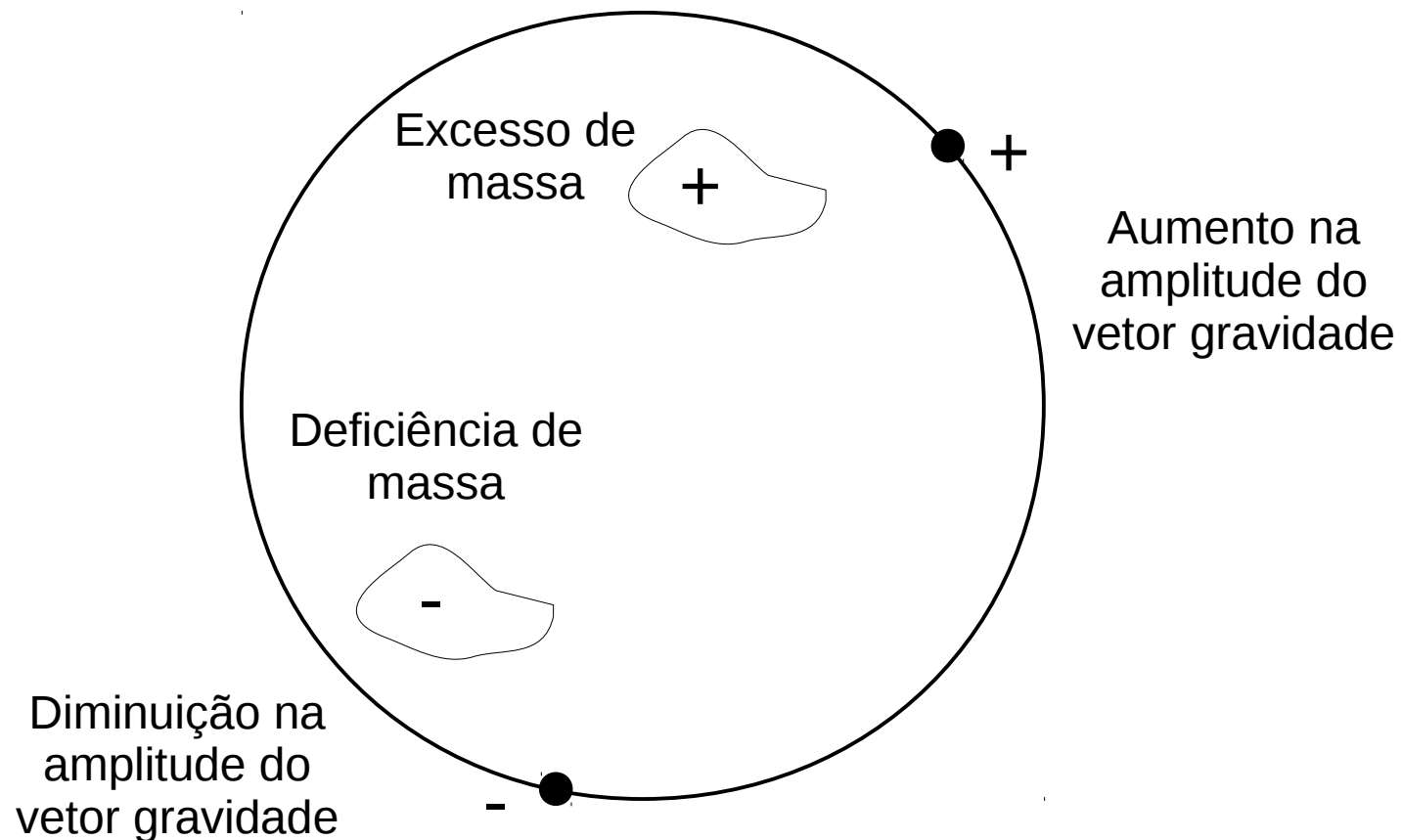
Este modelo possui a mesma massa da Terra verdadeira, a mesma velocidade angular e é uma ótima aproximação para forma da Terra



Existe um modelo de Terra que é similar a este modelo com densidade constante

Ele é denominado Modelo de Terra Normal e a gravidade produzida por este modelo é denominada gravidade normal

Este modelo possui a mesma massa da Terra verdadeira, a mesma velocidade angular e é uma ótima aproximação para forma da Terra

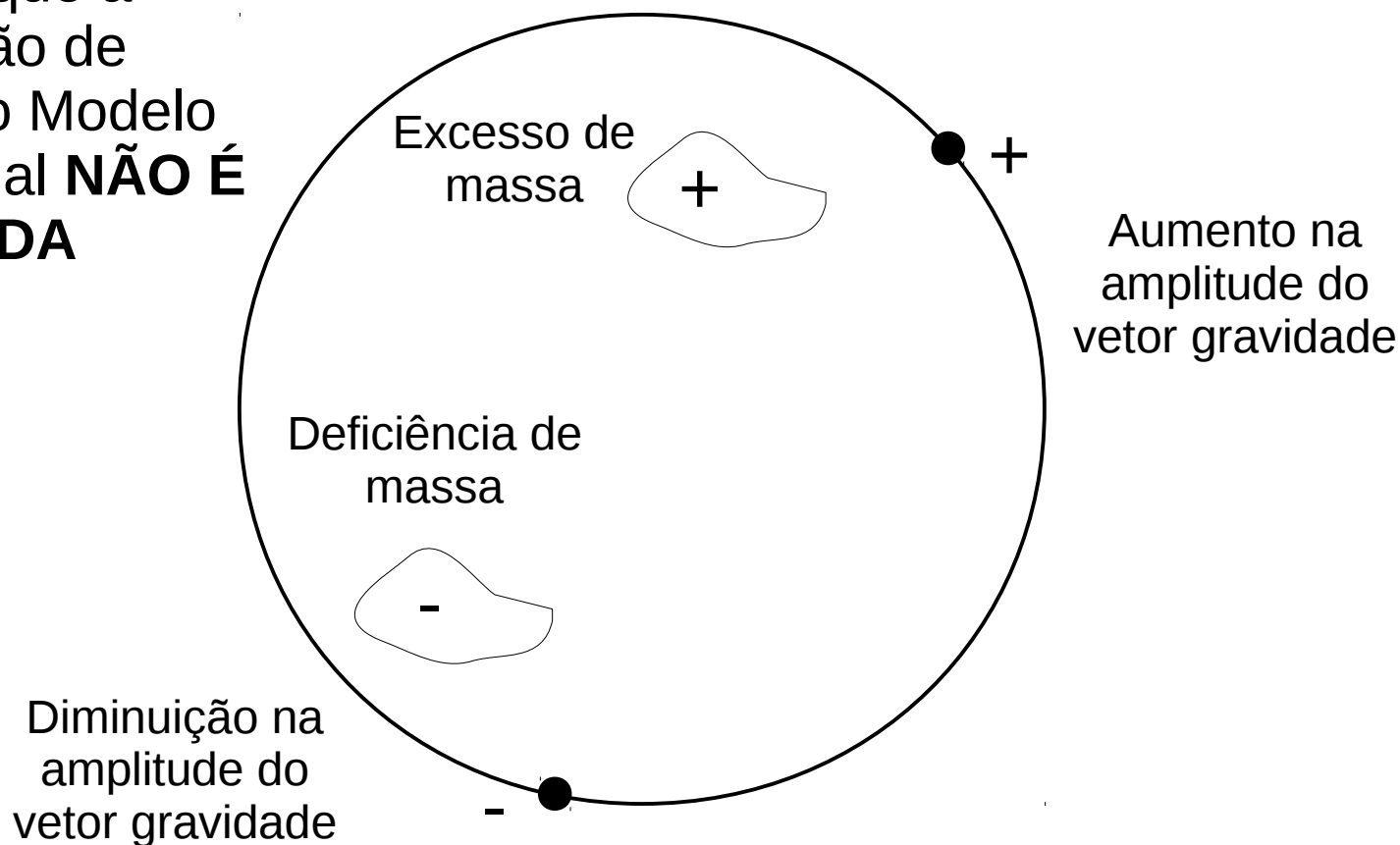


Existe um modelo de Terra que é similar a este modelo com densidade constante

Ele é denominado Modelo de Terra Normal e a gravidade produzida por este modelo é denominada gravidade normal

Este modelo possui a mesma massa da Terra verdadeira, a mesma velocidade angular e é uma ótima aproximação para forma da Terra

É importante ressaltar, contudo, que a distribuição de densidade no Modelo de Terra Normal **NÃO É DEFINIDA**

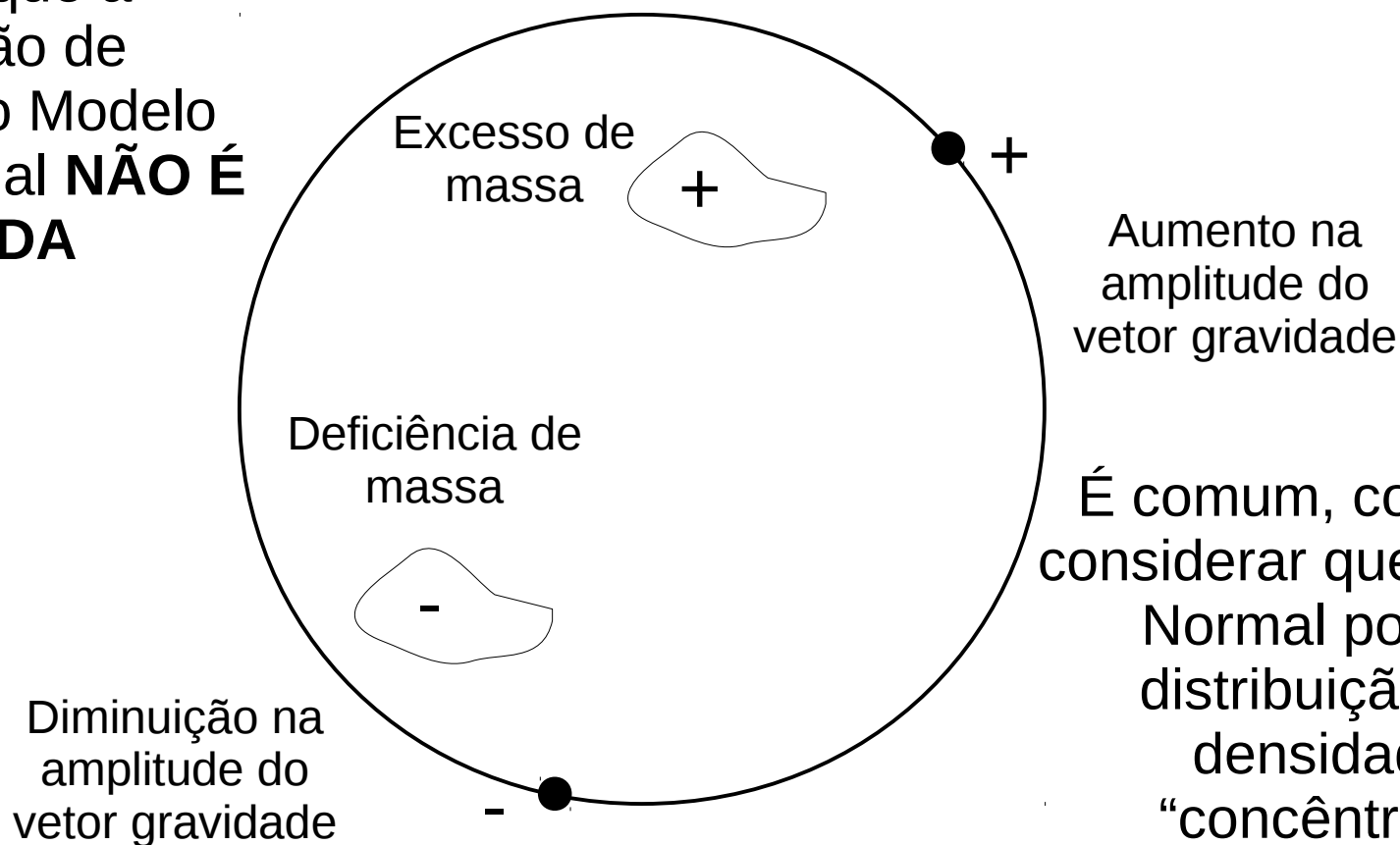


Existe um modelo de Terra que é similar a este modelo com densidade constante

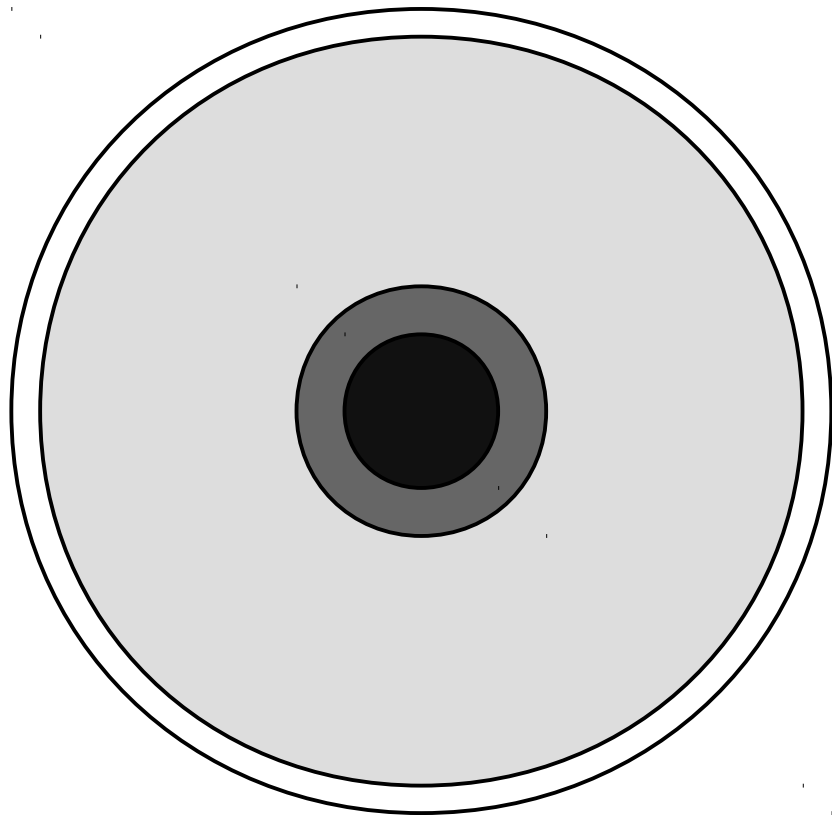
Ele é denominado Modelo de Terra Normal e a gravidade produzida por este modelo é denominada gravidade normal

Este modelo possui a mesma massa da Terra verdadeira, a mesma velocidade angular e é uma ótima aproximação para forma da Terra

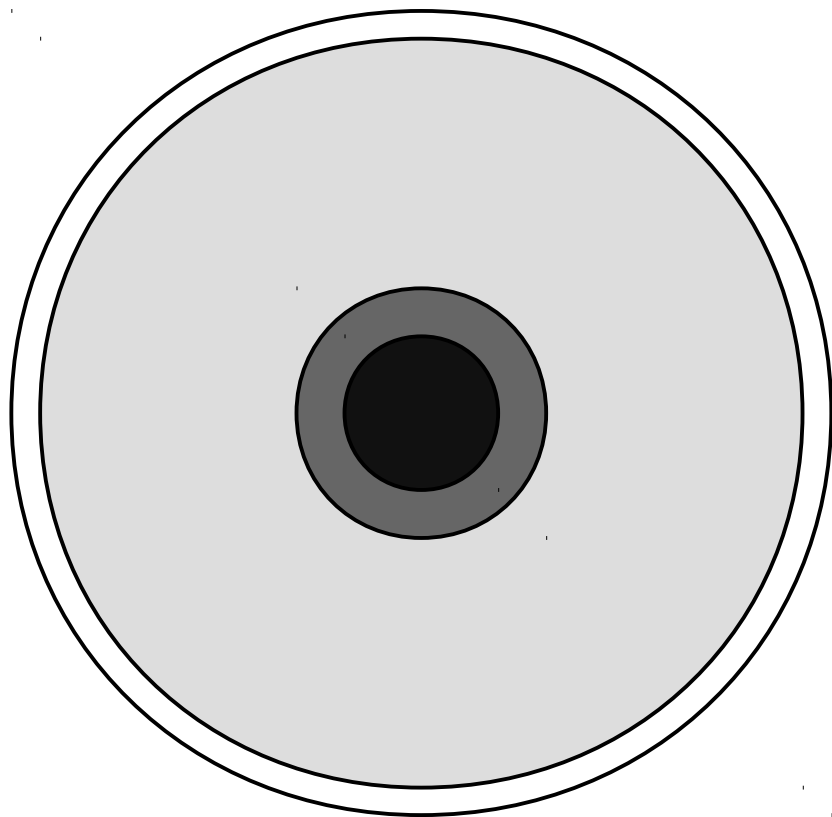
É importante ressaltar, contudo, que a distribuição de densidade no Modelo de Terra Normal **NÃO É DEFINIDA**



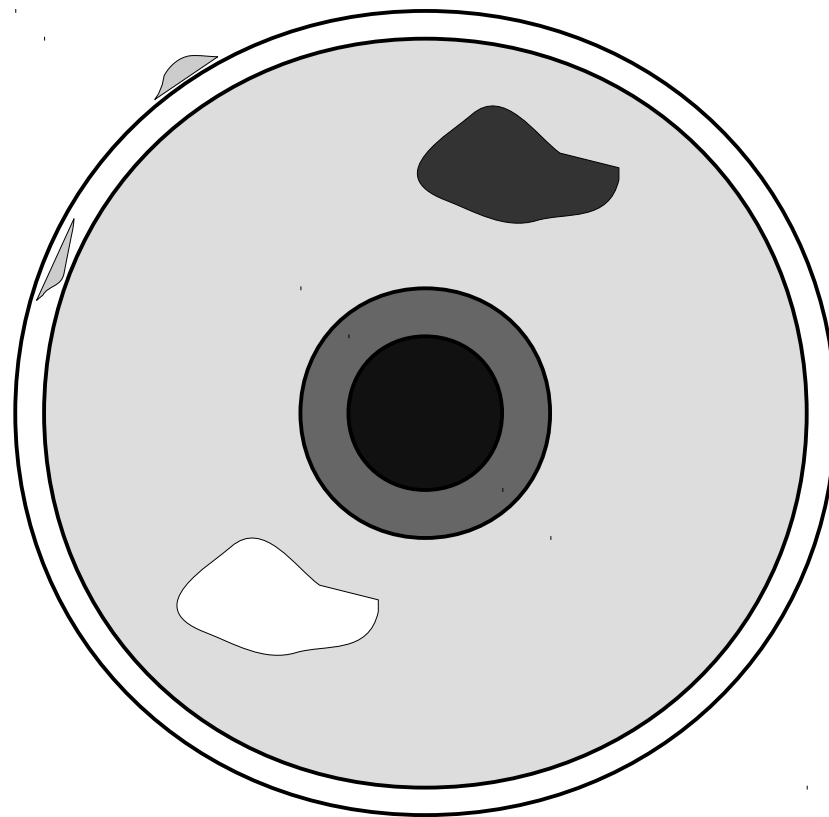
É comum, contudo, considerar que a Terra Normal possui distribuição de densidade “concêntrica”



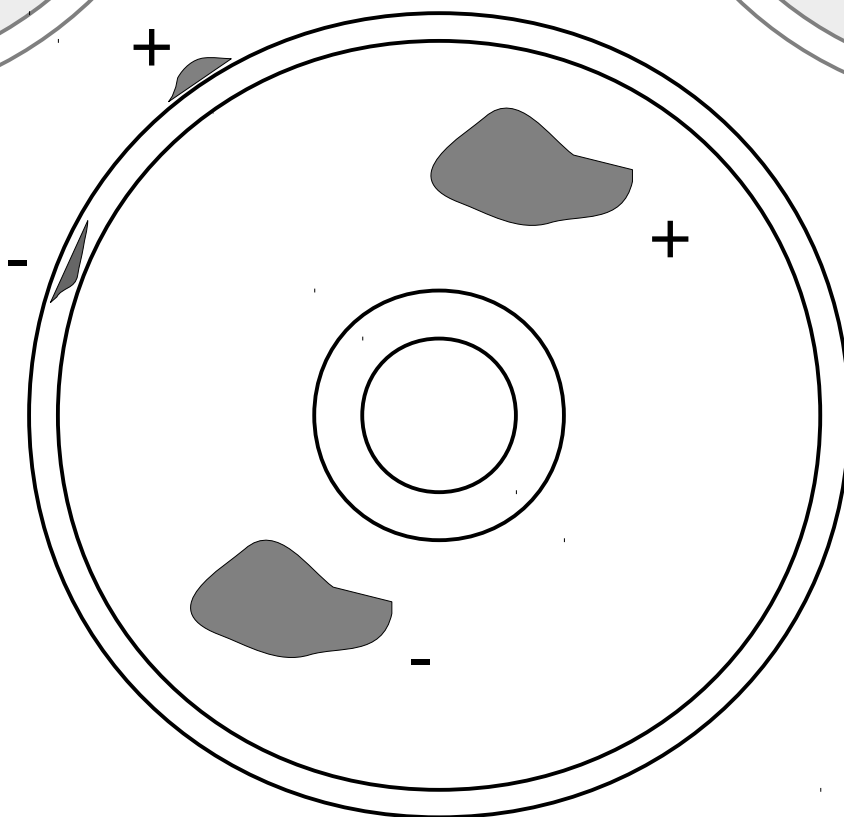
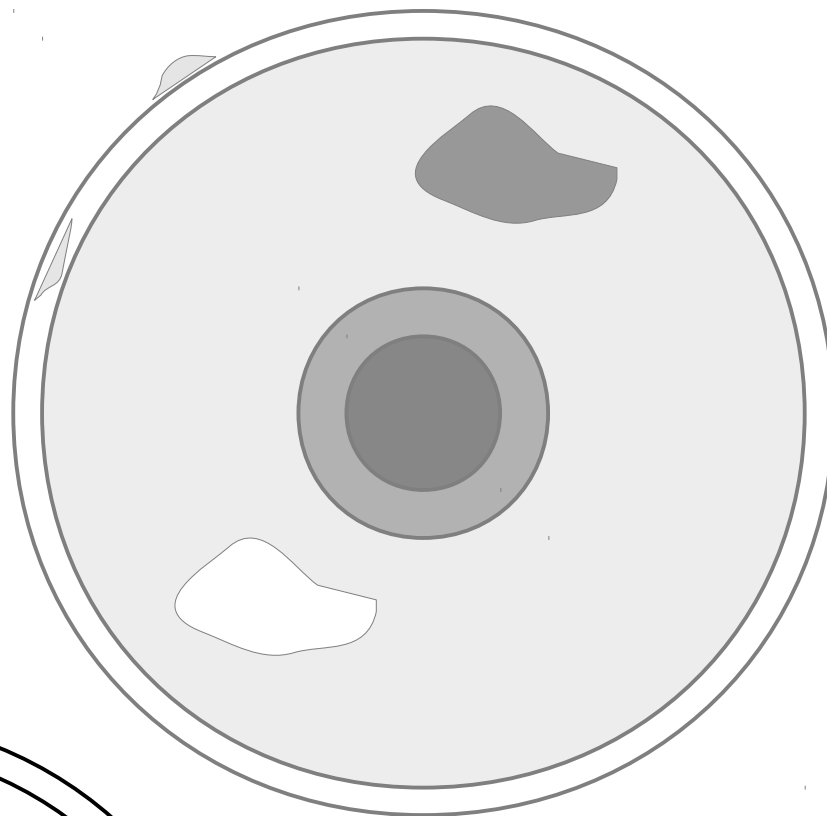
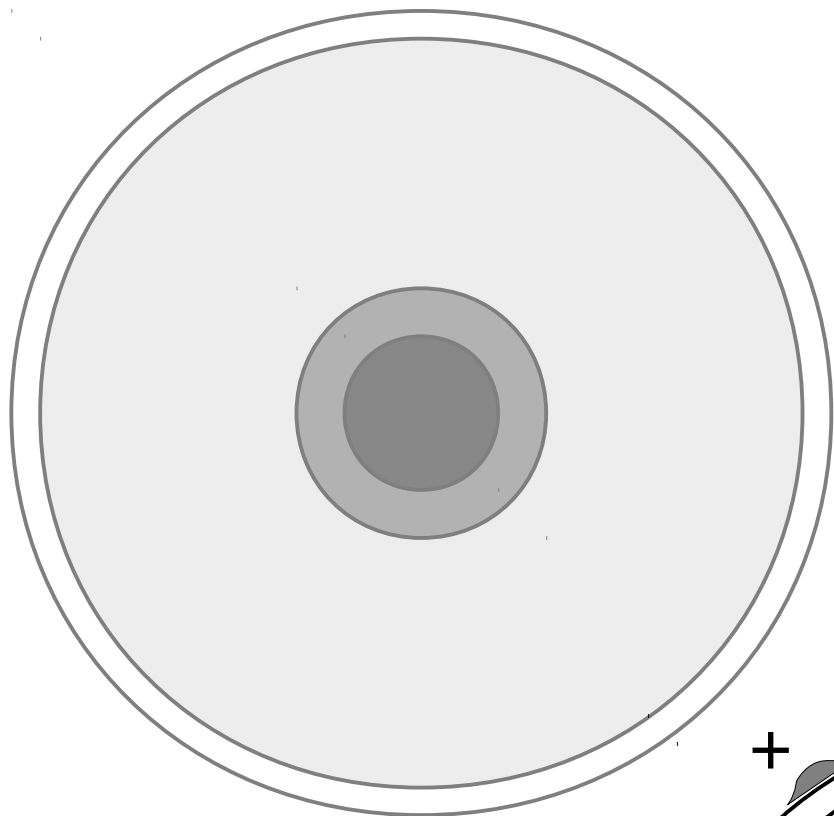
Terra Normal

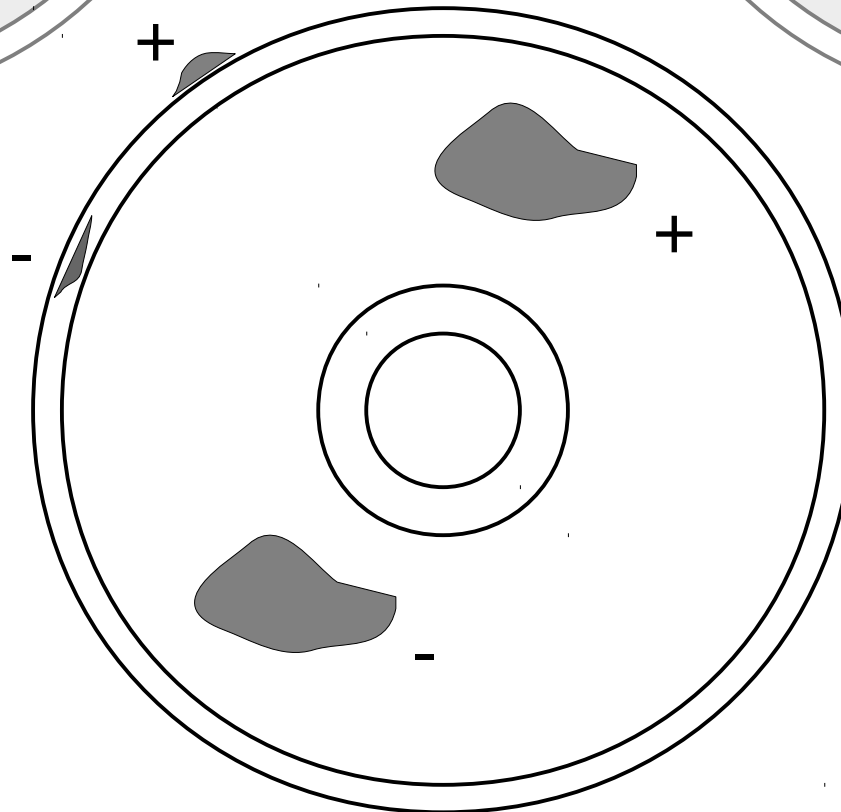
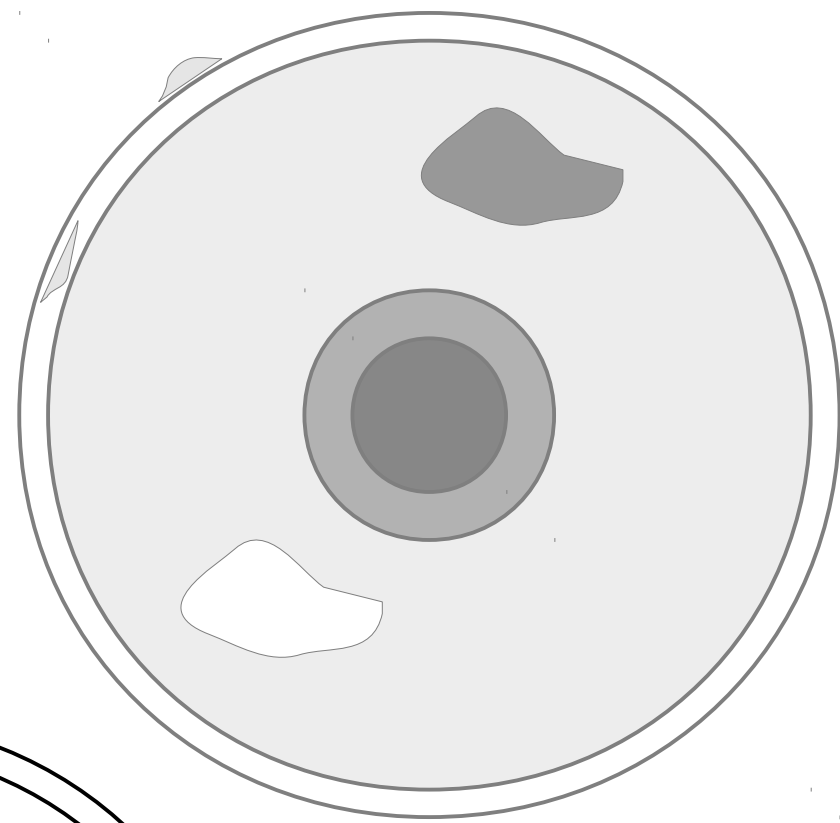
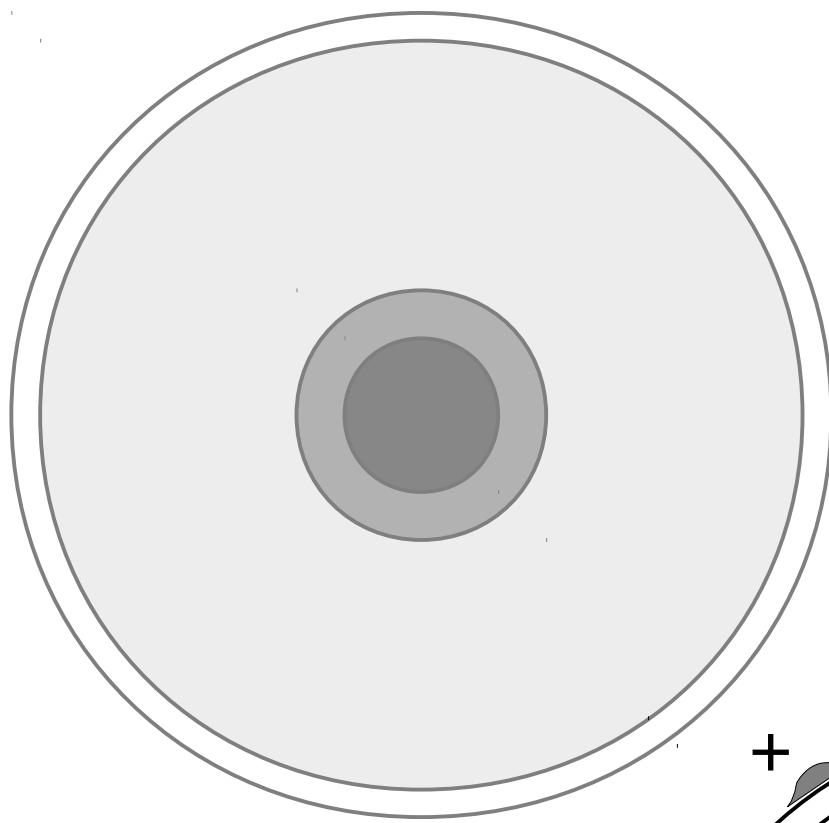


Terra Normal

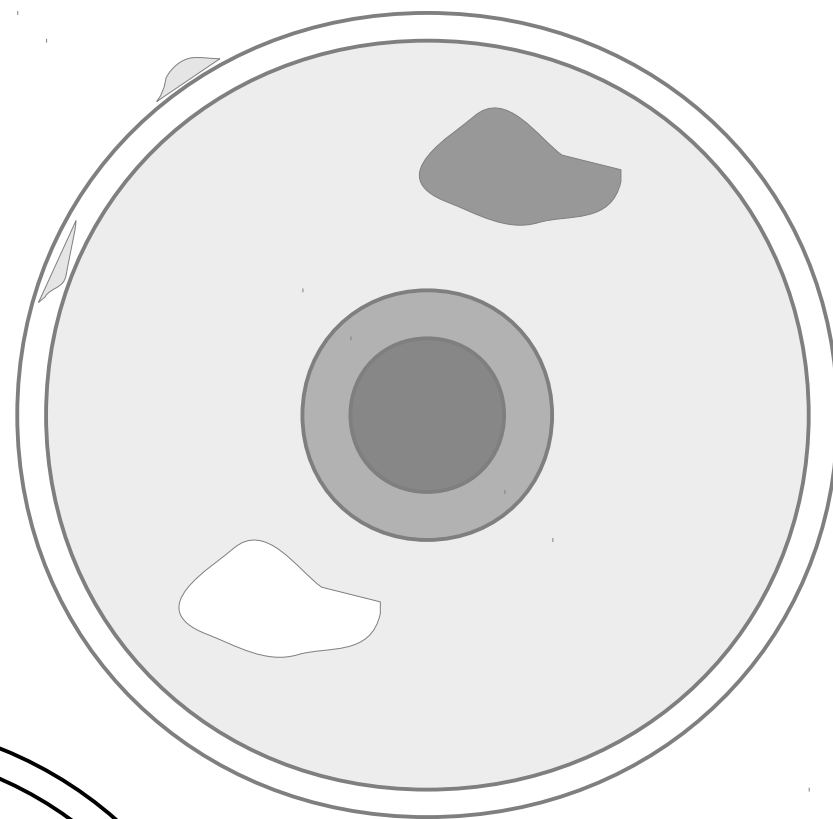
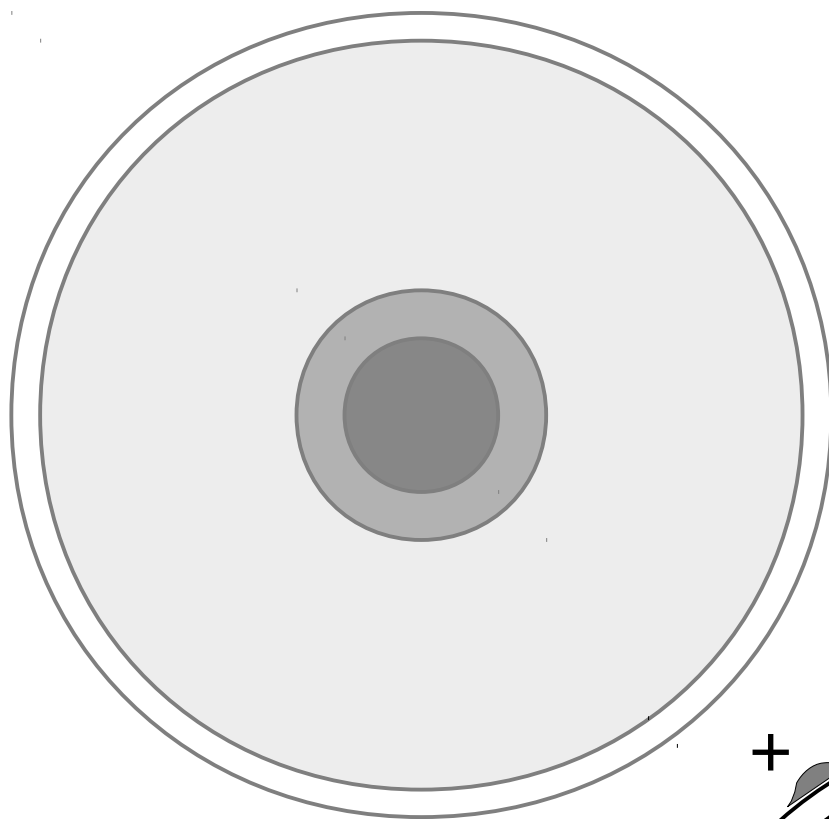


Terra verdadeira

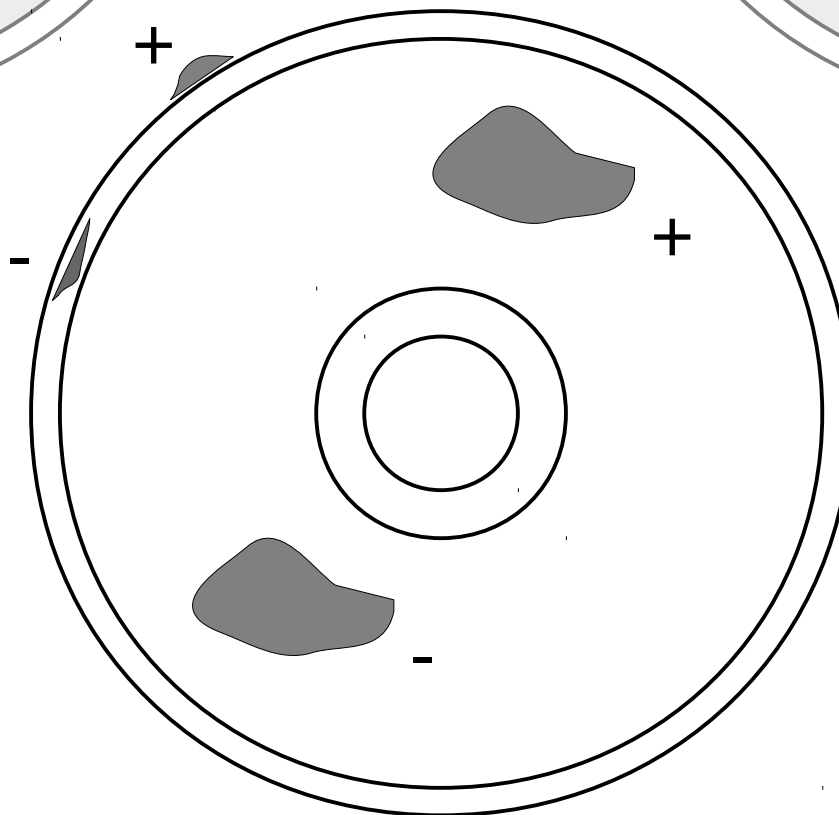




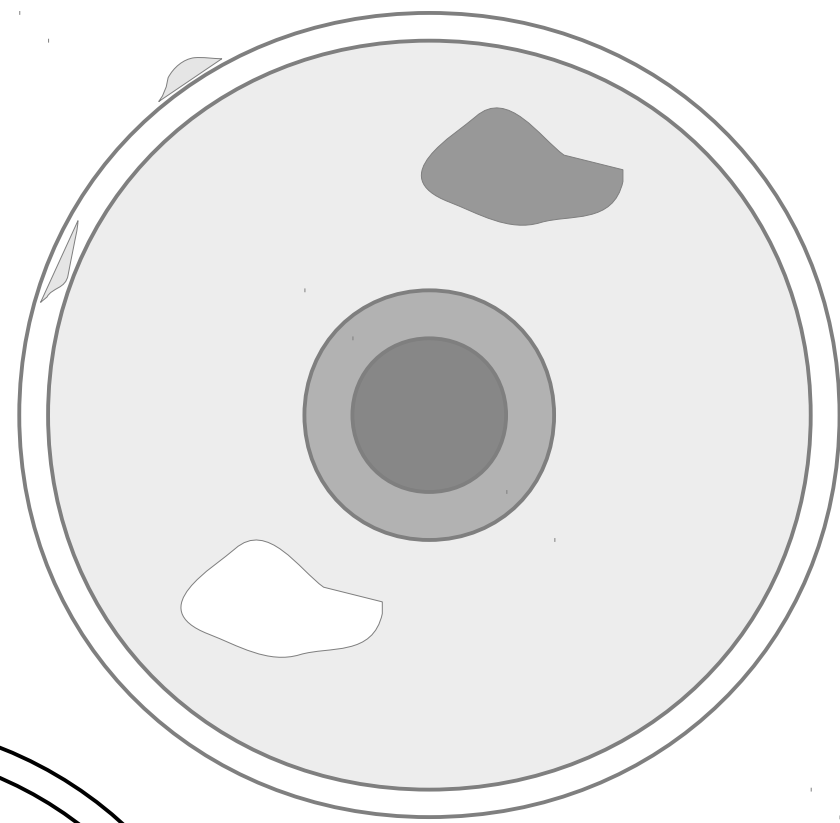
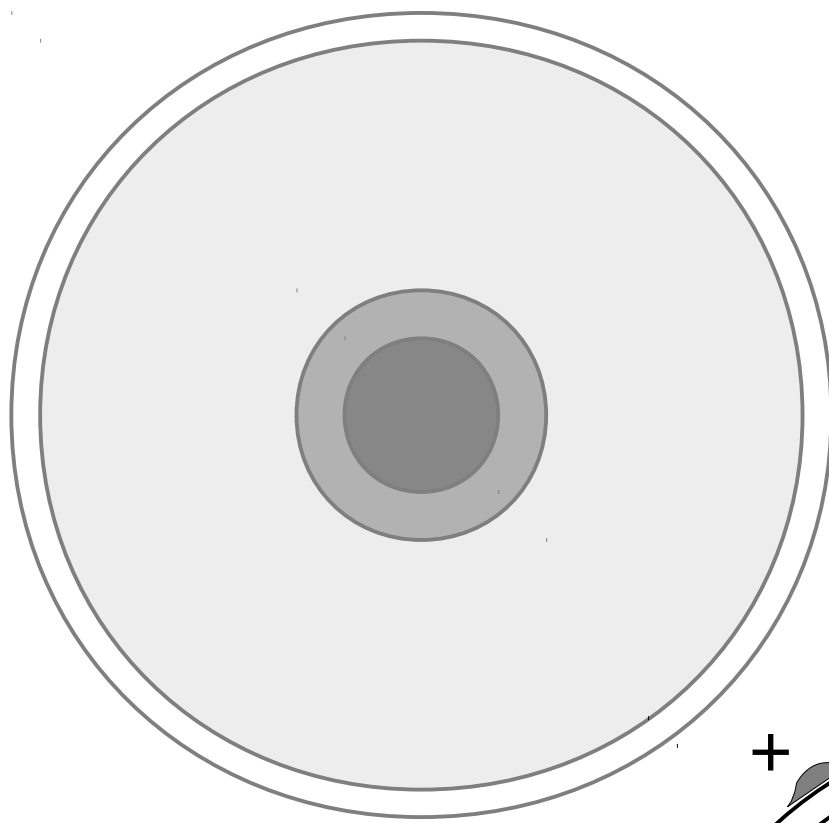
A diferença entre a
gravidade medida e
a gravidade normal
calculada no mesmo
ponto é denominada
**distúrbio de
gravidade**
(Hofmann-Wellenhof
and Moritz, 2005)



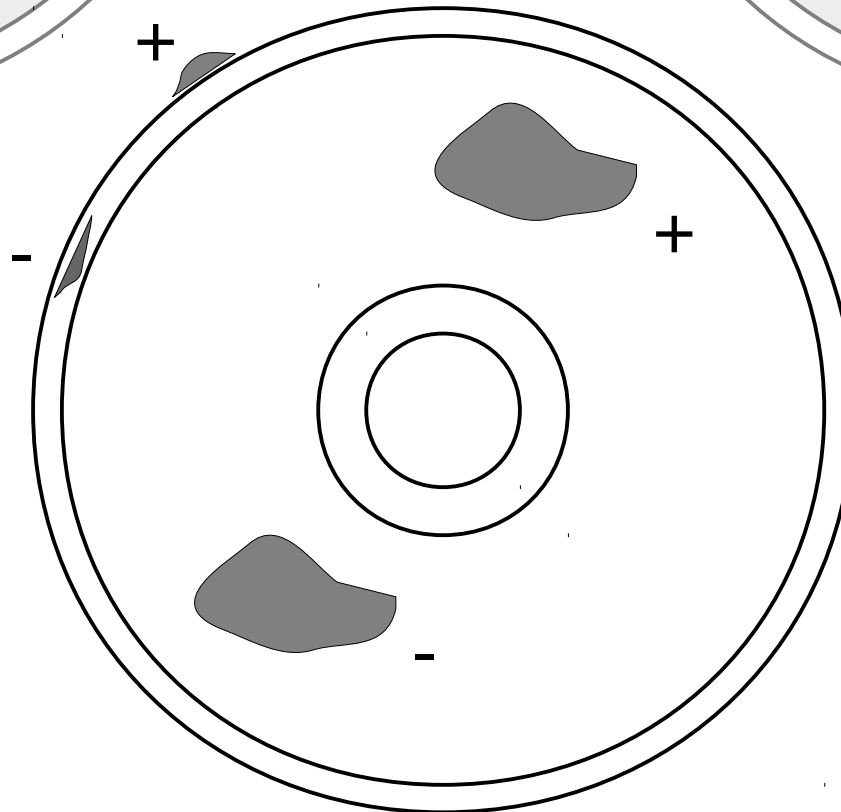
A diferença entre a gravidade medida e a gravidade normal calculada no mesmo ponto é denominada **distúrbio de gravidade** (Hofmann-Wellenhopf and Moritz, 2005)



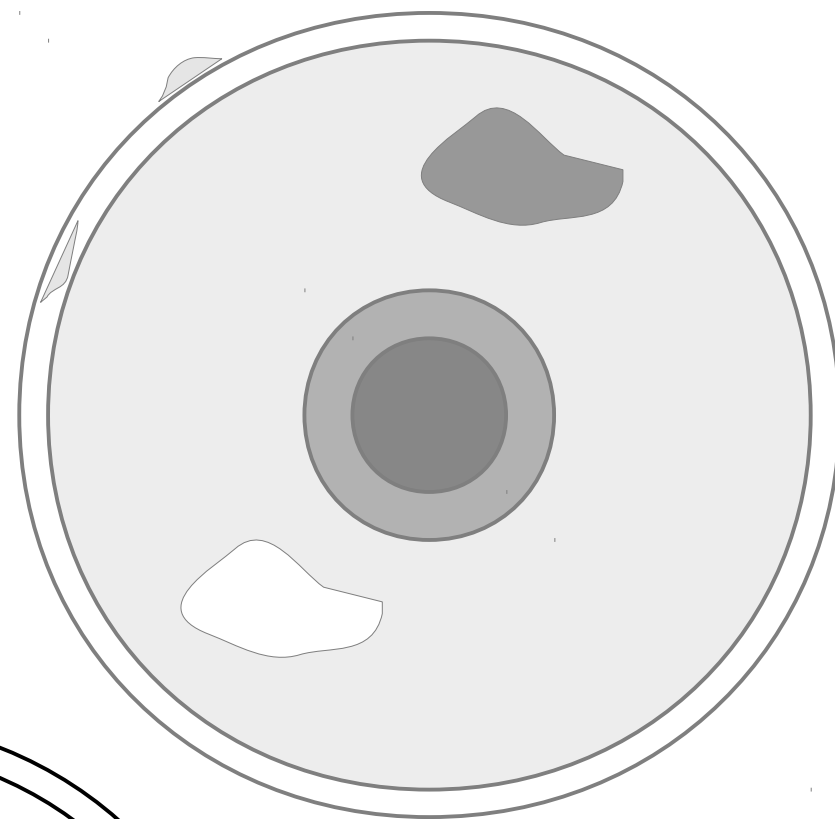
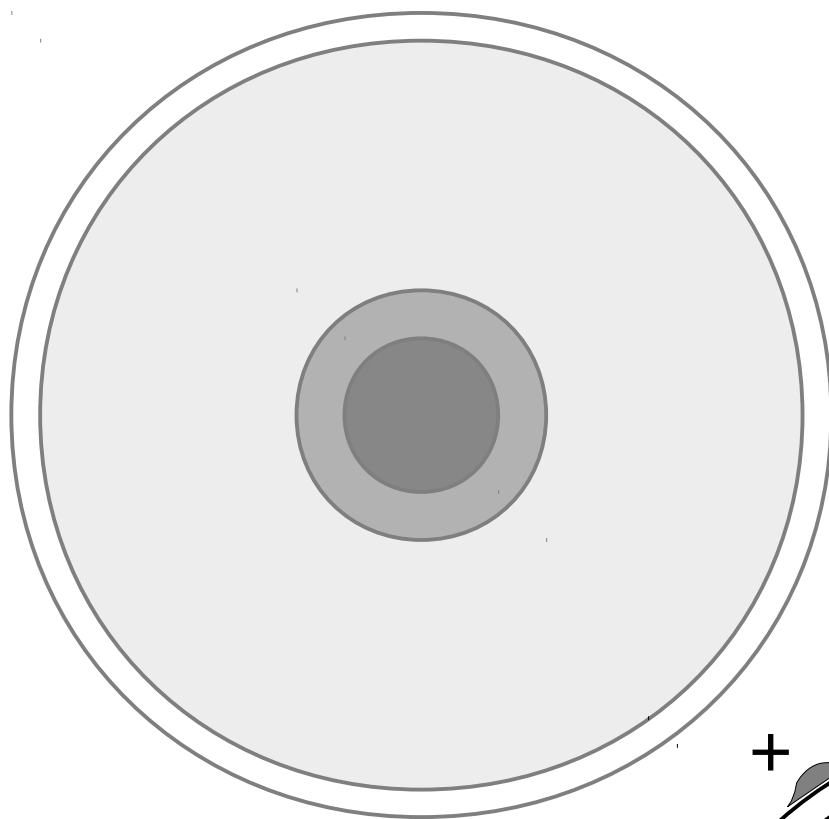
Esta quantidade é produzida diferenças entre a distribuição de densidade na Terra verdadeira e a distribuição de densidade na Terra Normal



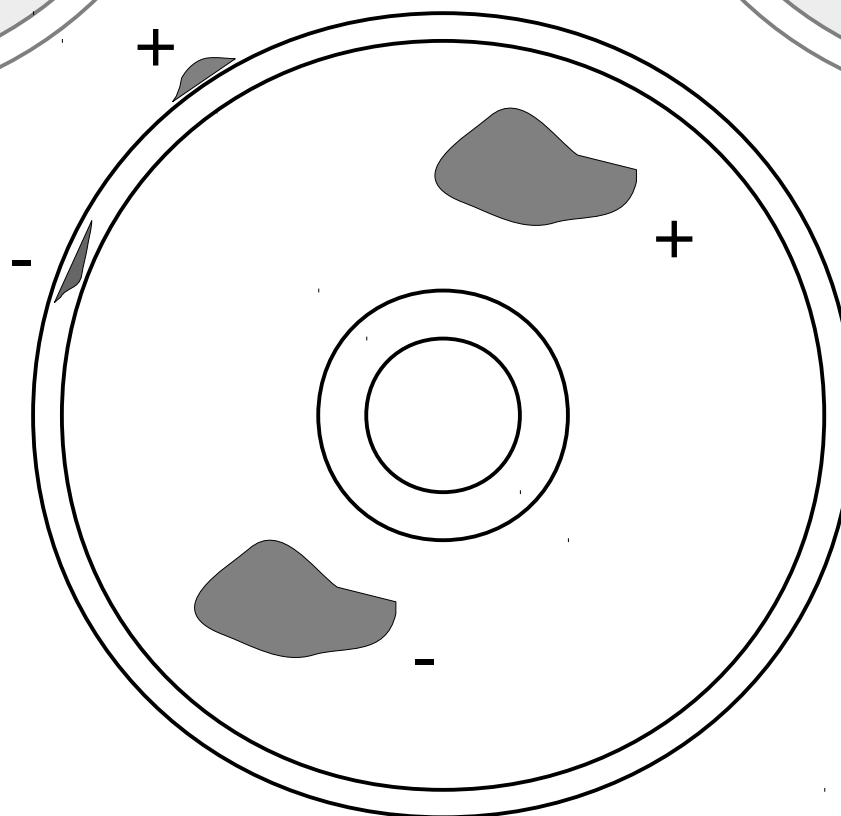
A diferença entre a gravidade medida e a gravidade normal calculada no mesmo ponto é denominada **distúrbio de gravidade** (Hofmann-Wellenhop and Moritz, 2005)



Esta quantidade é produzida diferenças entre a distribuição de densidade na Terra verdadeira e a distribuição de densidade na Terra Normal




A diferença entre a gravidade medida e a gravidade normal calculada no mesmo ponto é denominada **distúrbio de gravidade** (Hofmann-Wellenhof and Moritz, 2005)

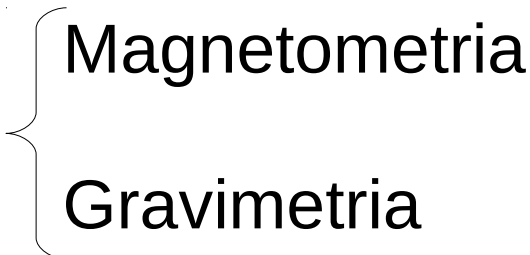


Esta quantidade é produzida **massas anômalas** (Hammer, 1945; LaFehr, 1965), **densidades anômalas** (e.g., Forsberg, 1984) ou **fontes gravimétricas** (Blakely, 1996)

Conteúdo

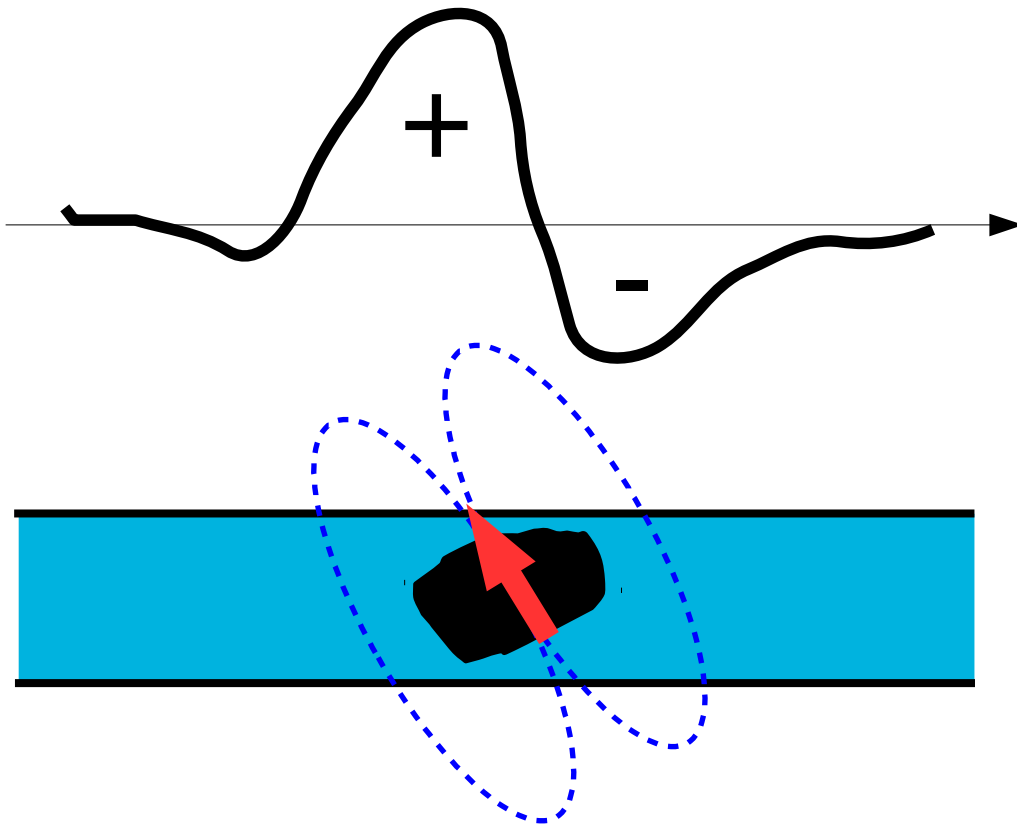
- **Métodos potenciais** 
 - Magnetometria
 - Gravimetria**
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Conteúdo

- **Métodos potenciais** 
 - Magnetometria
 - Gravimetria
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Em resumo

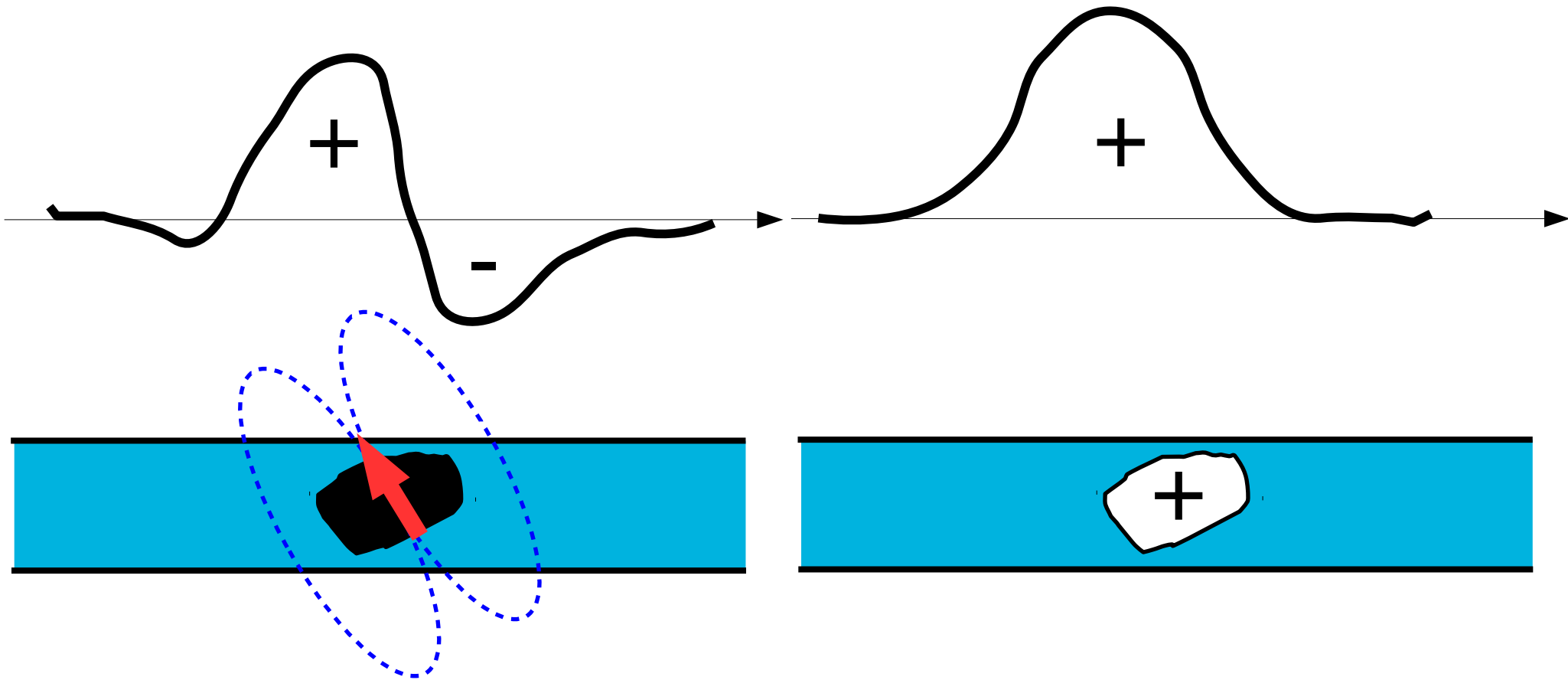
Anomalia de campo total



Em resumo

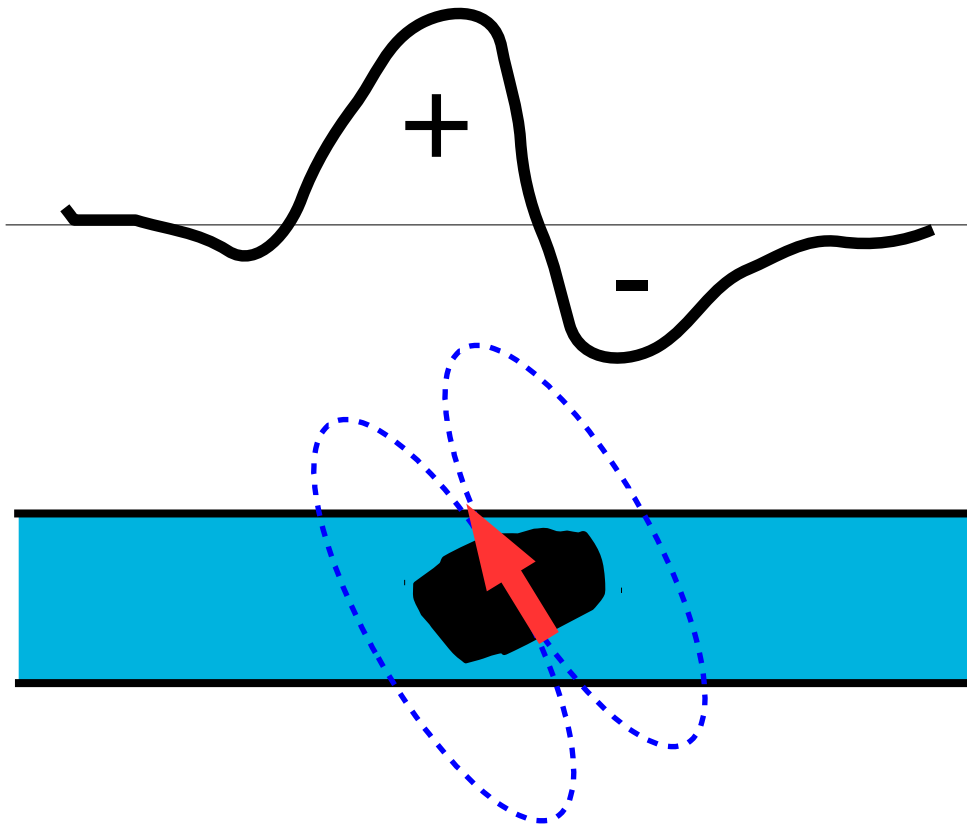
Anomalia de campo total

Distúrbio de gravidade



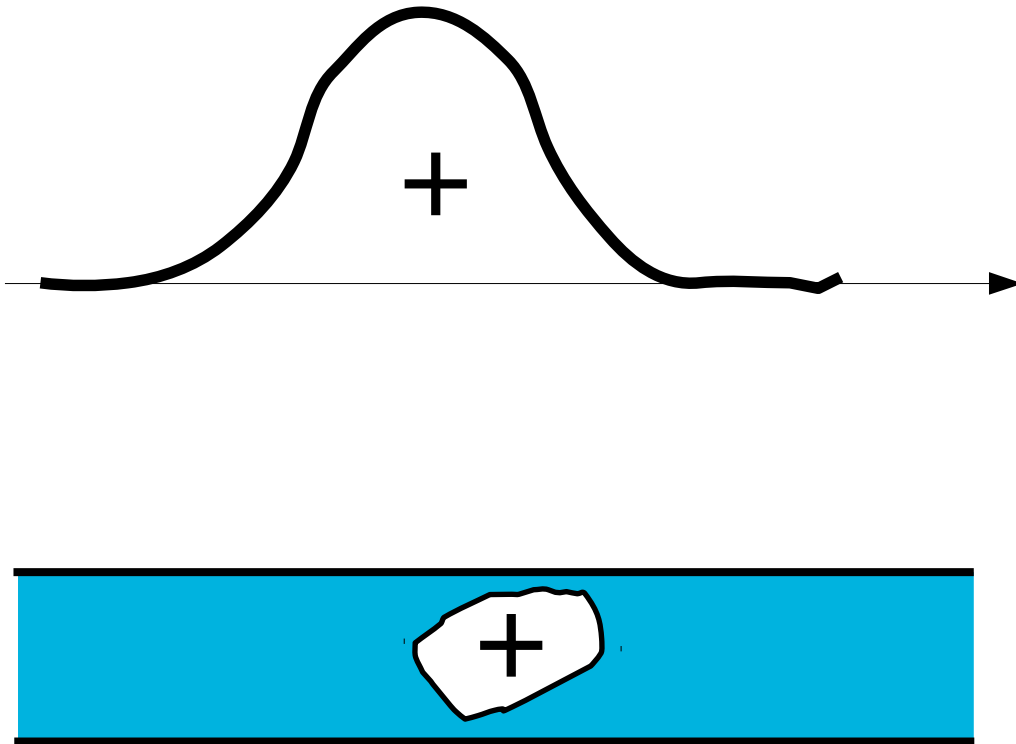
Em resumo

Anomalia de campo total



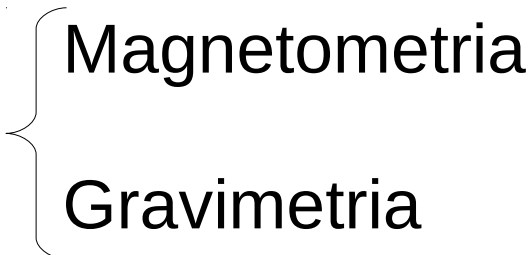
Depende da distribuição de magnetização, que é uma grandeza vetorial

Distúrbio de gravidade

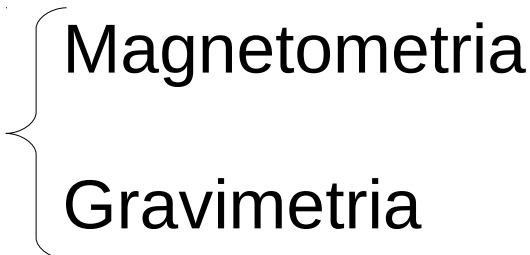


Depende da distribuição de densidade, que é uma grandeza escalar

Conteúdo

- **Métodos potenciais** 
 - Magnetometria
 - Gravimetria
- Exemplos com dados sintéticos
- Exemplos com dados reais

Conteúdo

- Métodos potenciais 
 - Magnetometria
 - Gravimetria
- **Exemplos com dados sintéticos**
- Exemplos com dados reais

Considere uma bacia sedimentar (simplificada)

