



# Teoria do Potencial Aplicada : uma contribuição para a descrição de rochas ígneas em bacias sedimentares

Rio de Janeiro, 2023

# Conteúdo da apresentação

- Um pouco sobre mim;
- Uma (breve) contextualização do trabalho;
- Sobre os **dados magnéticos, a anomalia de campo total e a magnetização das fontes**;
- A **Teoria do Potencial** e o conceito de **Camada equivalente**;
- Exemplos: **Simulação numérica** e aplicação a **dados de campo**;
- Considerações finais.

# Sobre mim...



## ○ Informações gerais

André Luis Albuquerque dos Reis

**Prof. Adjunto** da Faculdade de Geologia da UERJ (2021 - atual)

Coordenador do **Laboratório de Geofísica Exploratória (LAGEX)**

Supervisor do Capítulo Estudantil da **SEG-UERJ**



## ○ Informações gerais

André Luis Albuquerque dos Reis

**Prof. Adjunto** da Faculdade de Geologia da UERJ (2021 - atual)

Coordenador do **Laboratório de Geofísica Exploratória (LAGEX)**

Supervisor do Capítulo Estudantil da **SEG-UERJ**



## Formação acadêmica

Bacharelado em **Física – UERJ** (2012)

Mestrado em **Geofísica – Observatório Nacional** (2016)

Doutorado em **Geofísica – Observatório Nacional** (2020)



## O Informações gerais

André Luis Albuquerque dos Reis

**Prof. Adjunto** da Faculdade de Geologia da UERJ (2021 - atual)

Coordenador do **Laboratório de Geofísica Exploratória (LAGEX)**

Supervisor do Capítulo Estudantil da **SEG-UERJ**



## Formação acadêmica

Bacharelado em **Física – UERJ** (2012)

Mestrado em **Geofísica – Observatório Nacional** (2016)

Doutorado em **Geofísica – Observatório Nacional** (2020)



## Pesquisa atual

Na área de Geofísica Aplicada e Terra Sólida  
trabalhando com os temas: **Problemas Inversos** e  
**Métodos Potenciais** (dados de gravidade e  
magnéticos)

Desenvolvendo trabalhos em **computação**  
**científica**, métodos de **processamento**, **modelagem**  
e **inversão de dados potenciais**

# Uma (breve) contextualização do trabalho

**Utilizar a Geofísica para o entendimento das propriedades física e o mapeamento de estruturas em subsuperfície que permitirá a geração de modelos que servirão de base para, por exemplo, aplicações na exploração de energia geotermal, armazenamento de CO<sub>2</sub> e estimar a geometria de depósitos para exploração mineral.**

Entender como este sistema de rochas ígneas funcionou para guiar melhor a construção de modelos geológicos.



O método sísmico é uma técnica geofísica que permite obter como produto final uma imagem de alta resolução da subsuperfície.

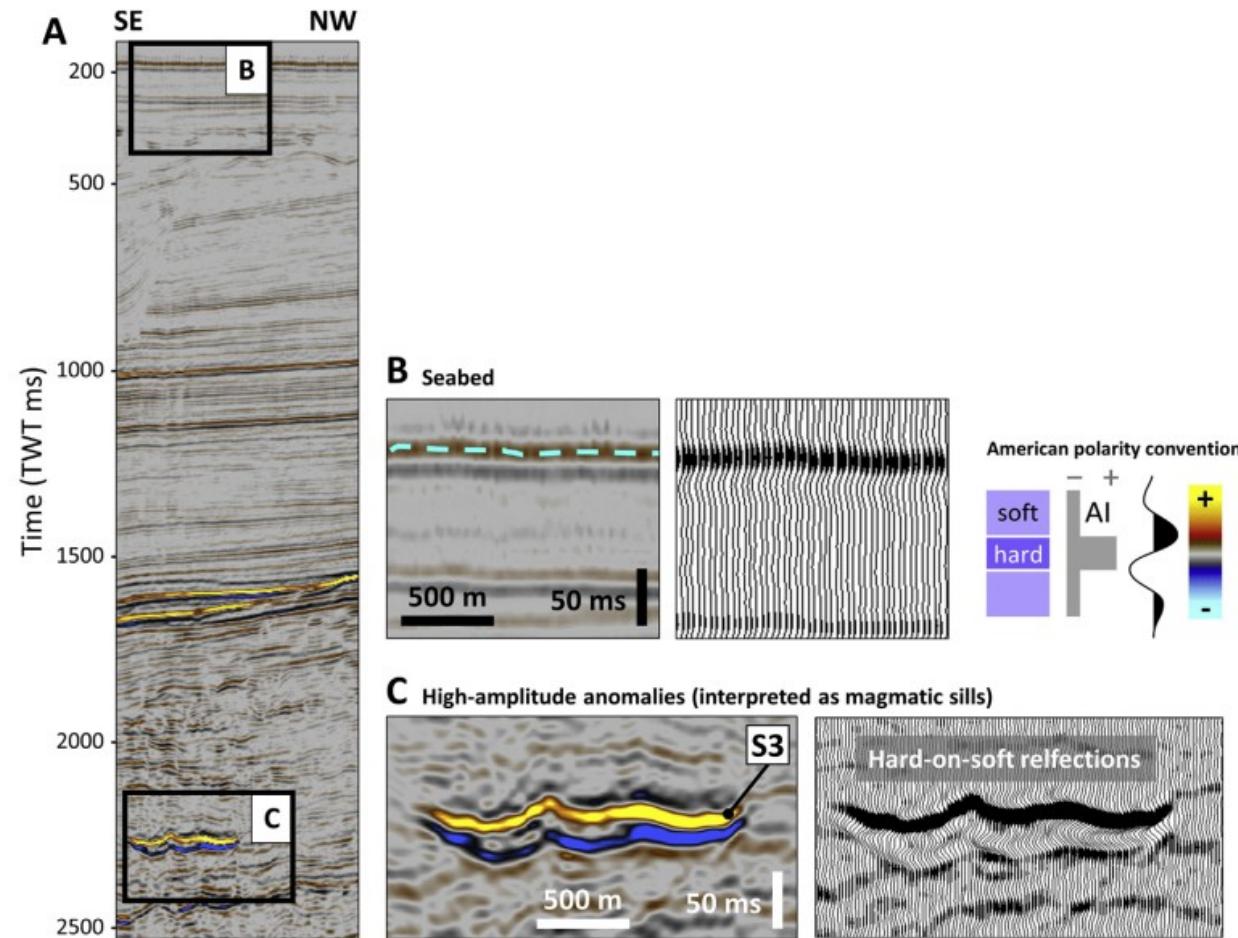


Fig. 3. Part of a seismic section showing the typical response of mapped high-amplitude anomalies, laterally discontinuous, that were interpreted as magmatic sills.

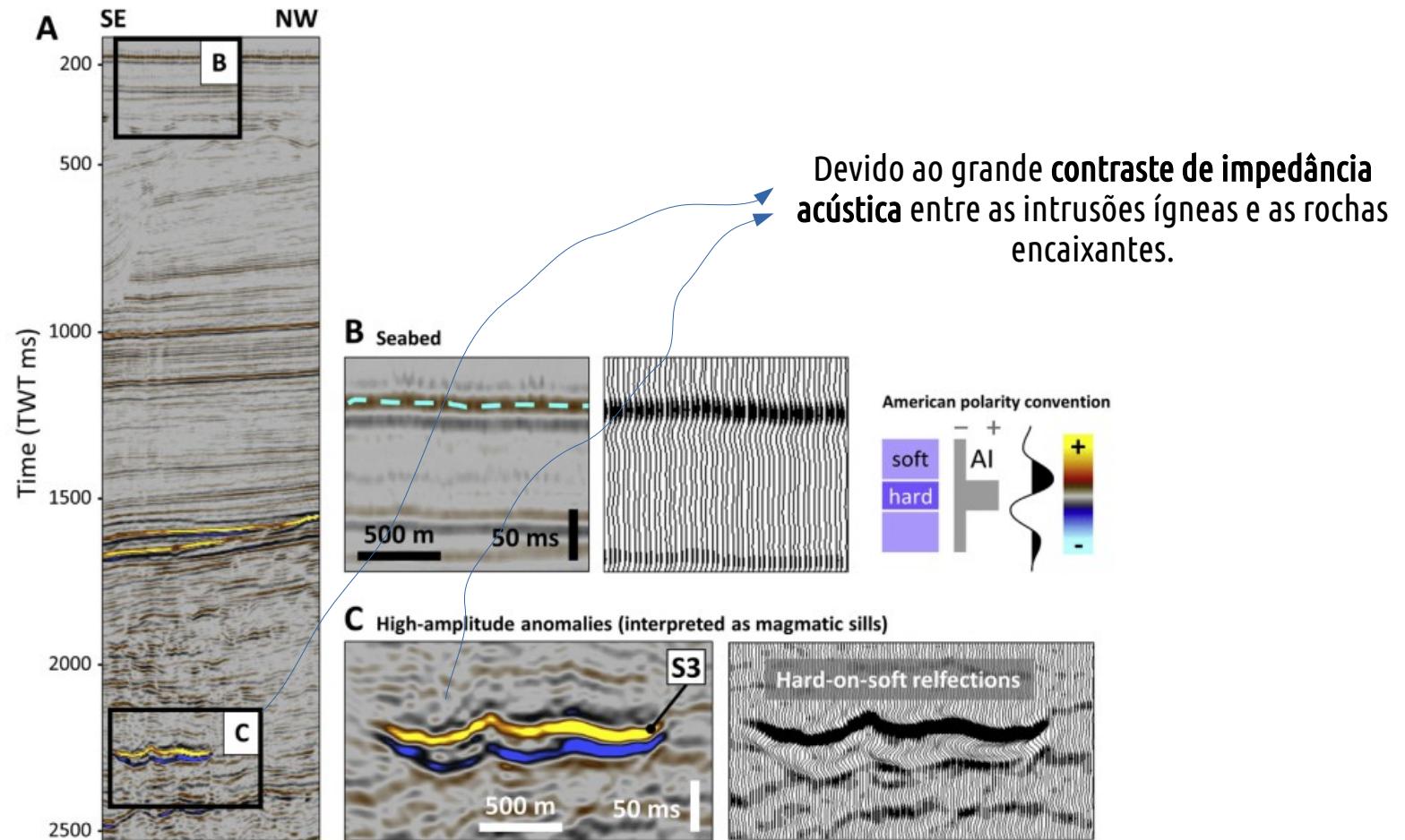
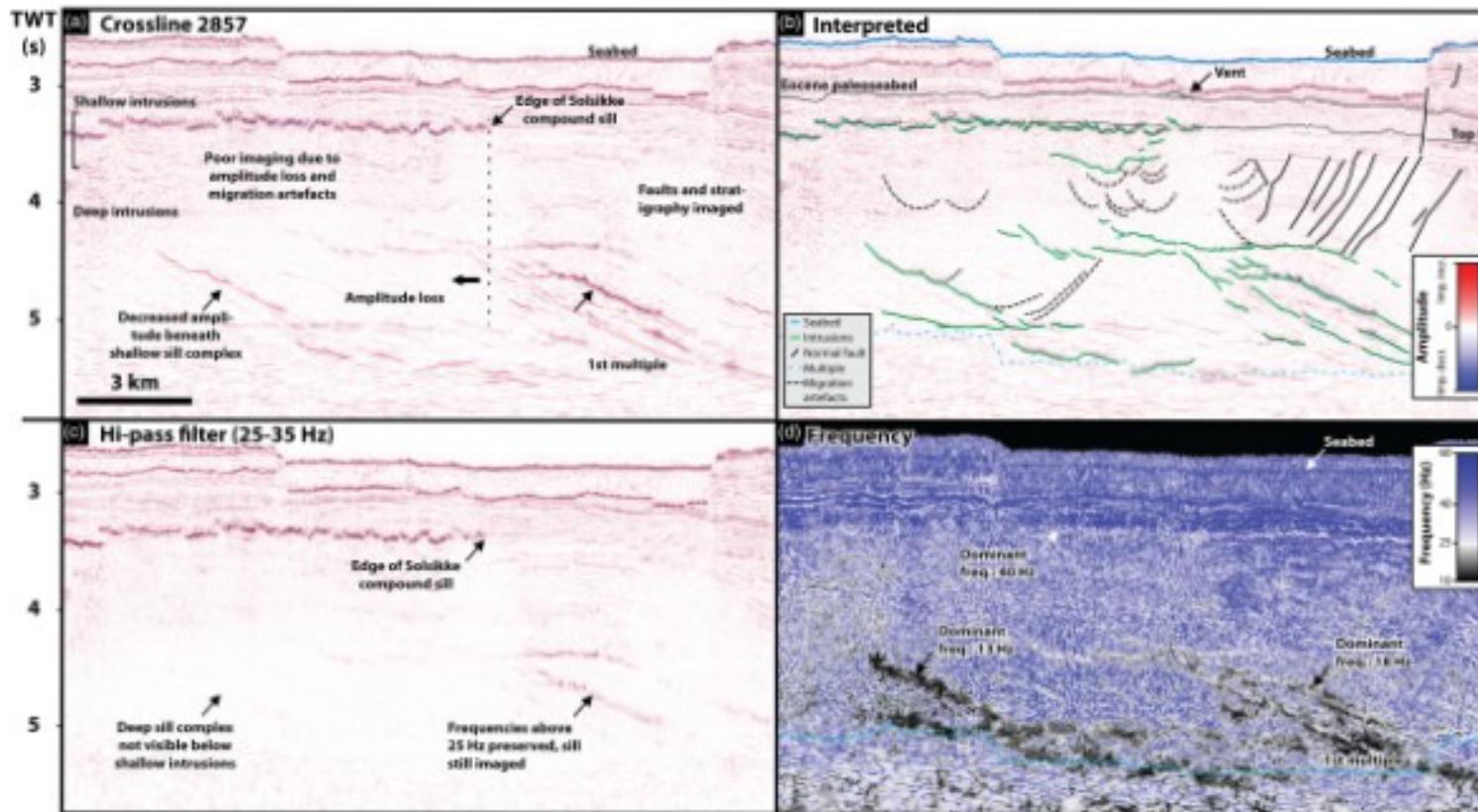


Fig. 3. Part of a seismic section showing the typical response of mapped high-amplitude anomalies, laterally discontinuous, that were interpreted as magmatic sills.

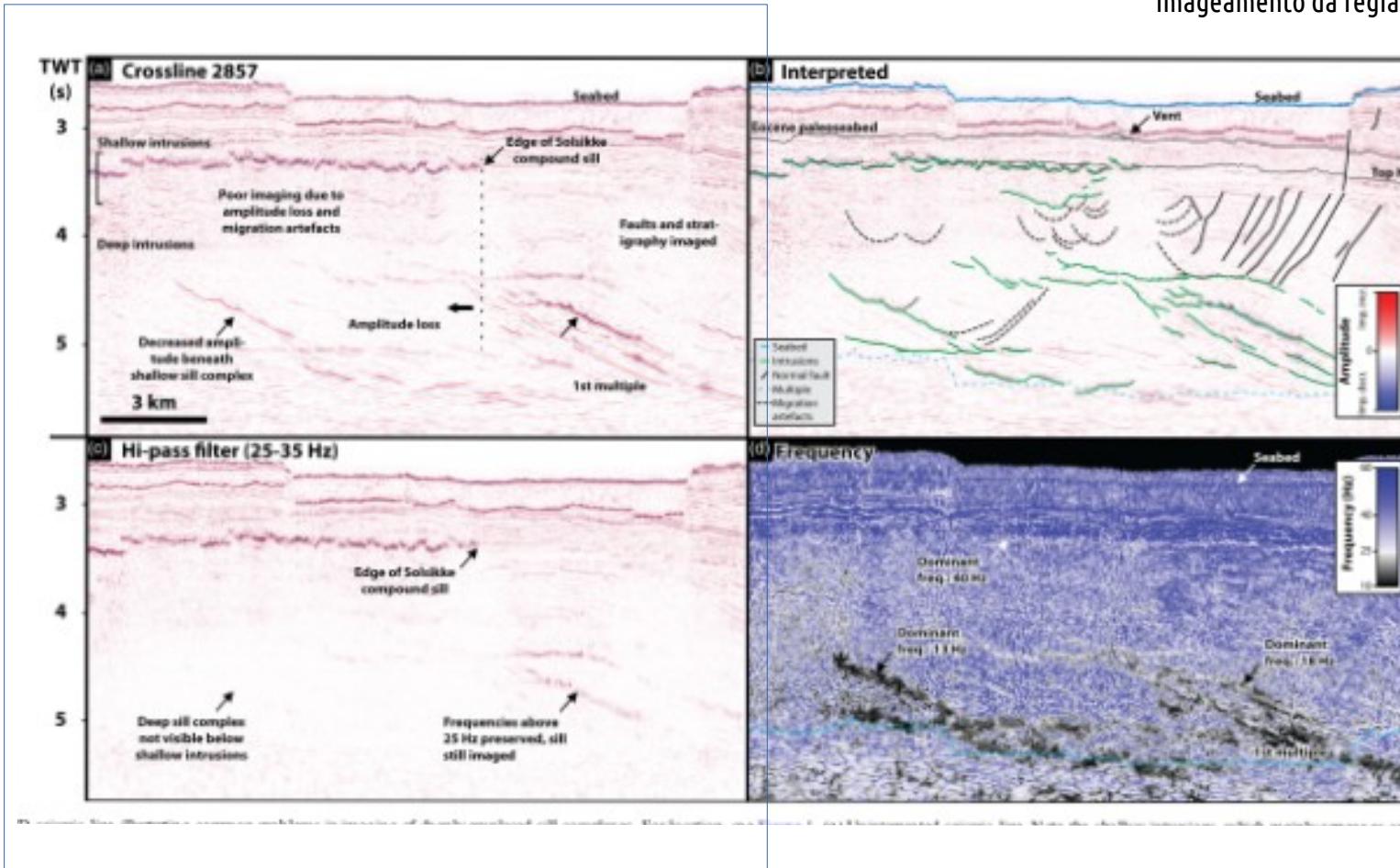
**Limitação dos dados sísmicos em descrever ambientes com rochas ígneas, mas que, em tese, podem ser contornadas (ou ao menos atenuadas) por outros métodos geofísicos.**

Podemos destacar, pelo menos, **três dessas limitações:**  
**(i)** perda de resolução com a profundidade, **(ii)** efeito de rochas  
sobrepostas e **(iii)** estruturas muito verticalizadas.

Identifica o problema de diversos em uma bacia sedimentar na Dinamarca ígneas sobrepostas e como isso impacta no imageamento da região

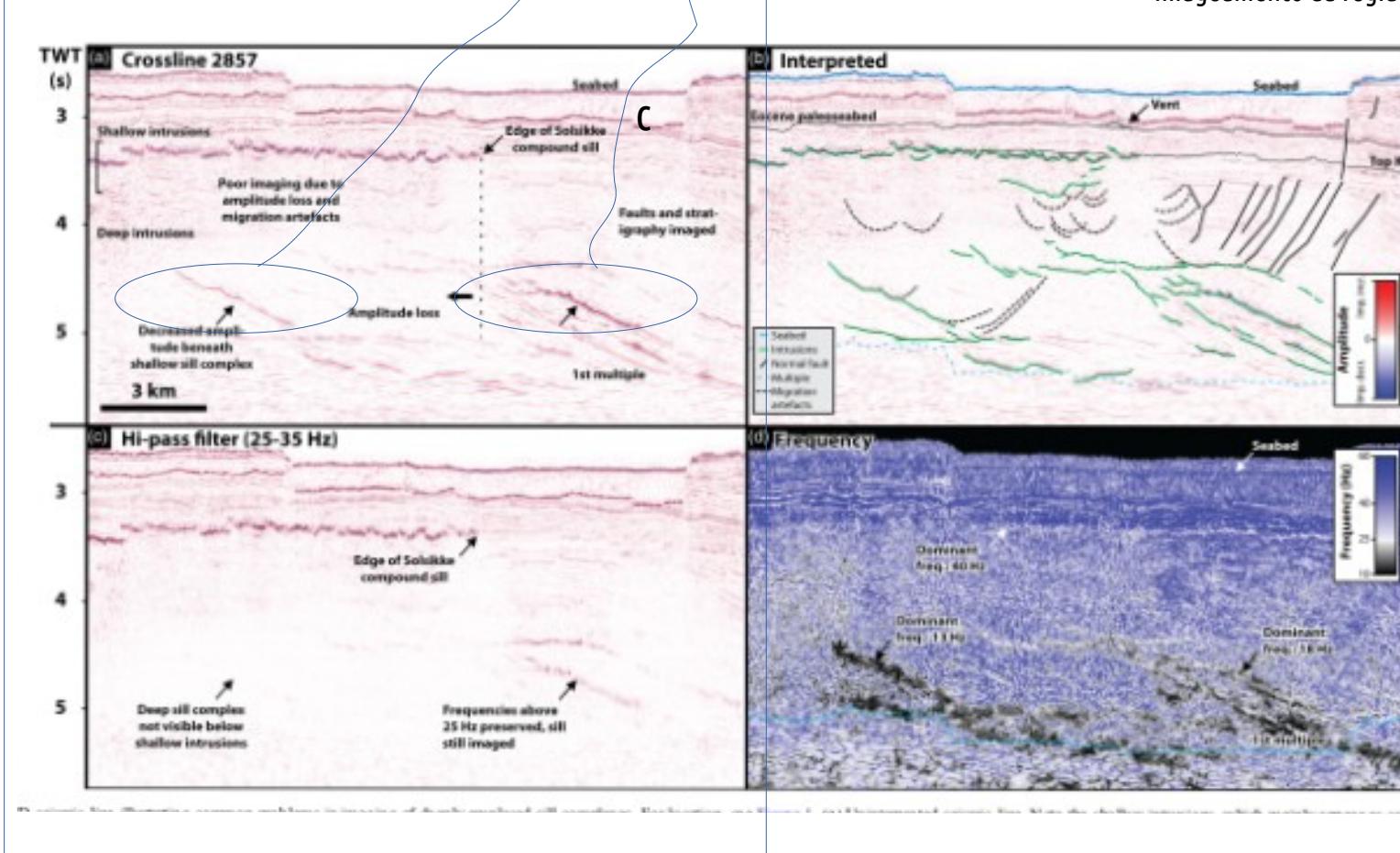


Identifica o problema de diversos em uma bacia sedimentar na Dinamarca ígneas sobrepostas e como isso impacta no imageamento da região



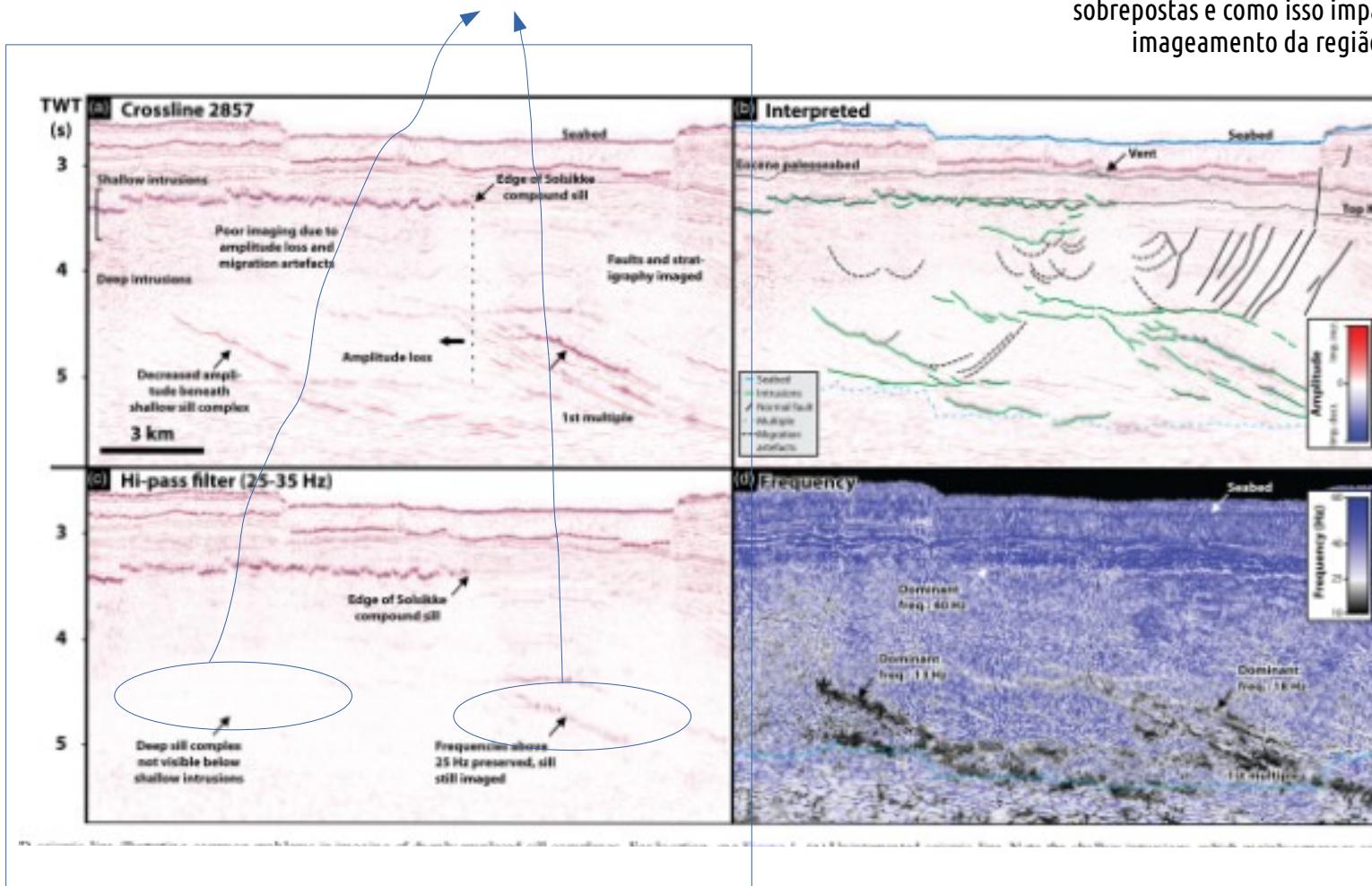
## Perda de amplitude com a profundidade e também em reflexões mais rasas

Identifica o problema de diversos em uma bacia sedimentar na Dinamarca ígneas sobrepostas e como isso impacta no imageamento da região

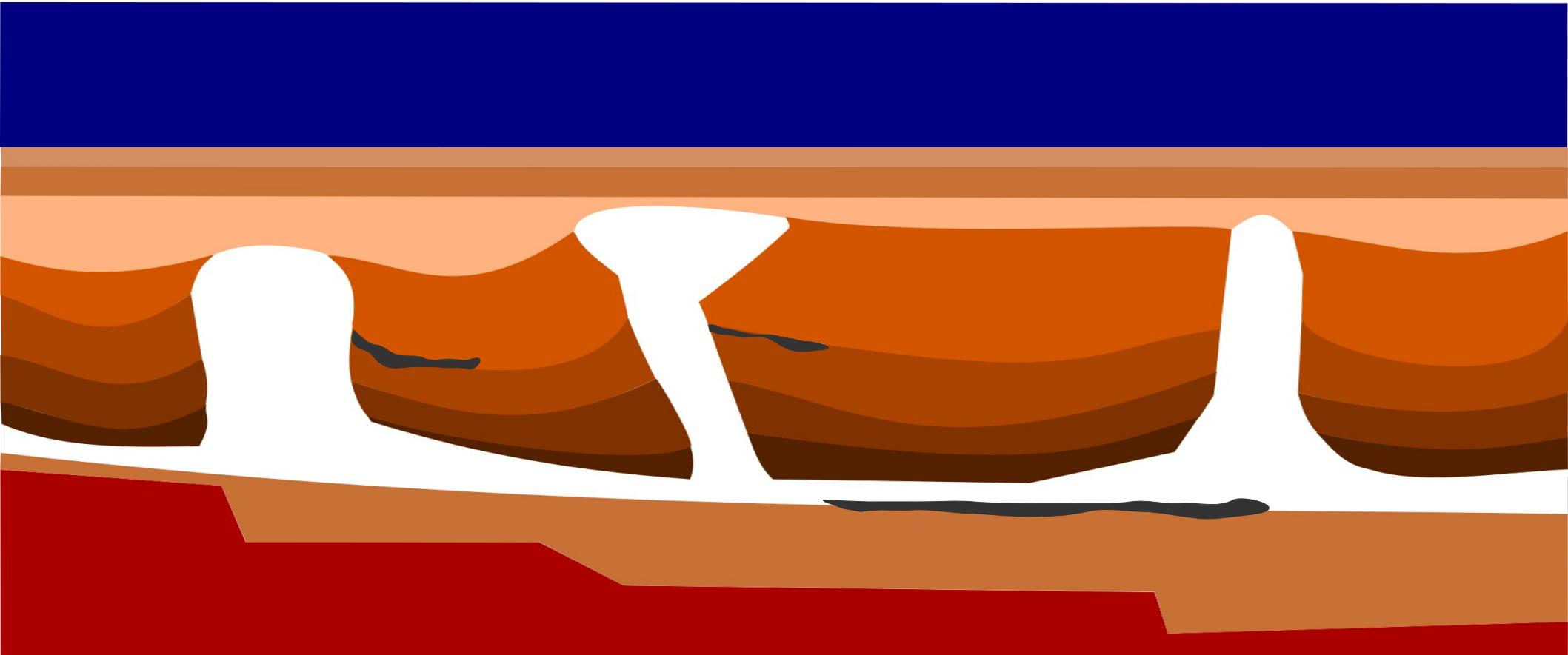


A depender do filtro que se aplica, a perda se torna ainda mais evidente

Identifica o problema de diversos em uma bacia sedimentar na Dinamarca ígneas sobrepostas e como isso impacta no imageamento da região

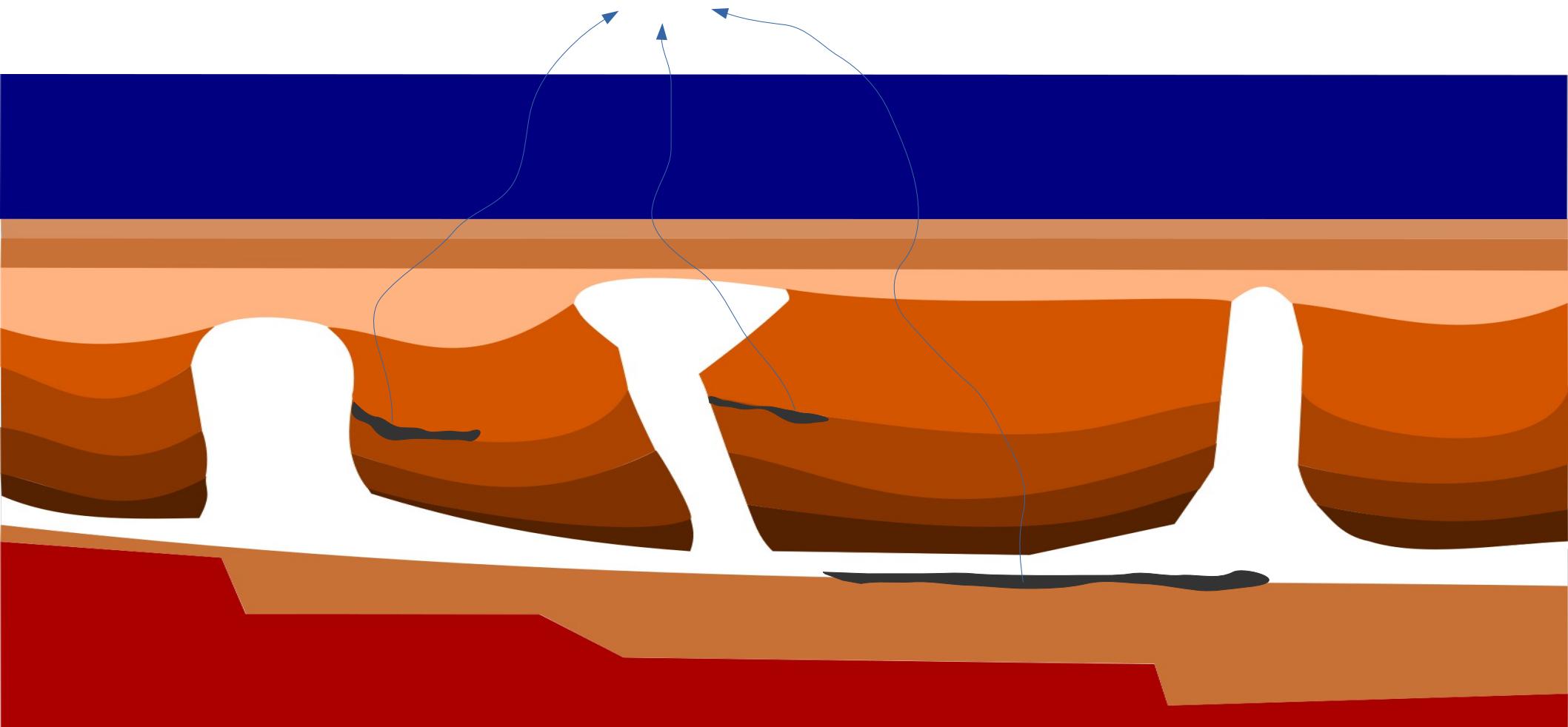


## Contextualização



## Contextualização

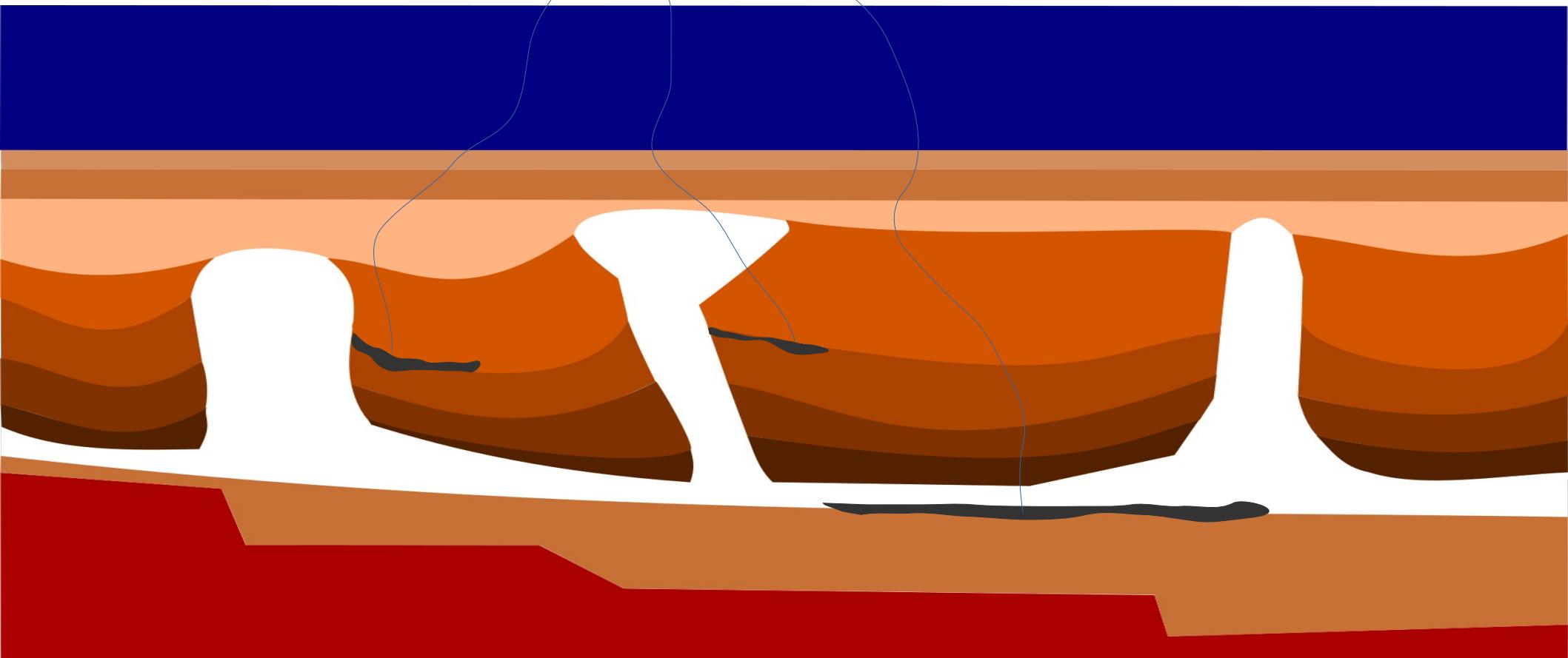
Em regiões mais complexas como, por exemplo, a existência de grandes muralhas de Sal.



## Contextualização

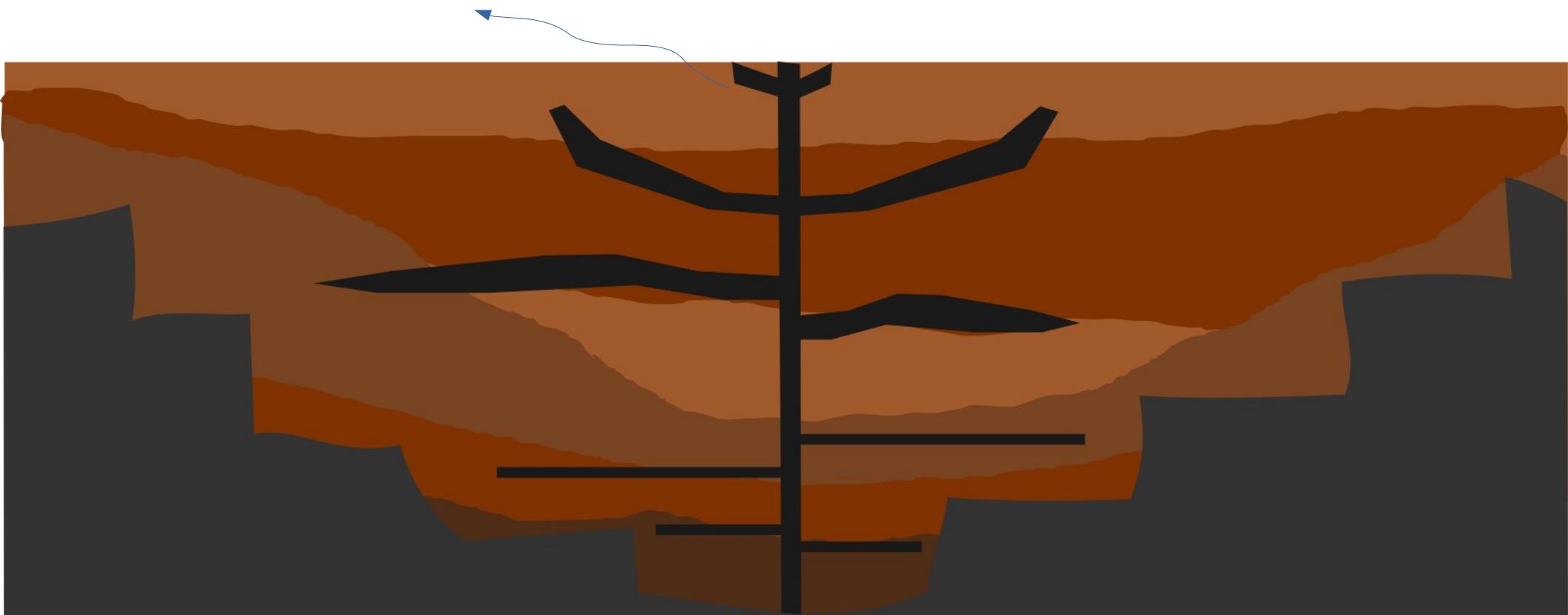
Em regiões mais complexas como, por exemplo, a existência de grandes muralhas de Sal.

Além da perda de resolução com a profundidade, existe o **pouco contraste de impedância acústica**, principalmente, na base do sal.



Qual o **problema geofísico** que temos em mãos no contexto dos dados magnéticos?

Estas rochas ígneas tem, de forma geral, uma  
boa resposta magnética!



## Contextualização

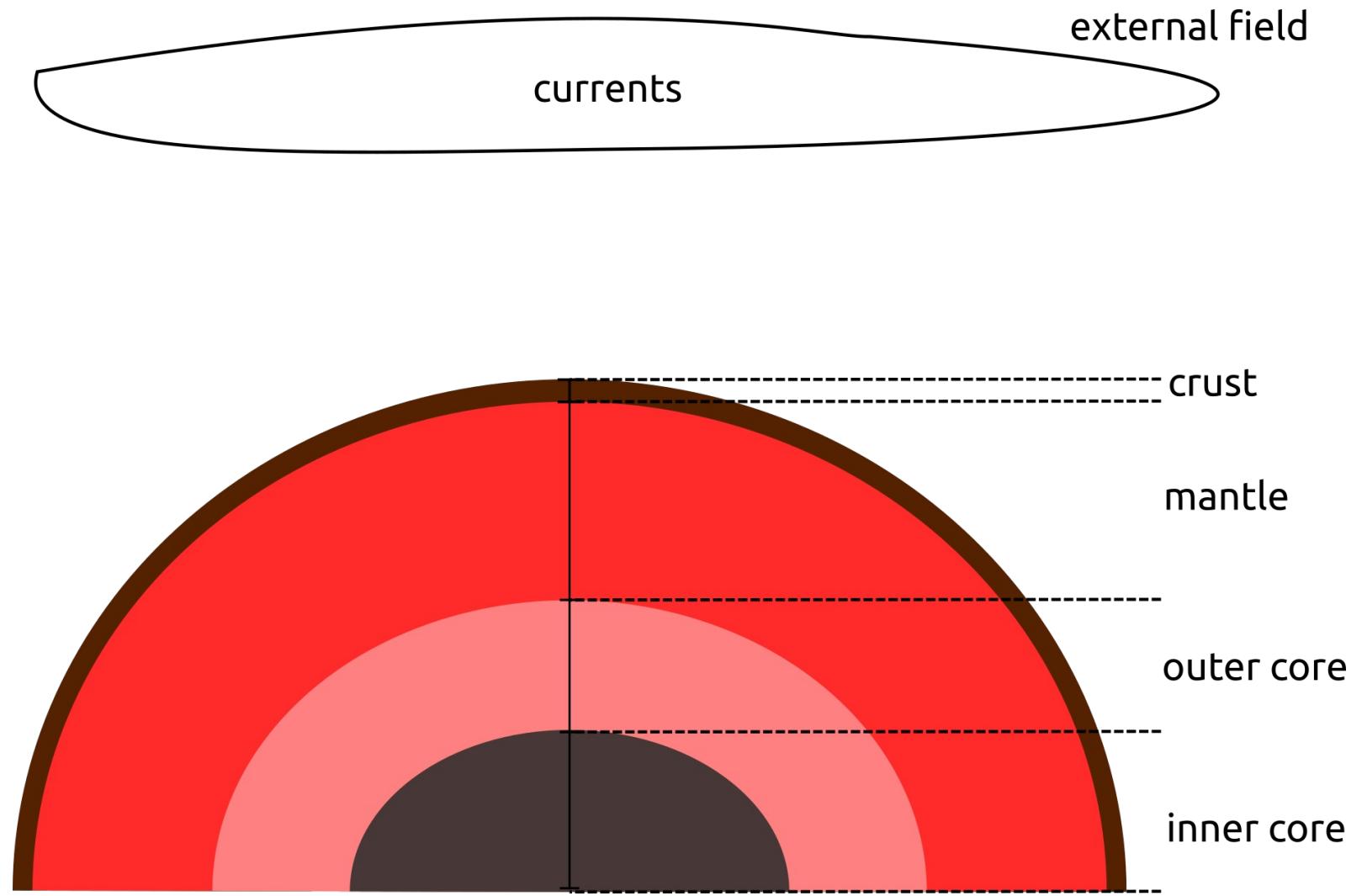
Estas rochas ígneas tem, de forma geral, uma boa resposta magnética!

De estudarmos as propriedades físicas (e.g., distribuição de magnetização) destas estruturas, bem como sua disposição em subsuperfície!

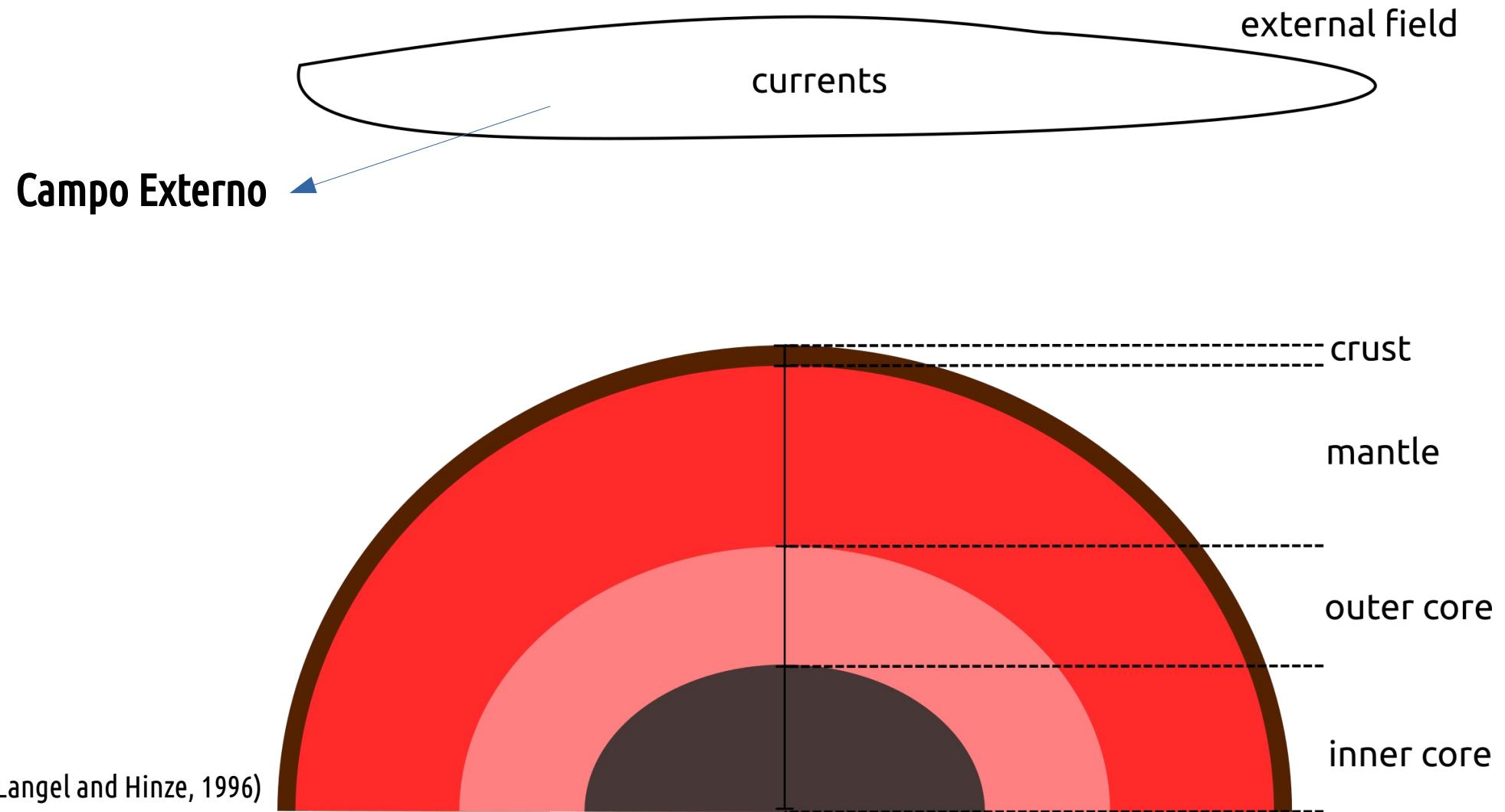


# Os dados magnéticos e a Anomalia de campo total

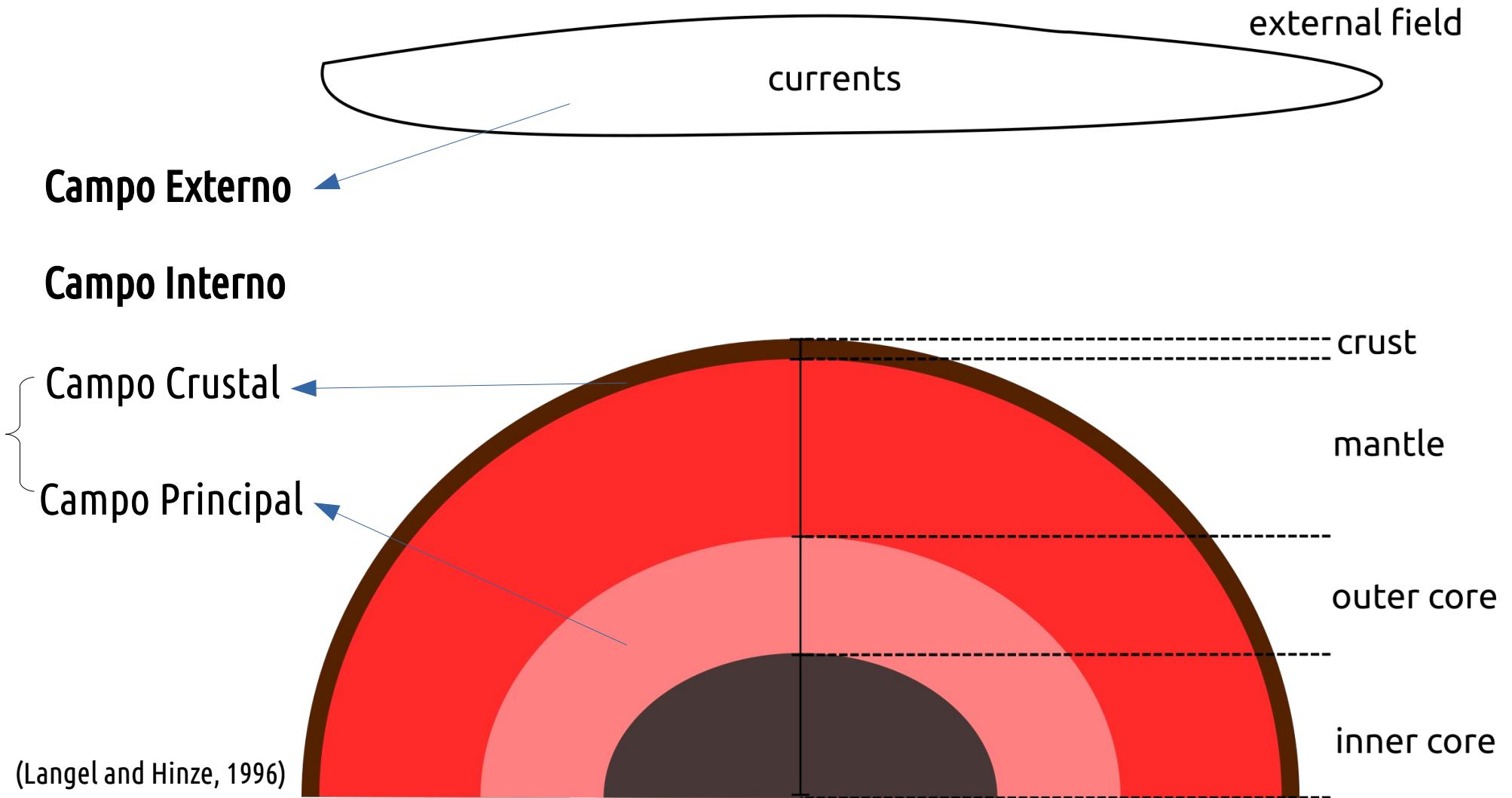
## Campo geomagnético



## Campo geomagnético



## Campo geomagnético



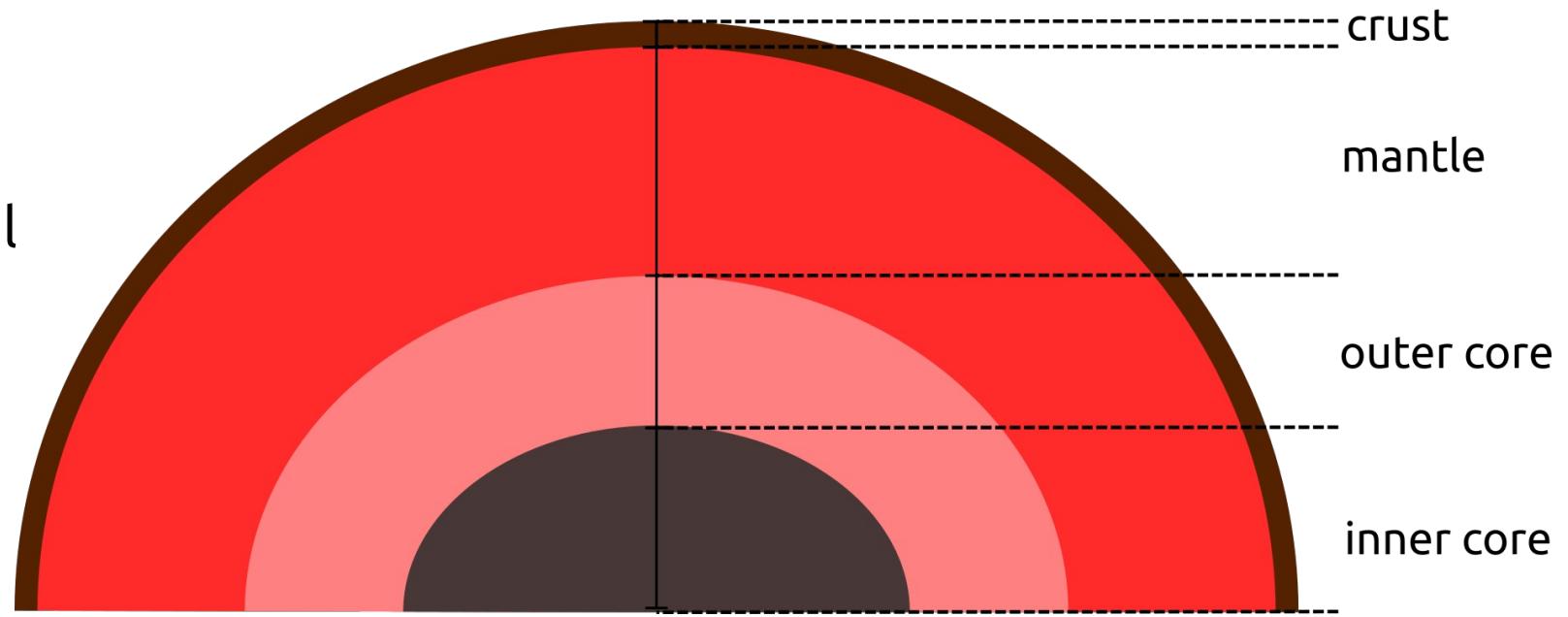
# Campo geomagnético



**Campo Externo**

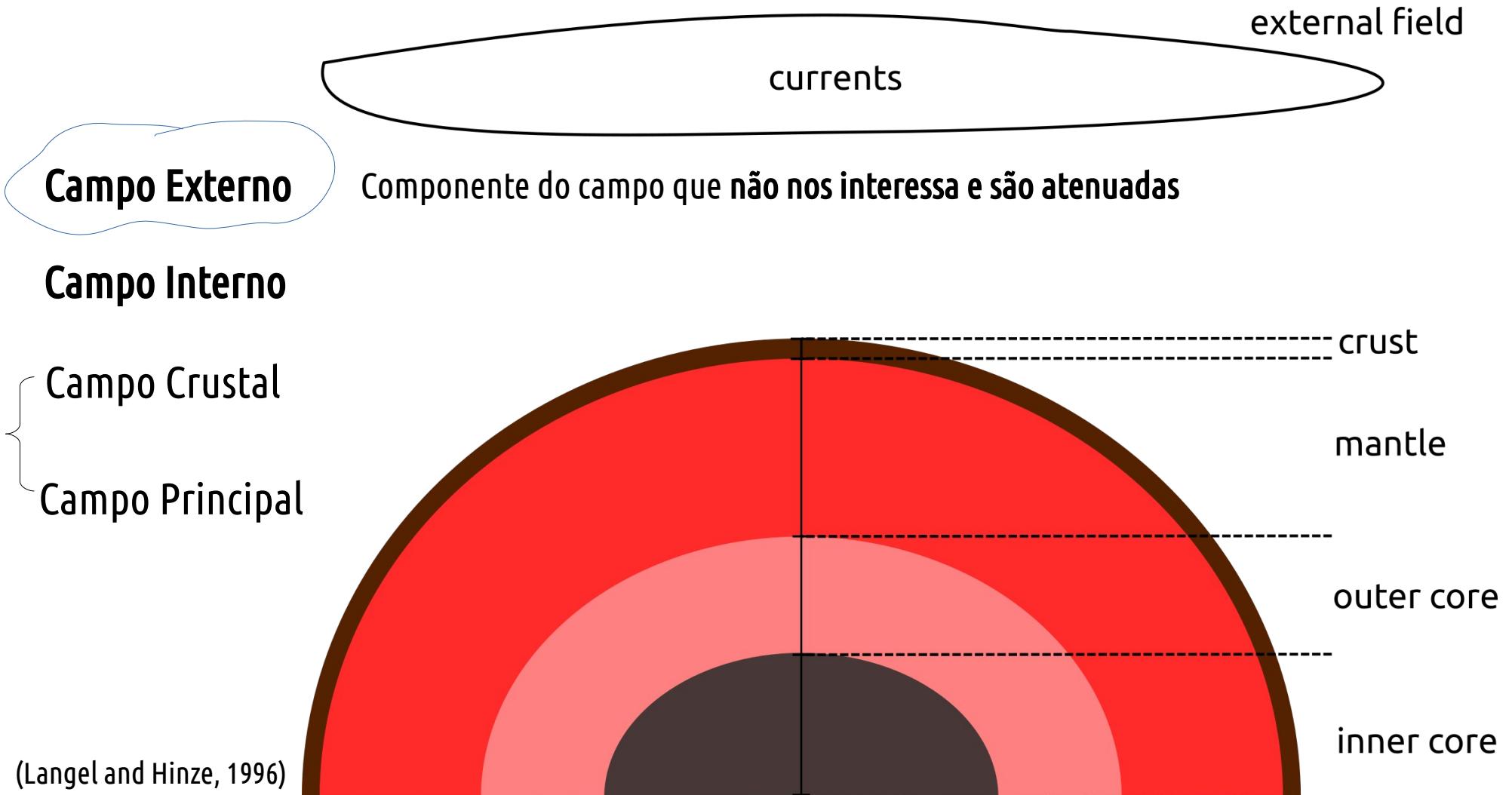
**Campo Interno**

**Campo Crustal**  
Campo Principal



(Langel and Hinze, 1996)

# Campo geomagnético



## Campo geomagnético



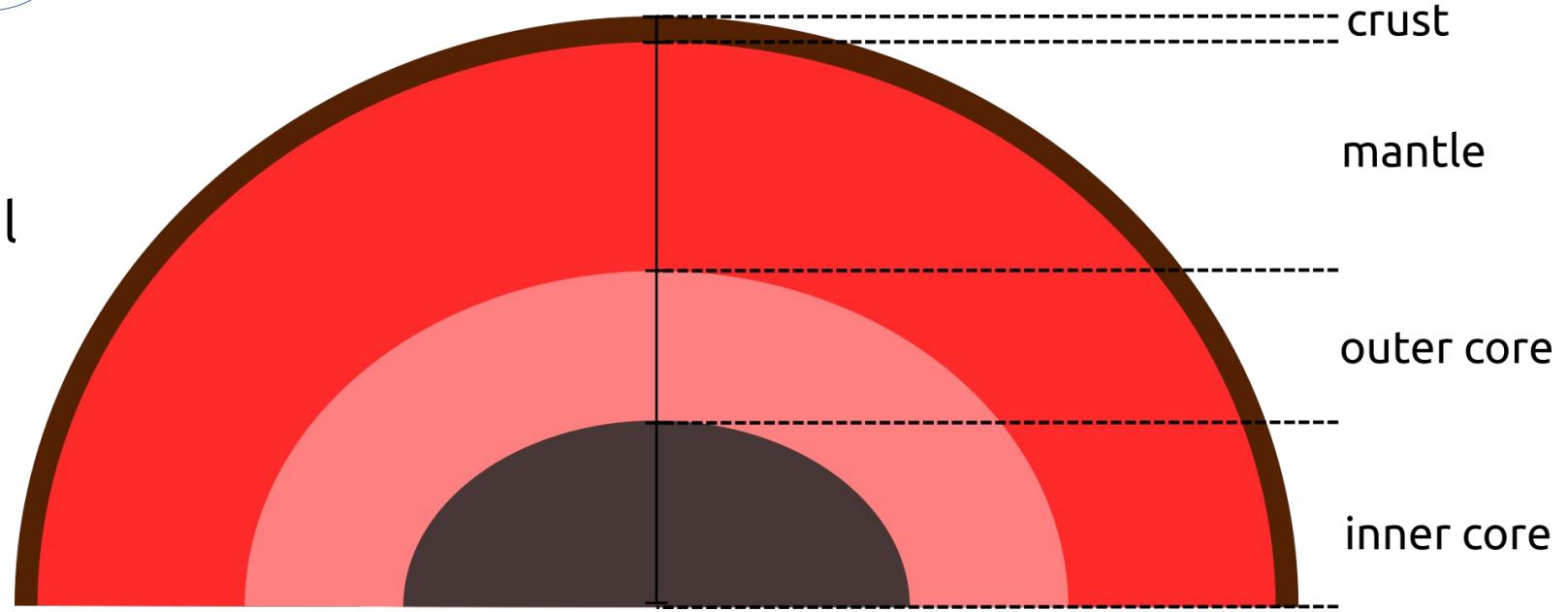
**Campo Externo**

**Campo Interno**

**Campo Crustal**

**Campo Principal**

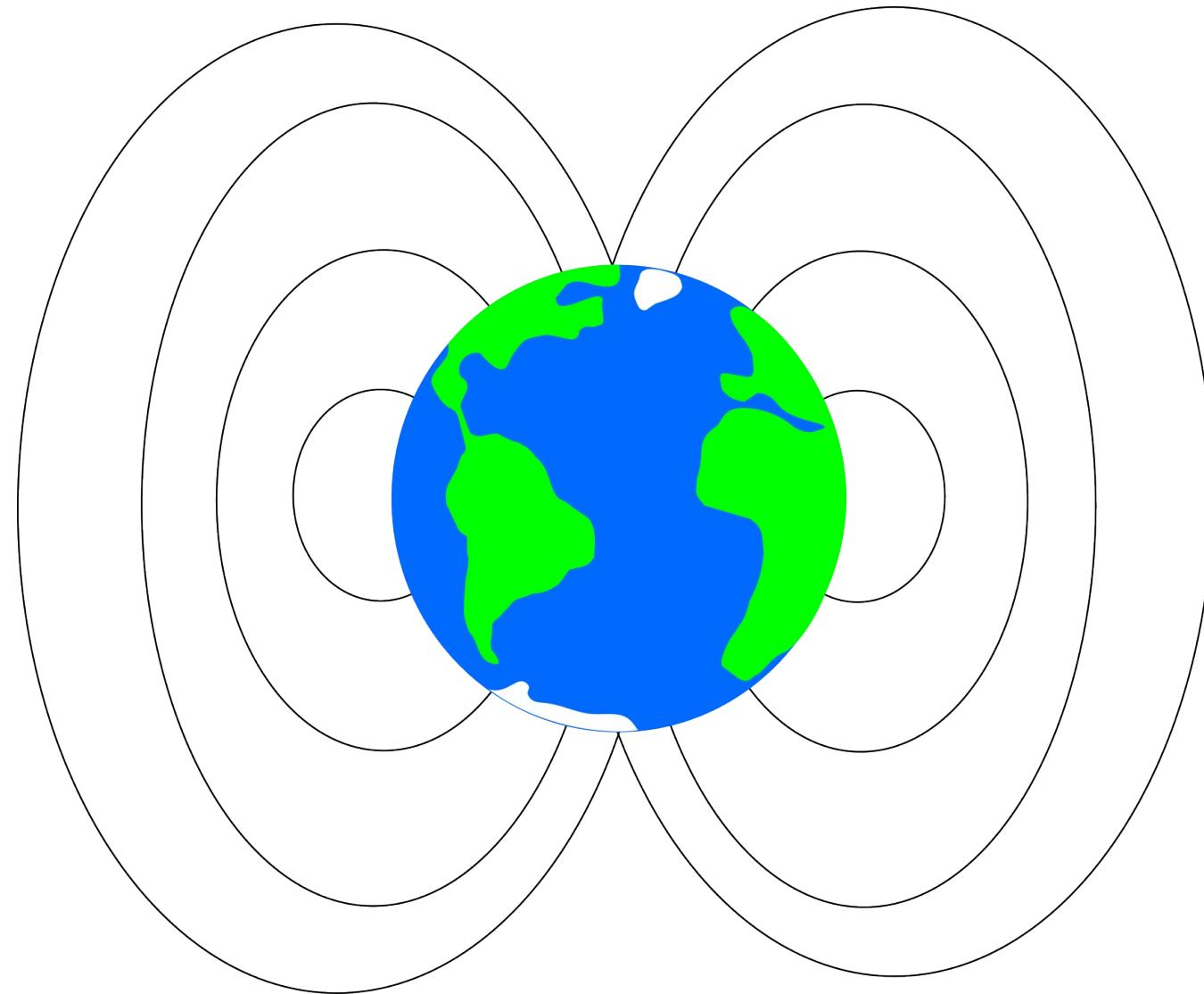
A componentes que nos interessa e que vamos ver  
um pouco **mais profundamente** aqui.



**Falando primeiro do campo principal...**

## Campo principal

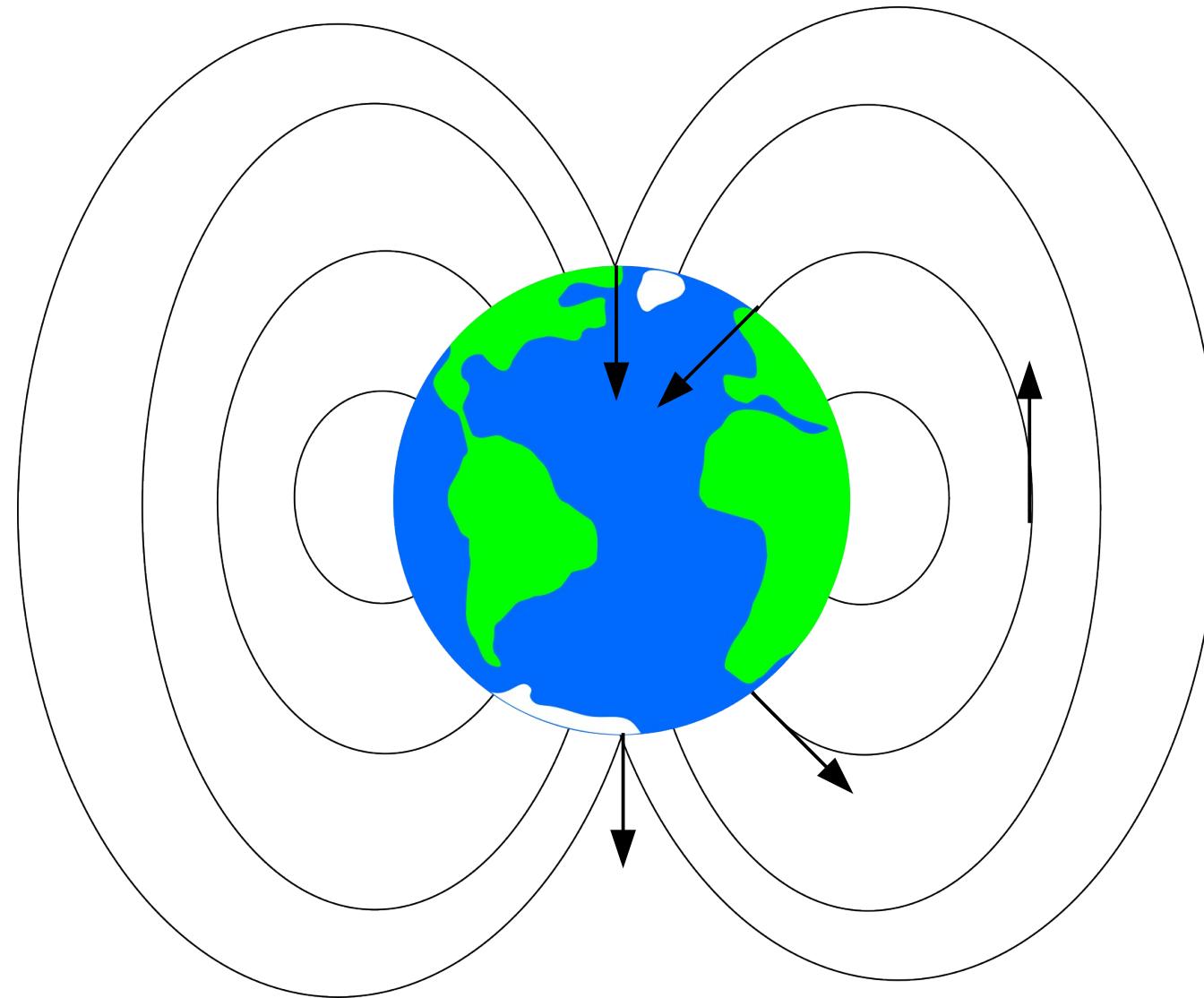
(Langel and Hinze, 1996)



A maior componente é de origem interna (cerca de 90%), mais especificamente, no núcleo externo.

## Campo principal

(Langel and Hinze, 1996)

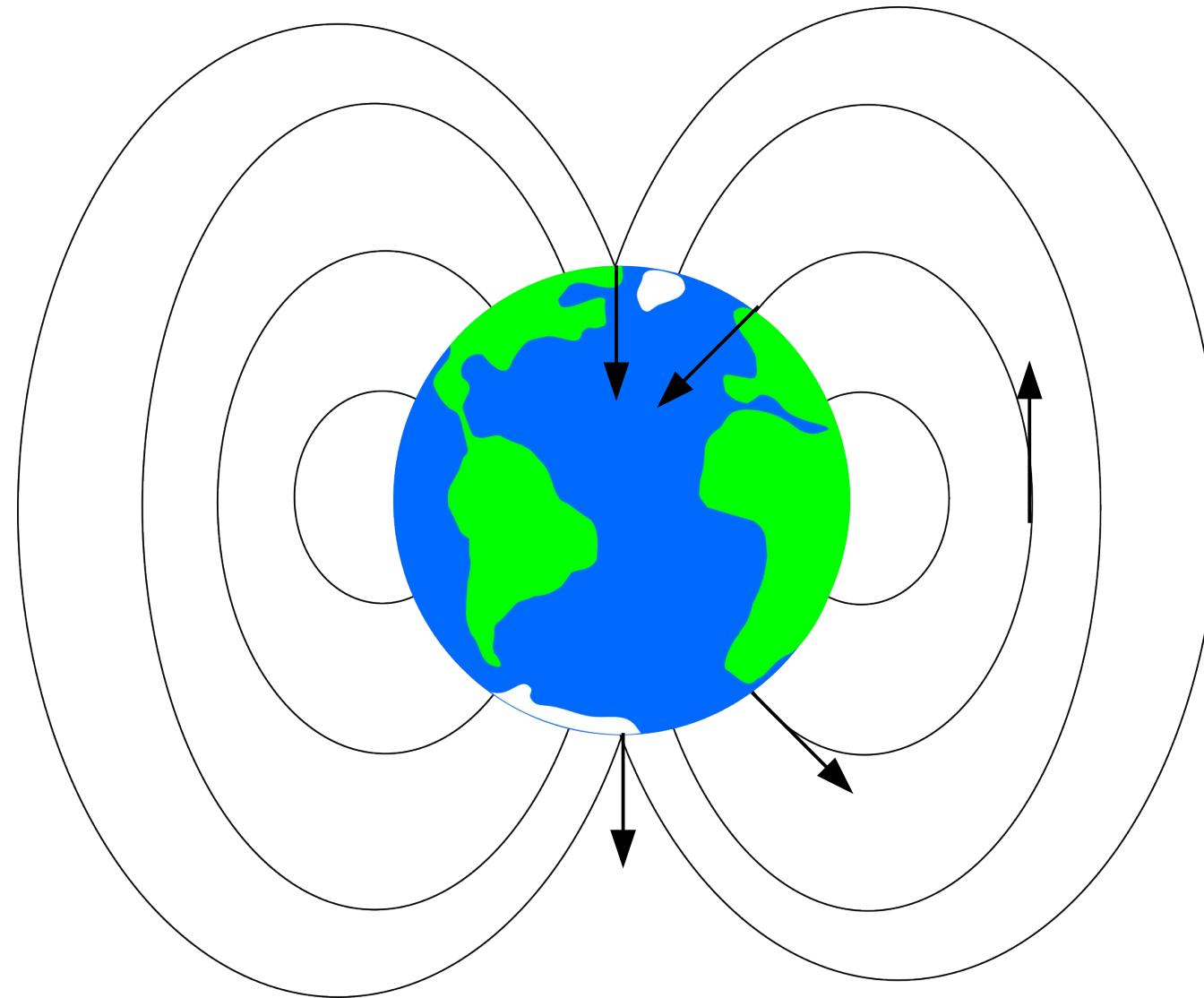


A maior componente é de origem interna (cerca de 90%), mais especificamente, no núcleo externo.

Predominantemente dipolar, que varia em direção e intensidade ao longo do anos.

## Campo principal

(Langel and Hinze, 1996)

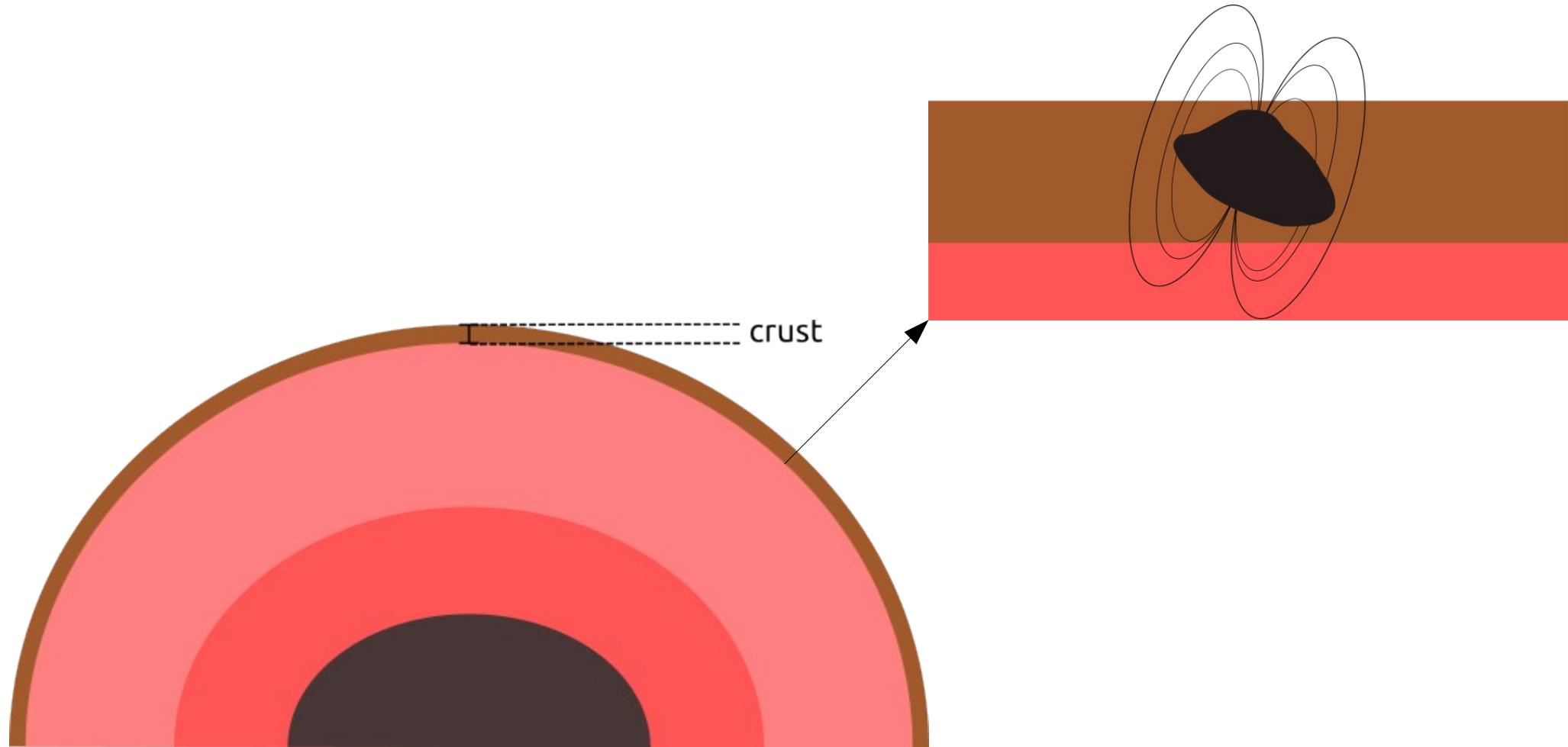


A maior componente é de origem interna (cerca de 90%), mais especificamente, no núcleo externo.

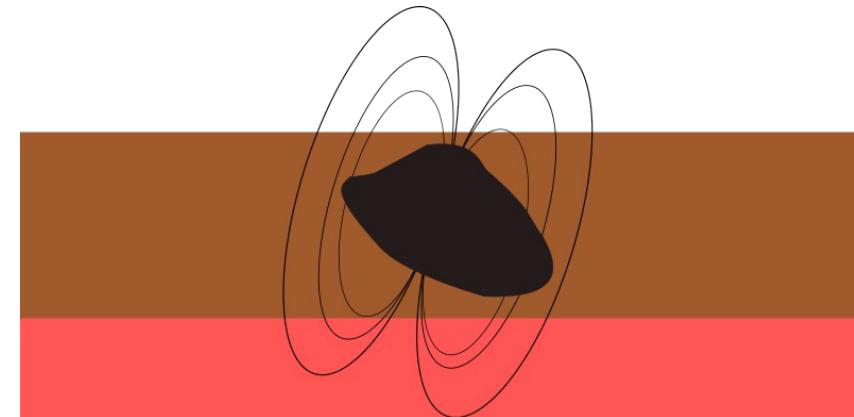
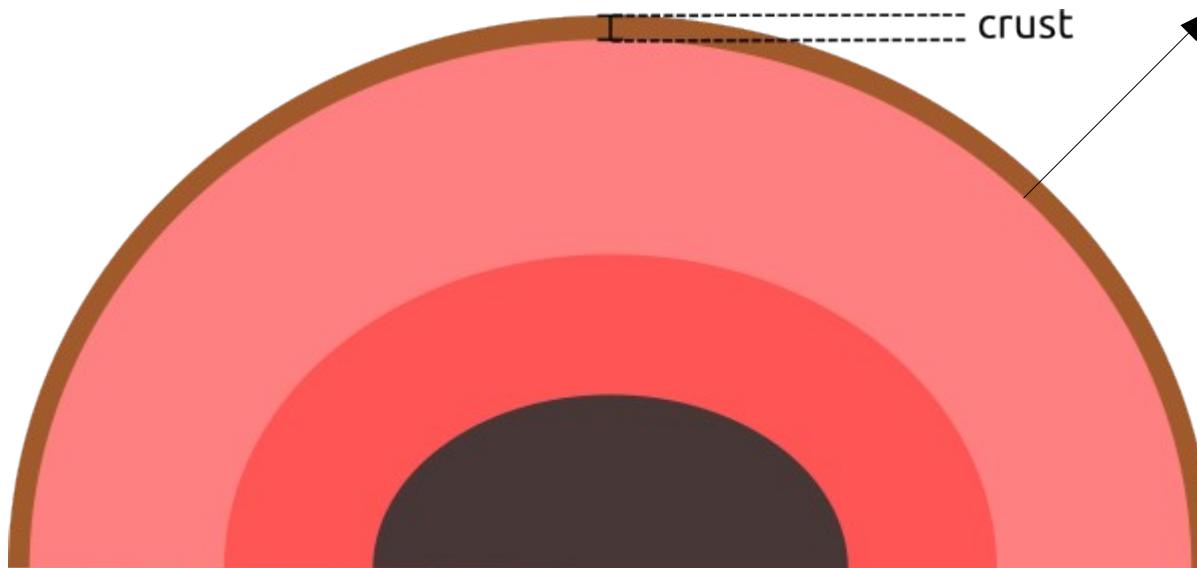
Predominantemente dipolar, que varia em direção e intensidade ao longo do anos.

Pode ser modelado, por exemplo, pelo *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*

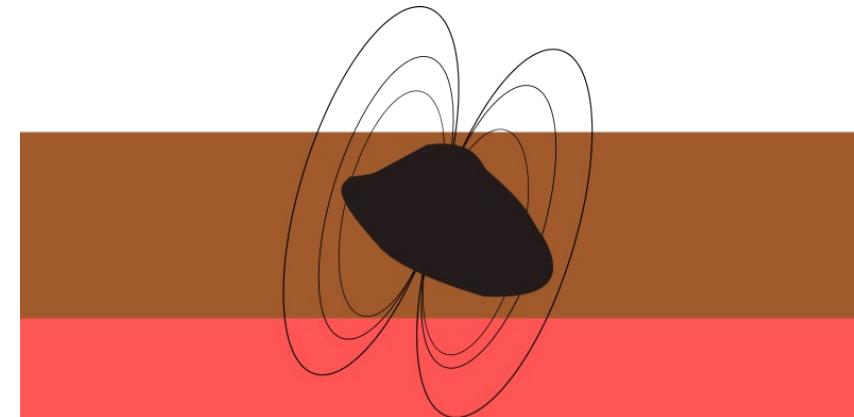
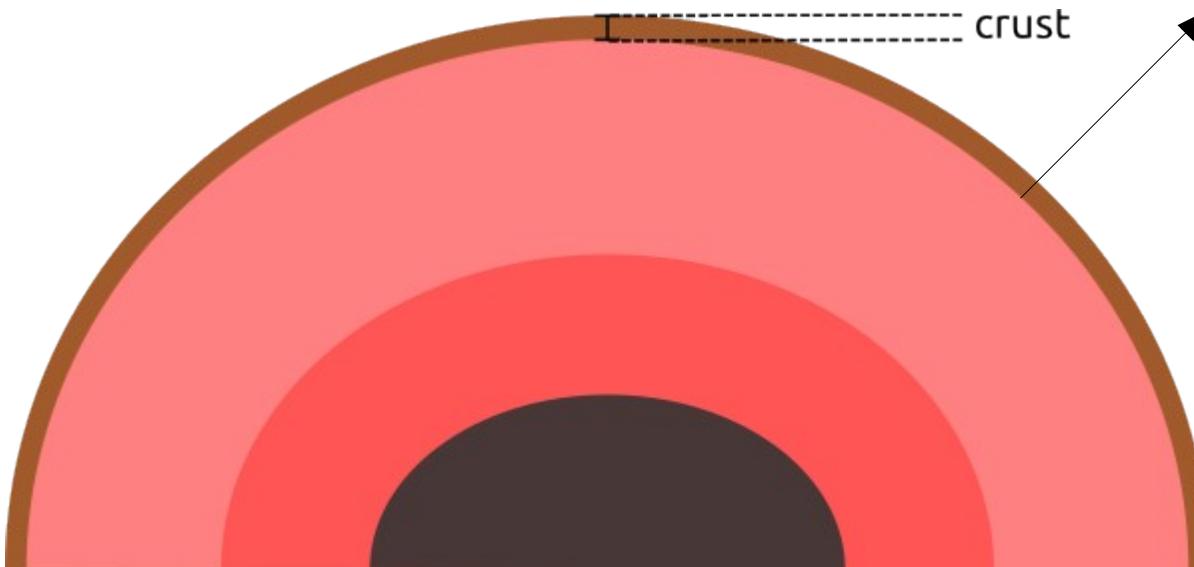
**...agora o campo crustal.**



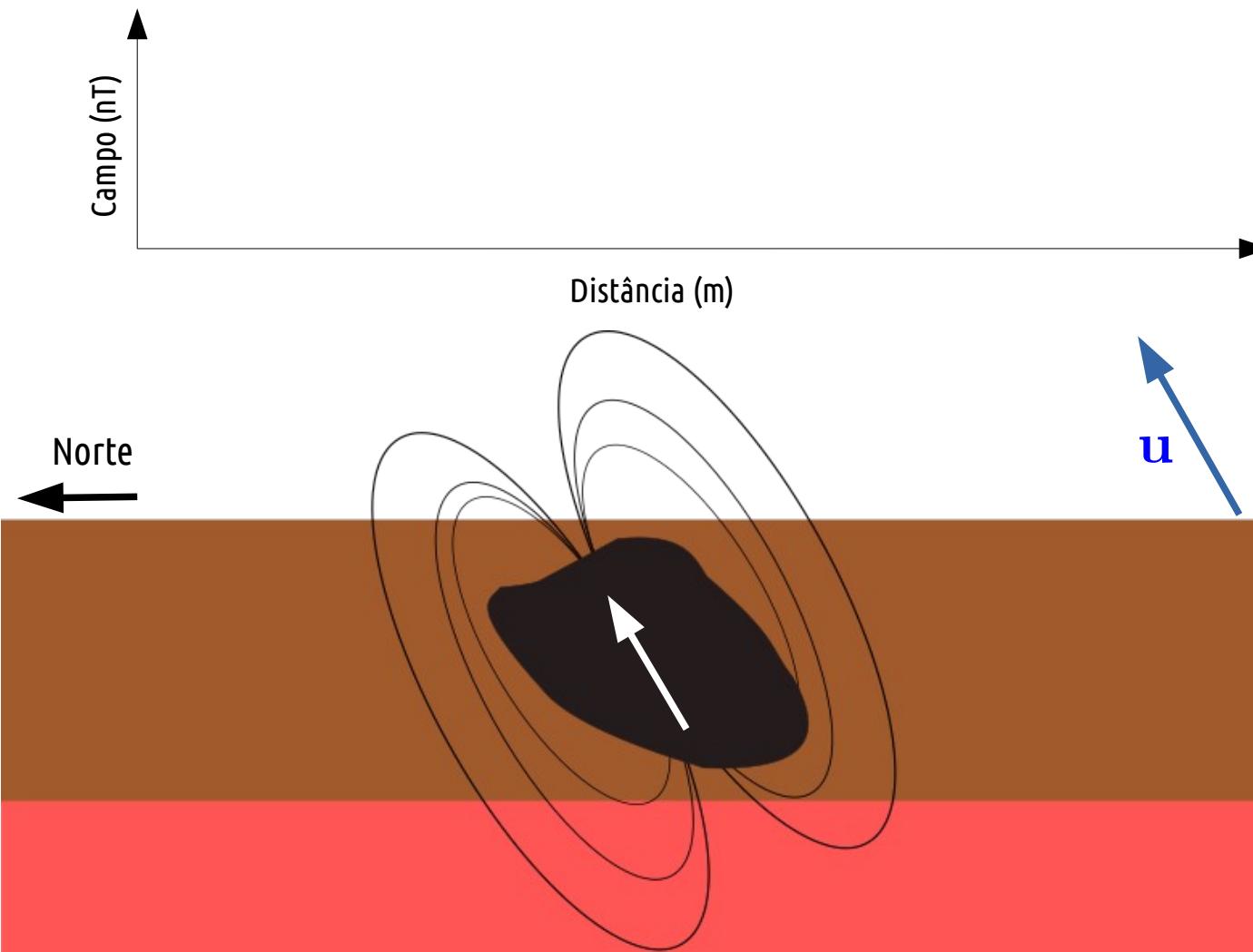
Esta é a componente que é gerada pelas **rochas magnetizadas na crosta terrestre**. Geralmente, são estas formações que estamos interessados na **Geofísica Aplicada**.

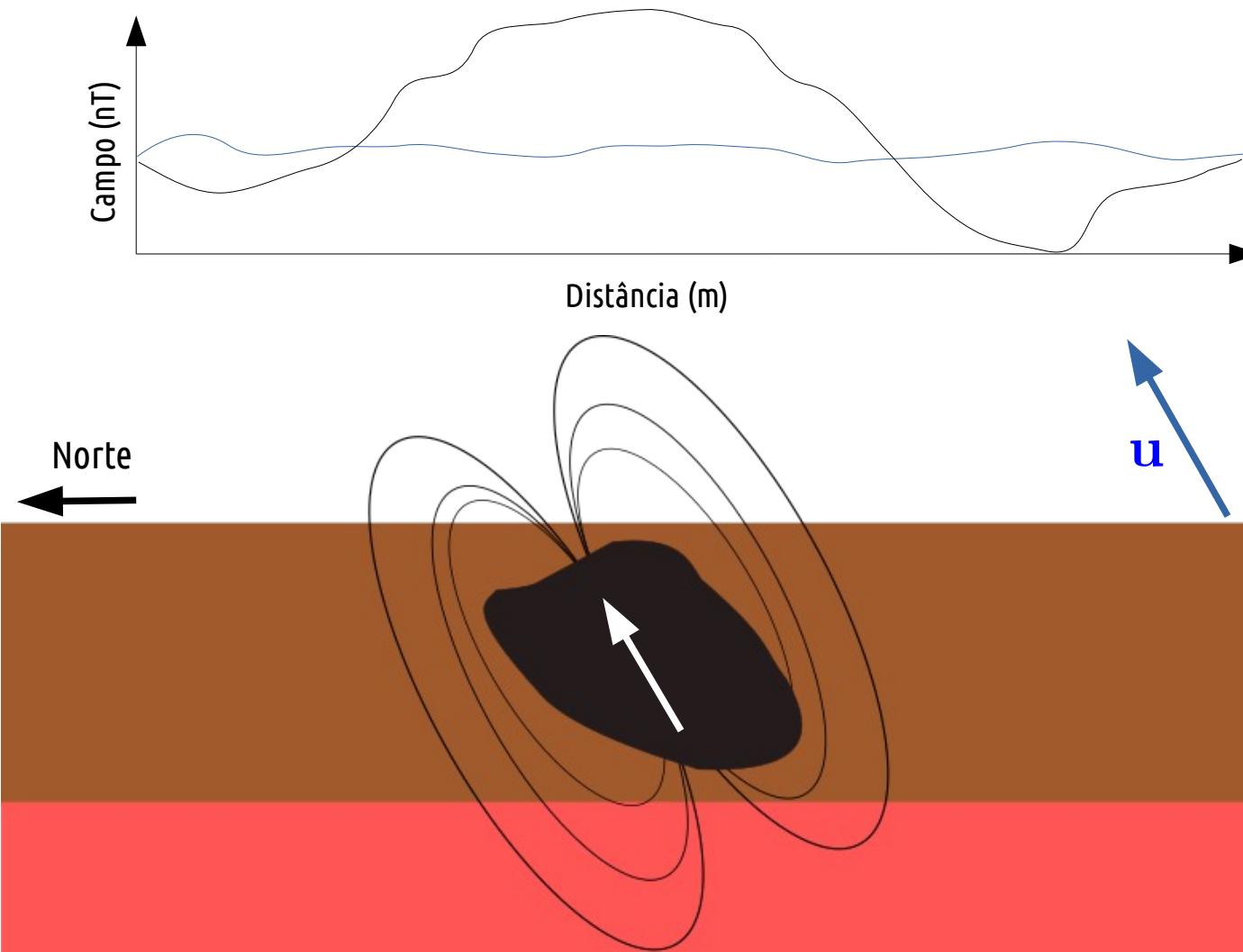


Esta é a componente que é gerada pelas **rochas magnetizadas na crosta terrestre**. Geralmente, são estas formações que estamos interessados na **Geofísica Aplicada**.

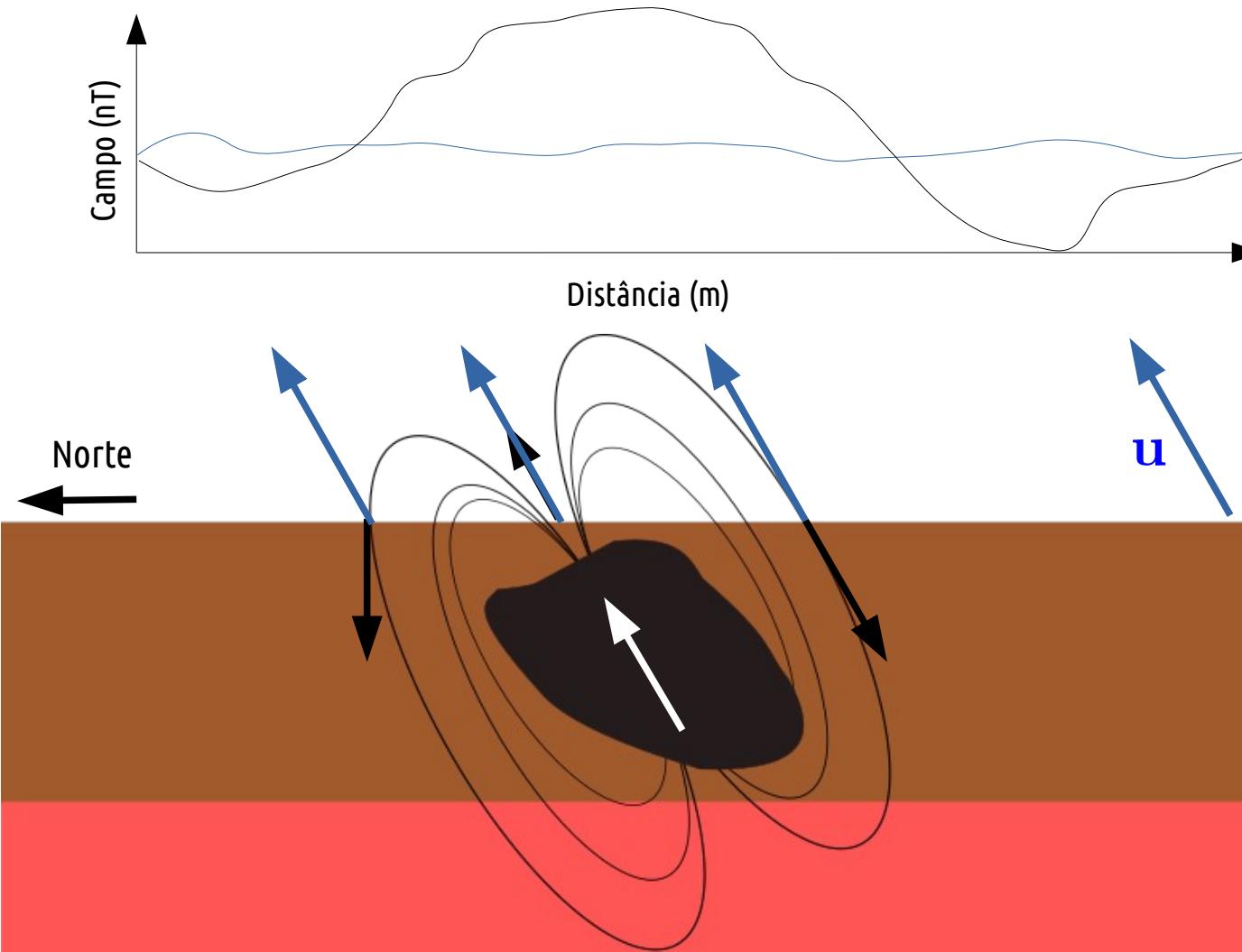


Estes campos são gerados pela presença de **minerais magnéticos** presentes na rochas em subsuperfície.

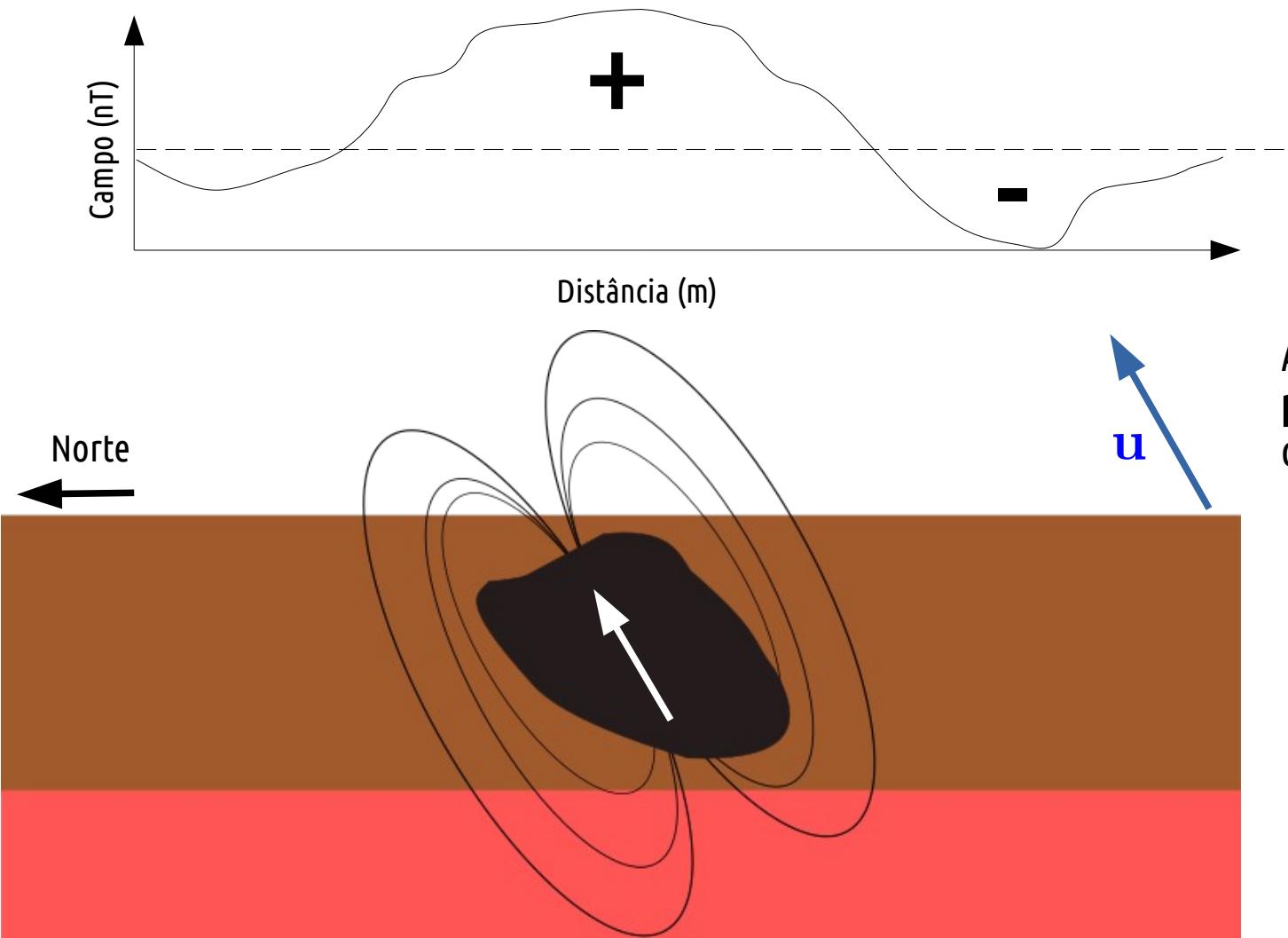




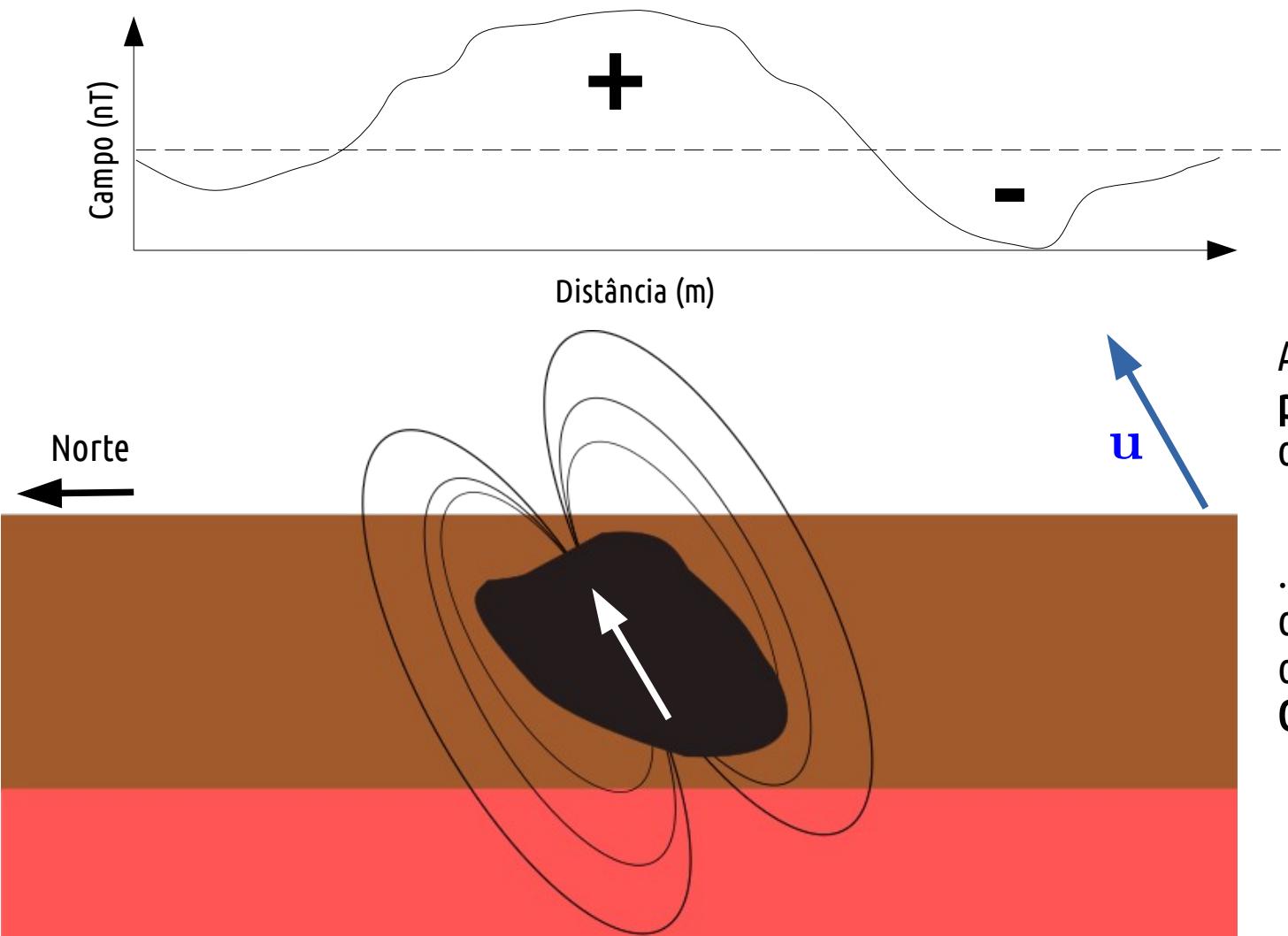
A soma entre a **componente principal** e a **componente crustal** é o que chamamos de **Campo Total**...



A soma entre a **componente principal** e a **componente crustal** é o que chamamos de **Campo Total**...

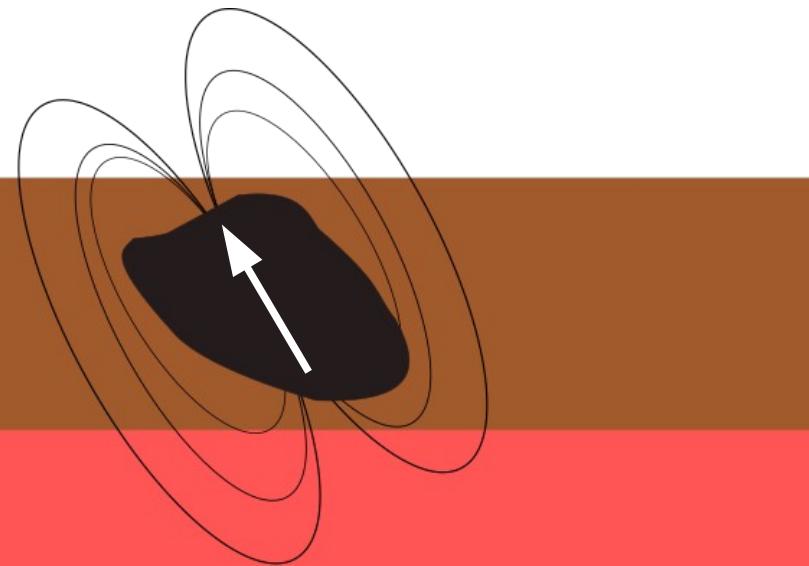


A soma entre a **componente principal** e a **componente crustal** é o que chamamos de **Campo Total**...

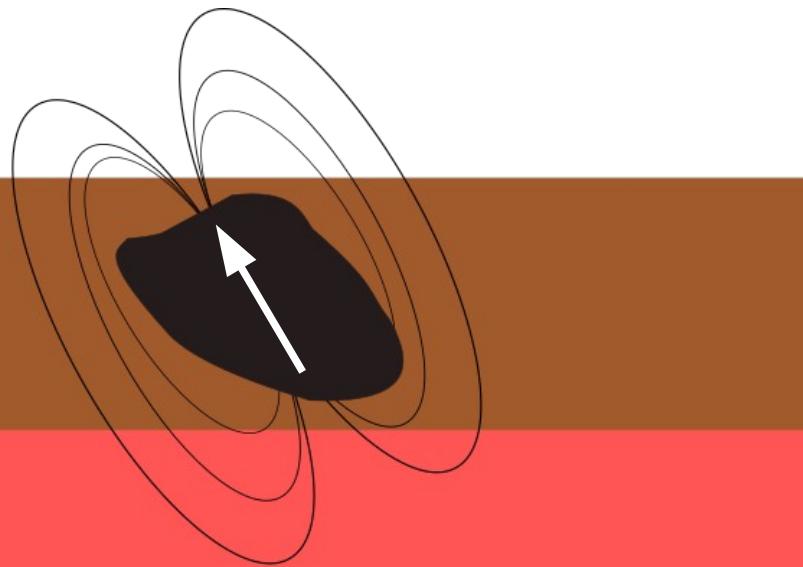


A soma entre a **componente principal** e a **componente crustal** é o que chamamos de **Campo Total**...

...uma vez que retiramos o efeito da componente principal, iremos obter o que chamamos de **Anomalia de Campo Total**



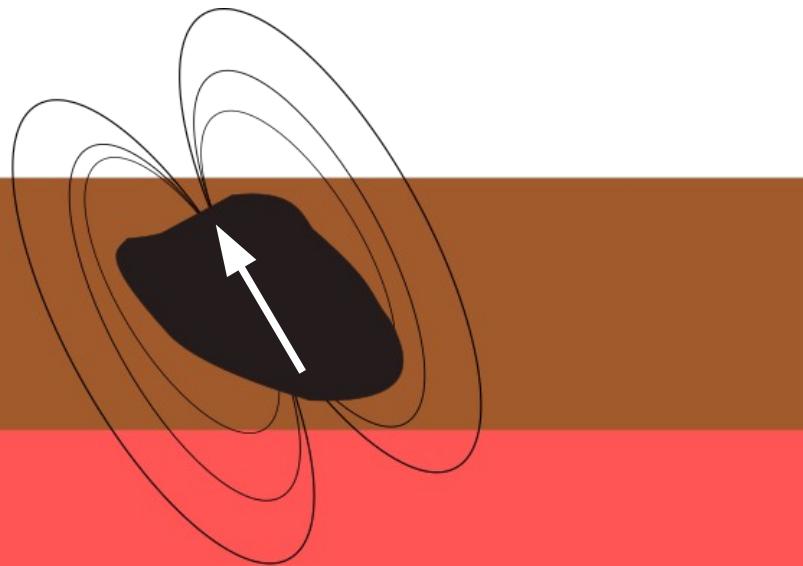
O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.



O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$

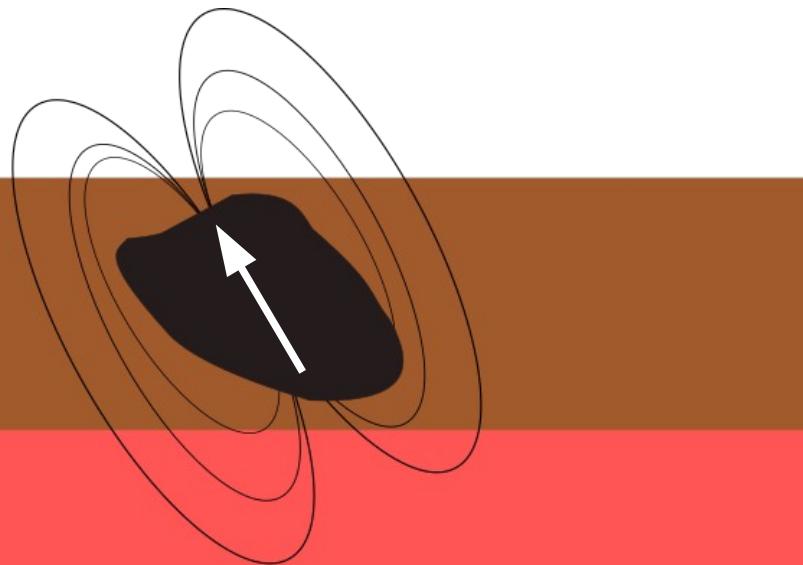


O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$

**Magnetização Induzida** : quando um material é submetido a um campo externo.

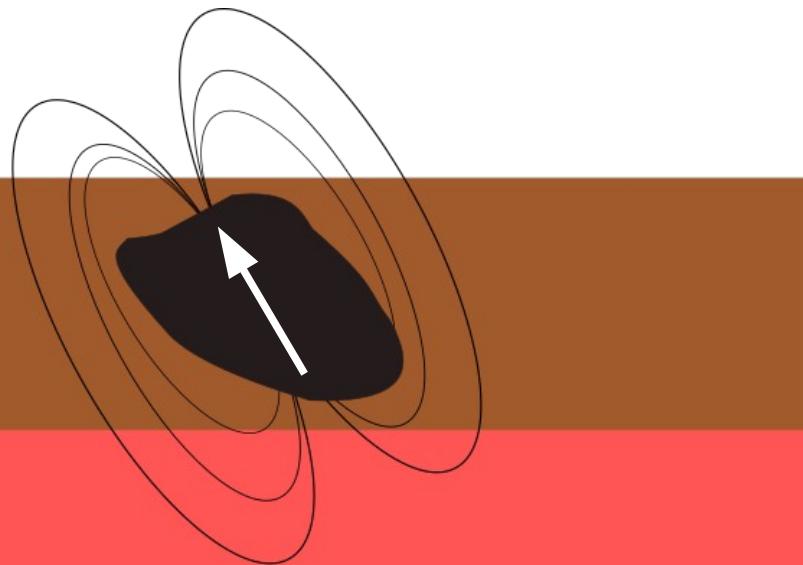


O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

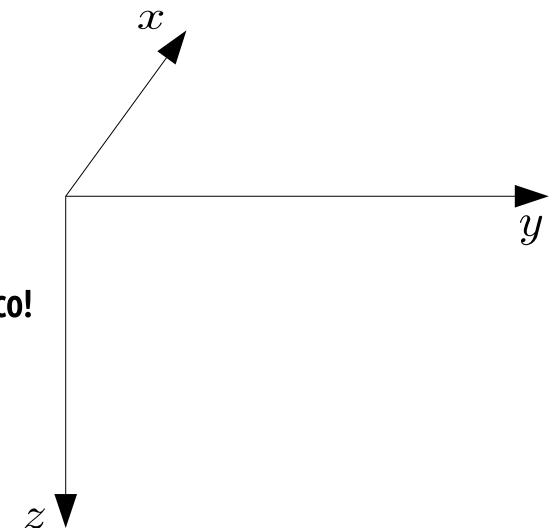
$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$

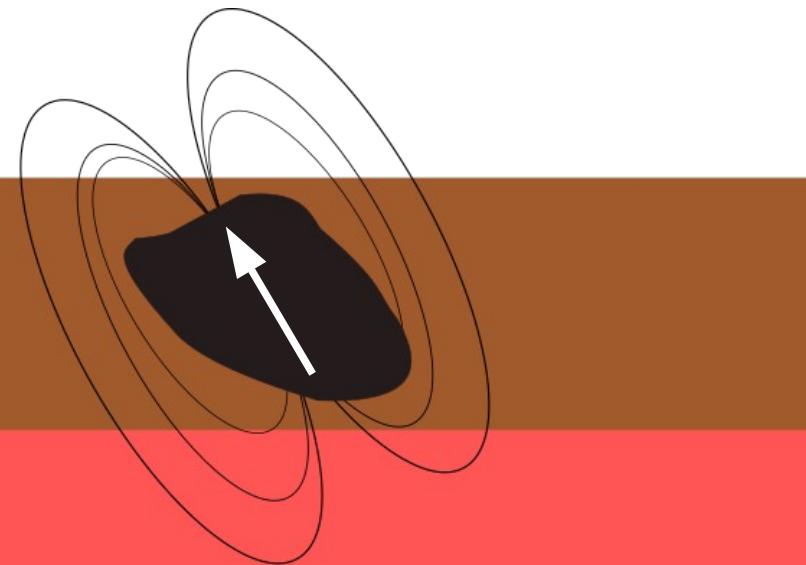
**Magnetização Remanente Natural** : é a magnetização adquirida na época da formação da rocha.



O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

Sistema de Coordenada Topocêntrico!

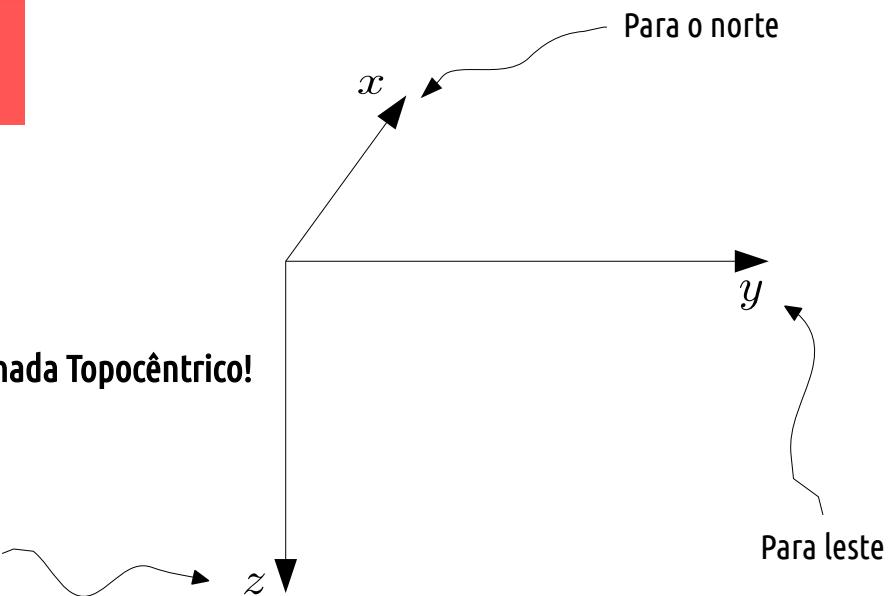


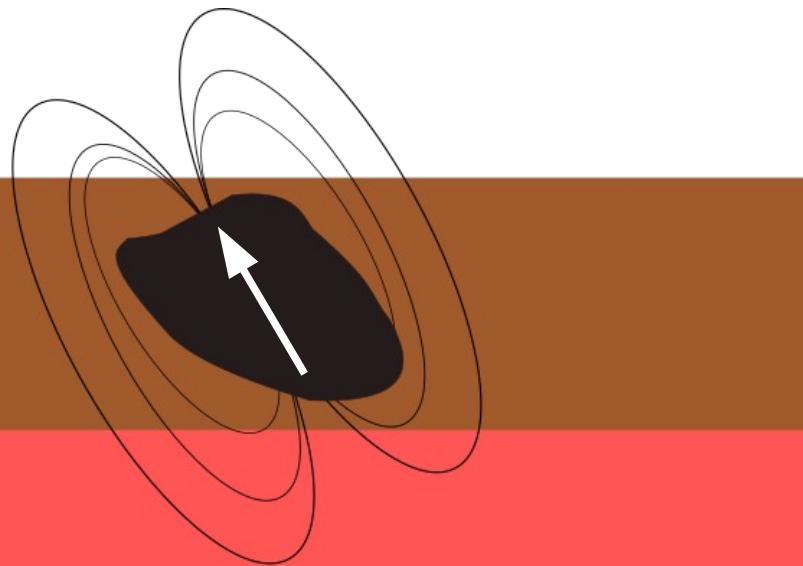


O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

Sistema de Coordenada Topocêntrico!

Para baixo

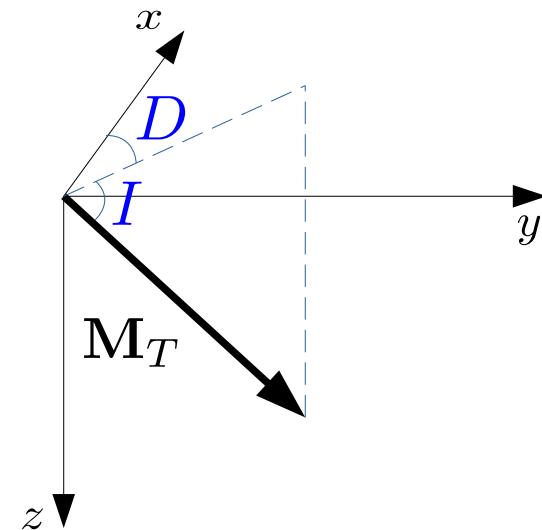


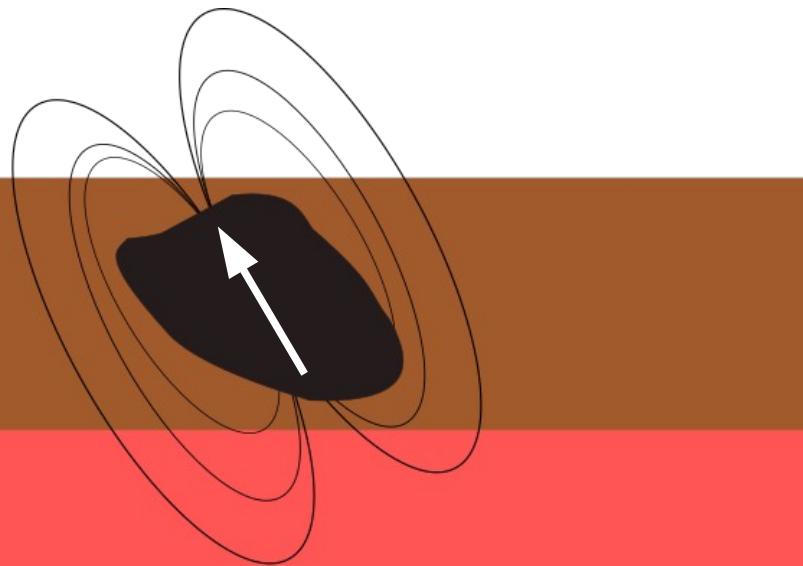


O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$

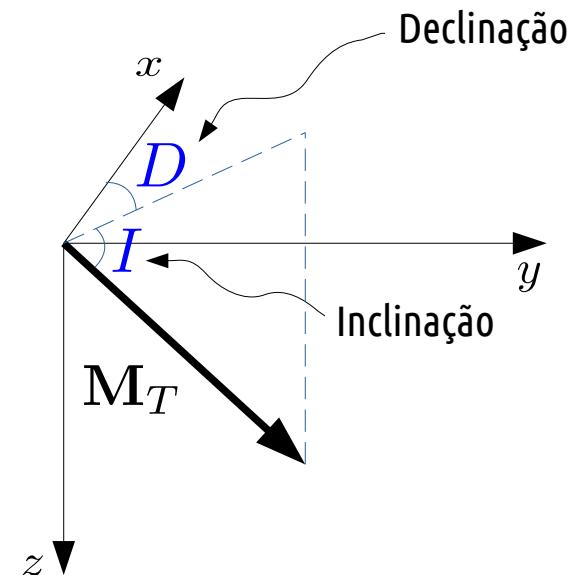


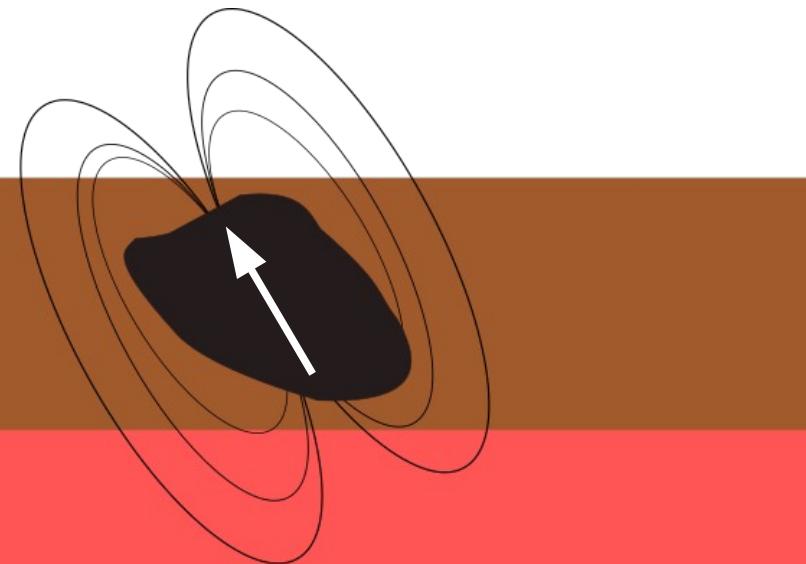


O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$



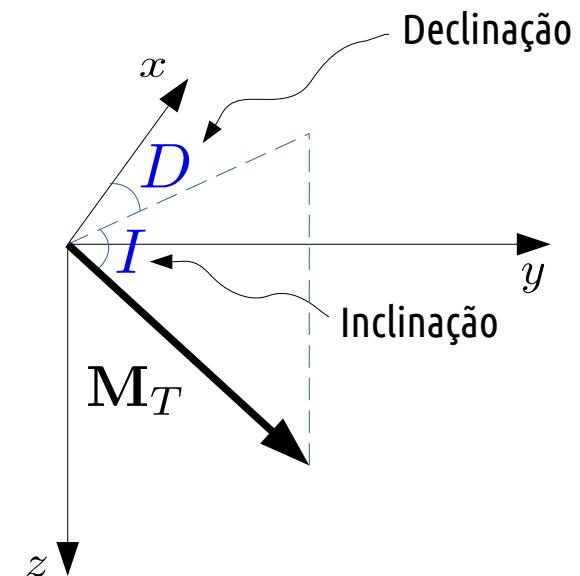


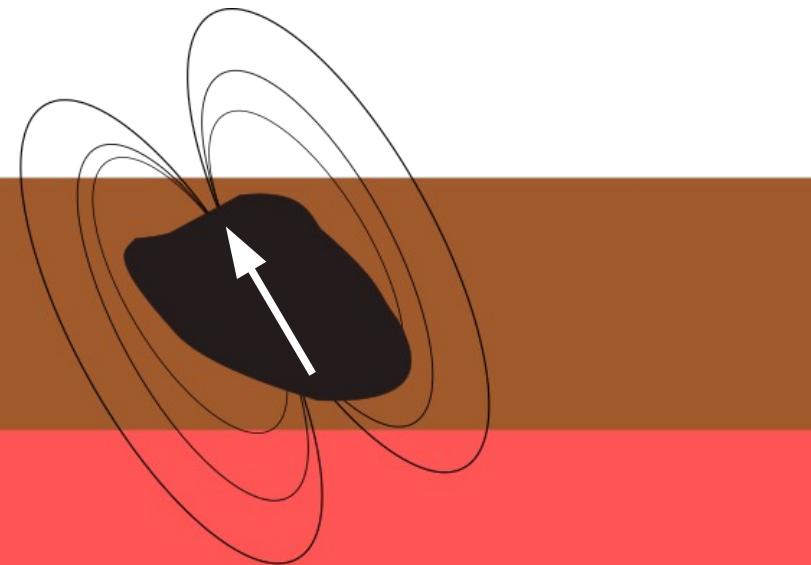
O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

$$\hat{\mathbf{m}} = (I, D)$$

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$





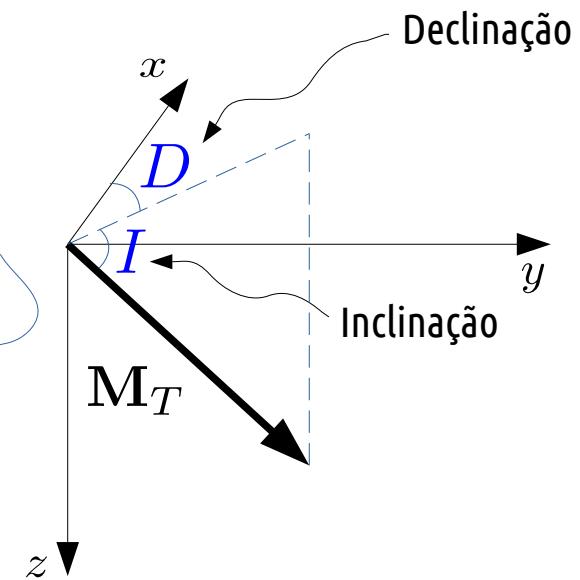
O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

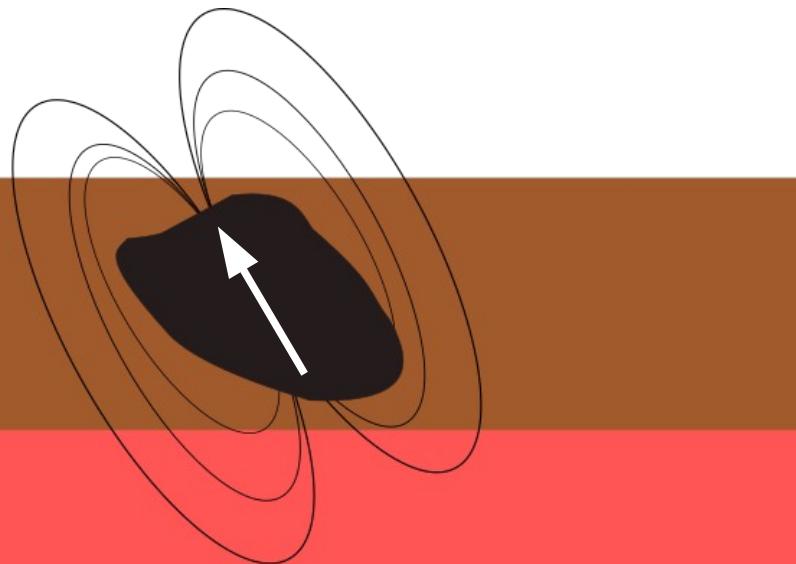
$\hat{\mathbf{m}} = (I, D)$

Em Graus!

**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$



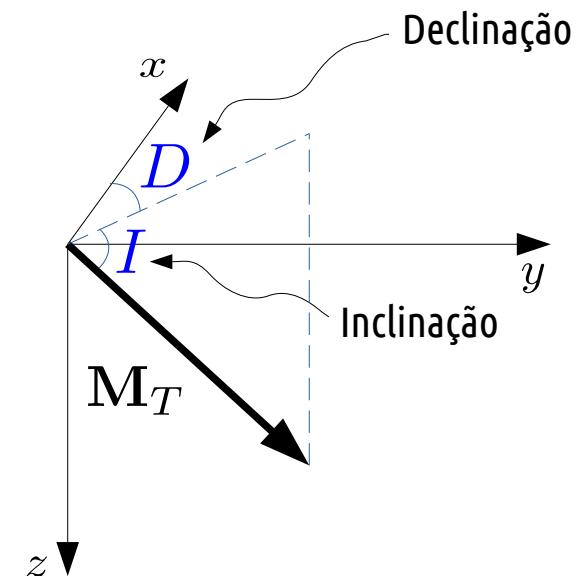


O campo gerado pela fonte magnética dependerá da **distribuição de magnetização** no interior da terra.

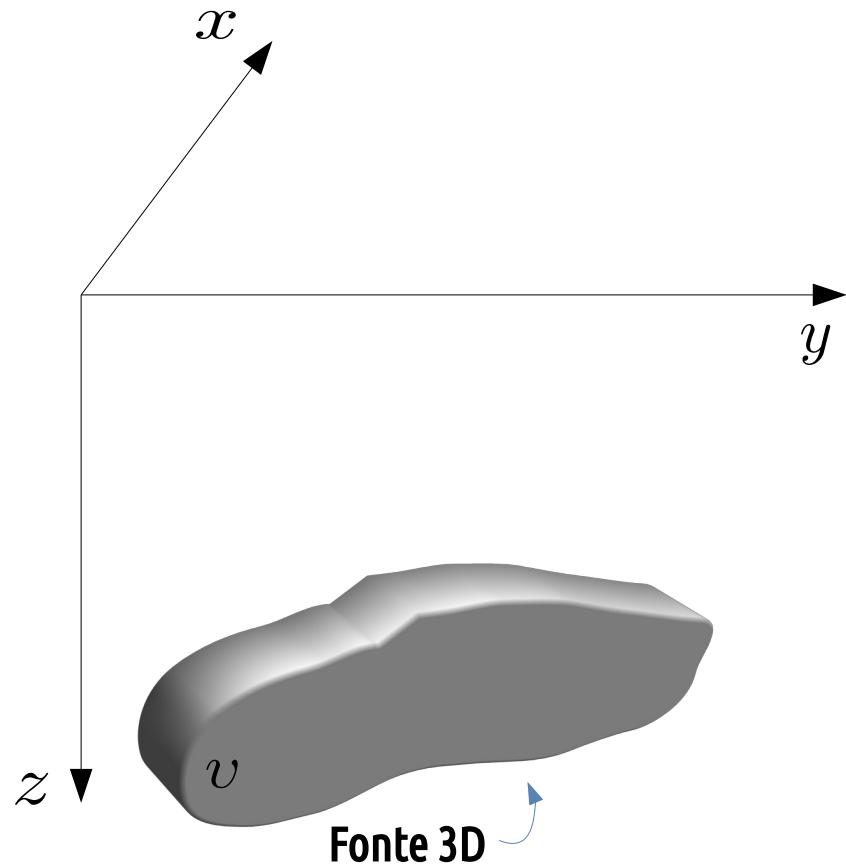
Saber a **magnetização** servirá para **modelagem** e também para o **processamento**!

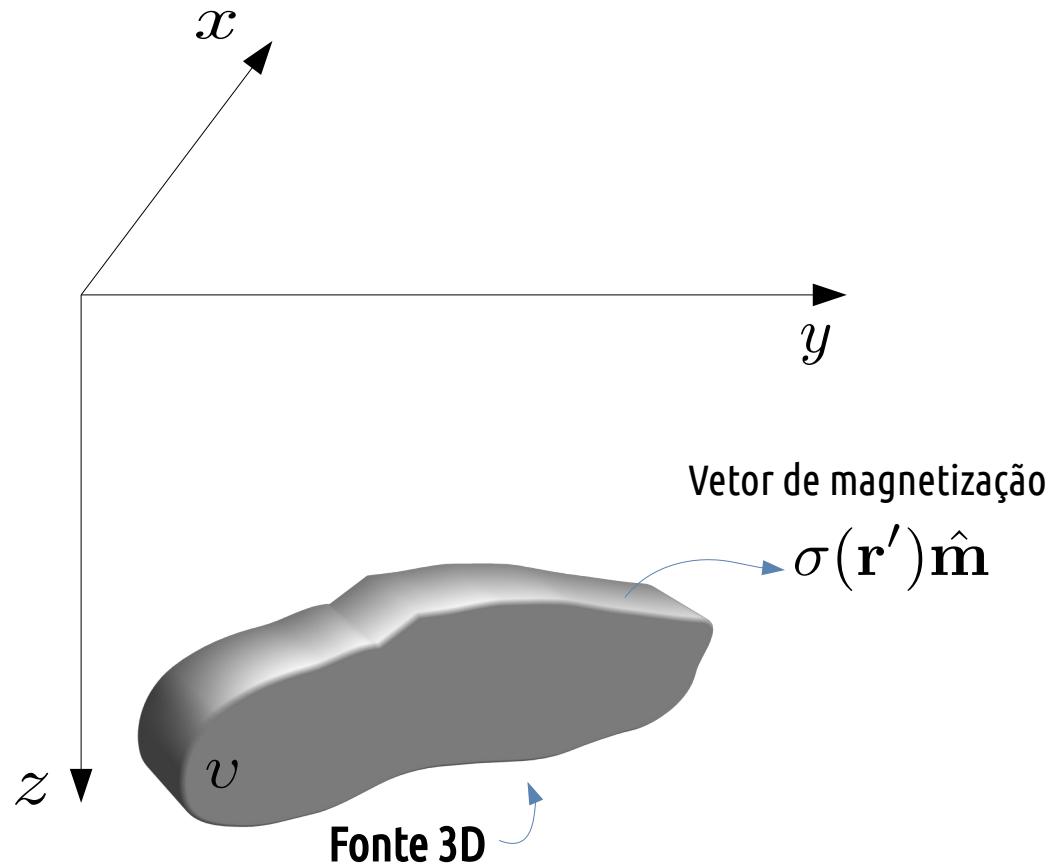
**Magnetização Total** : a soma entre as componentes induzida e remanente.

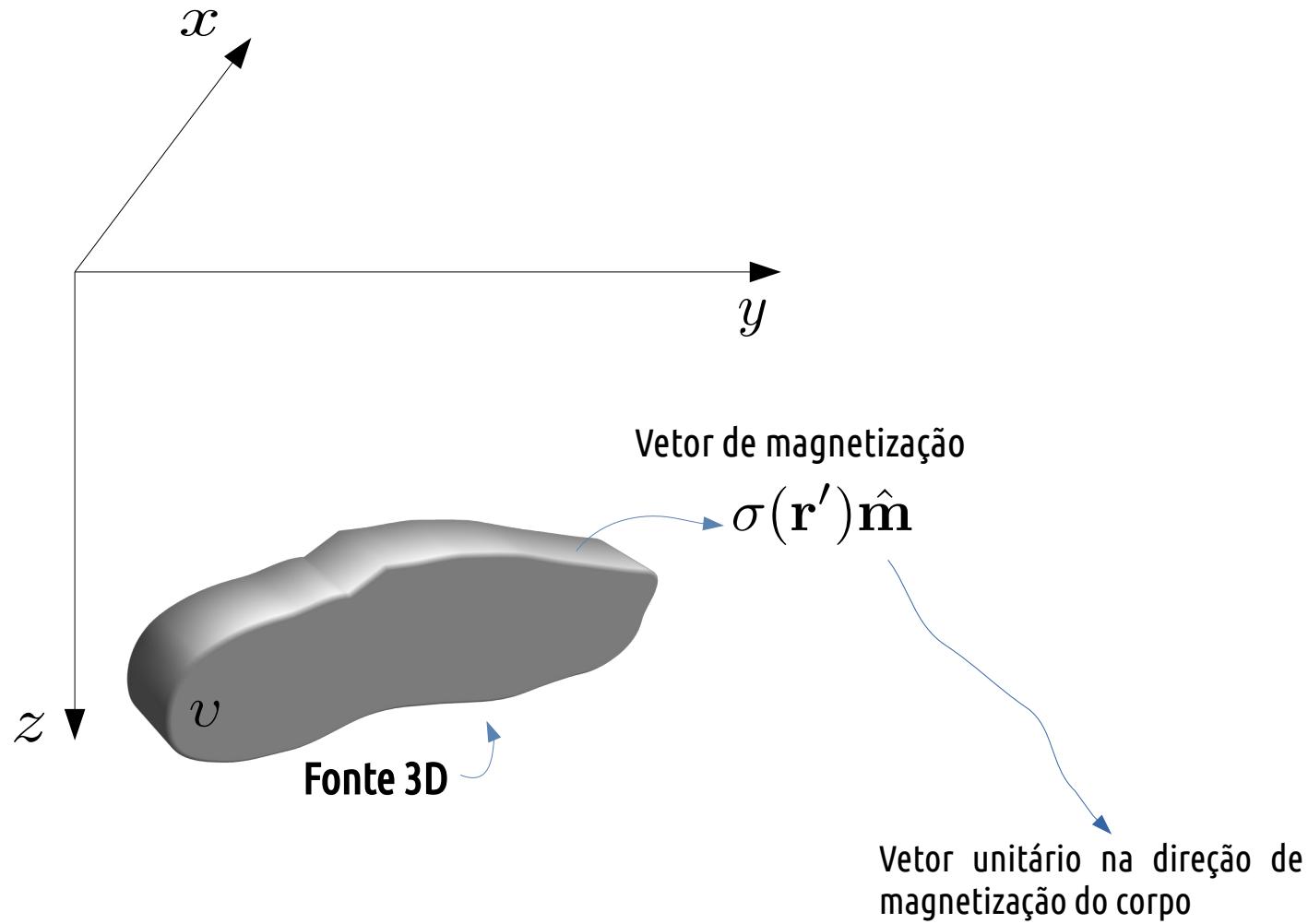
$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R$$

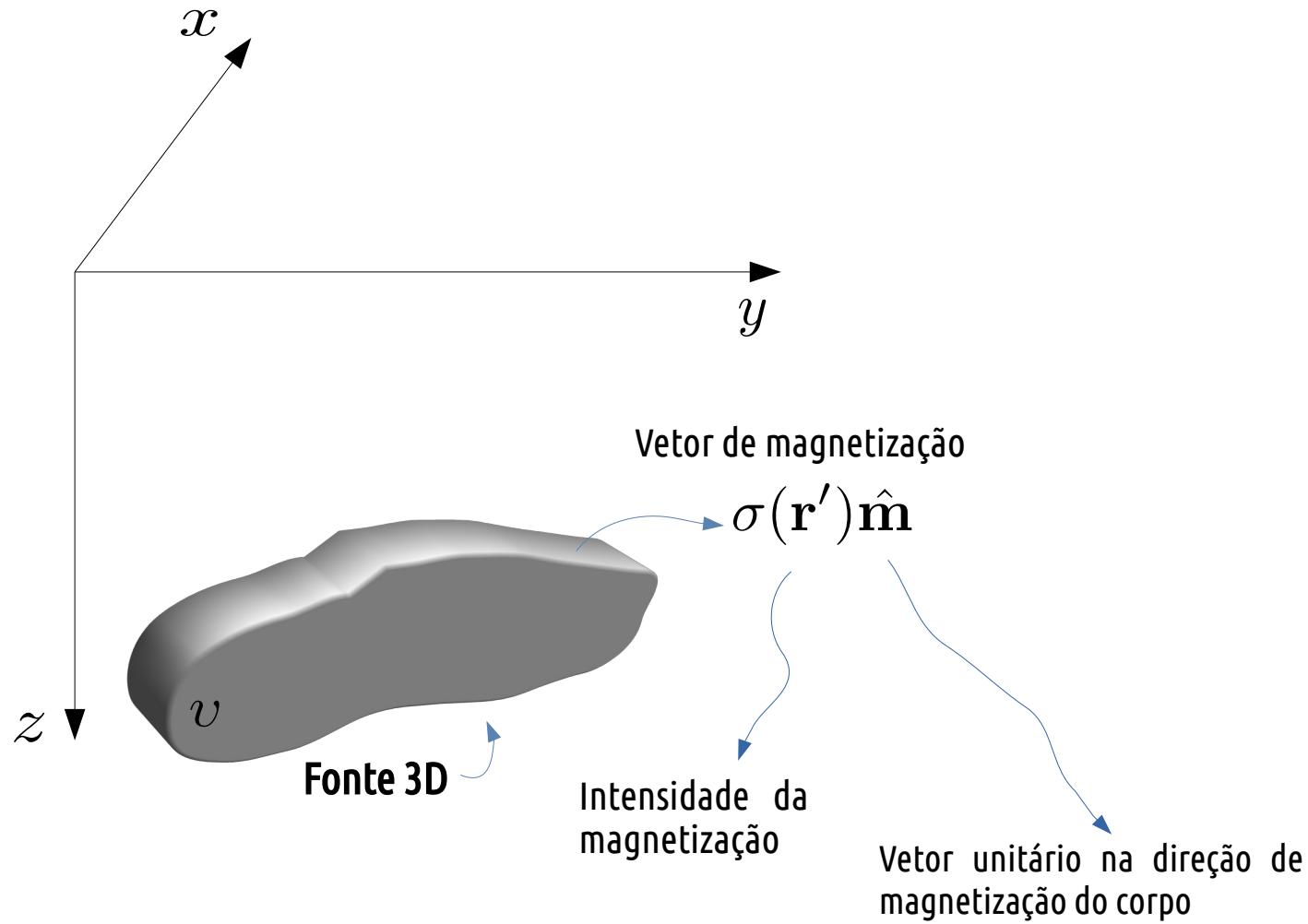


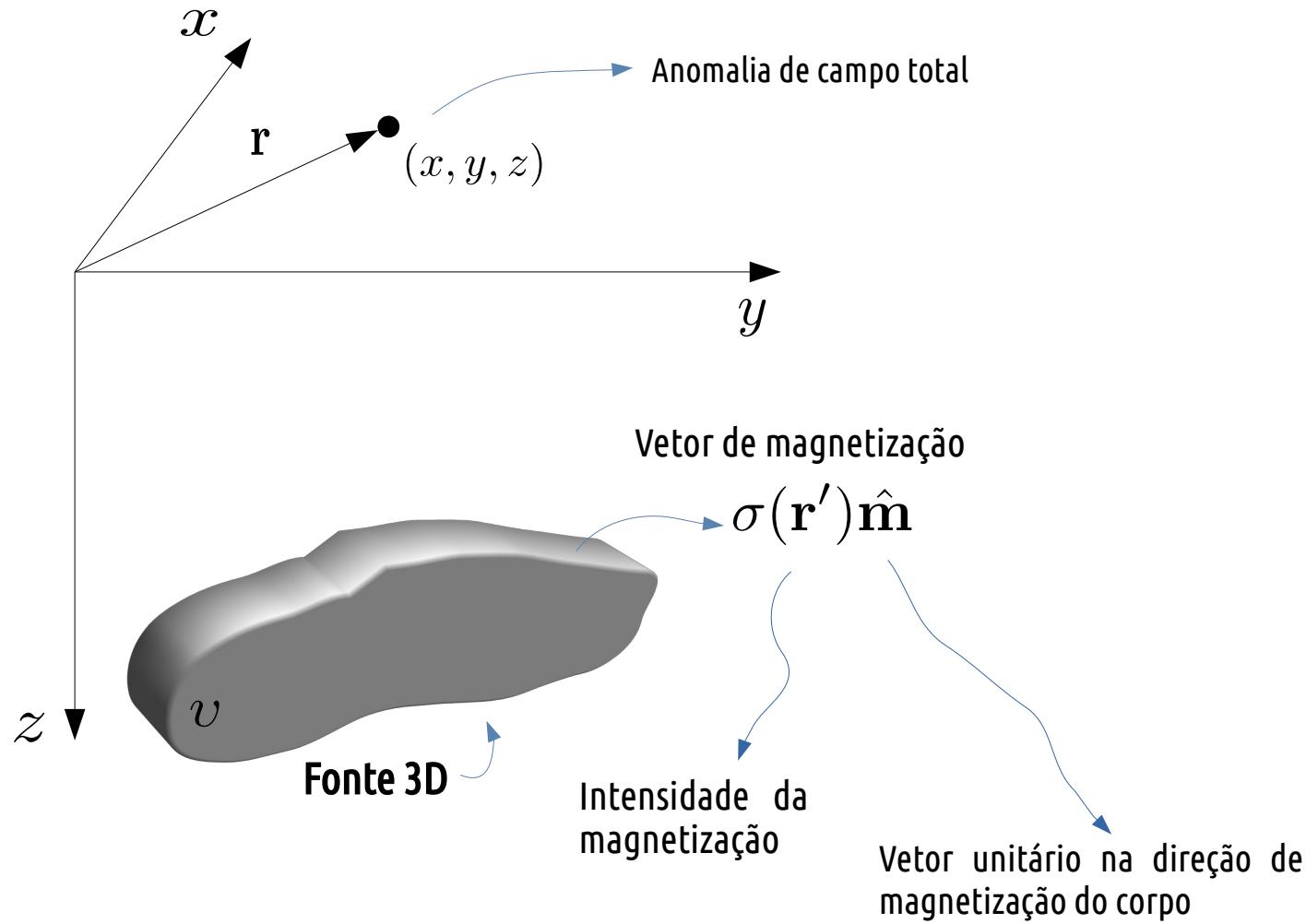
**Do ponto de vista físico-matemático, o campo magnético gerado por uma fonte arbitrária...**

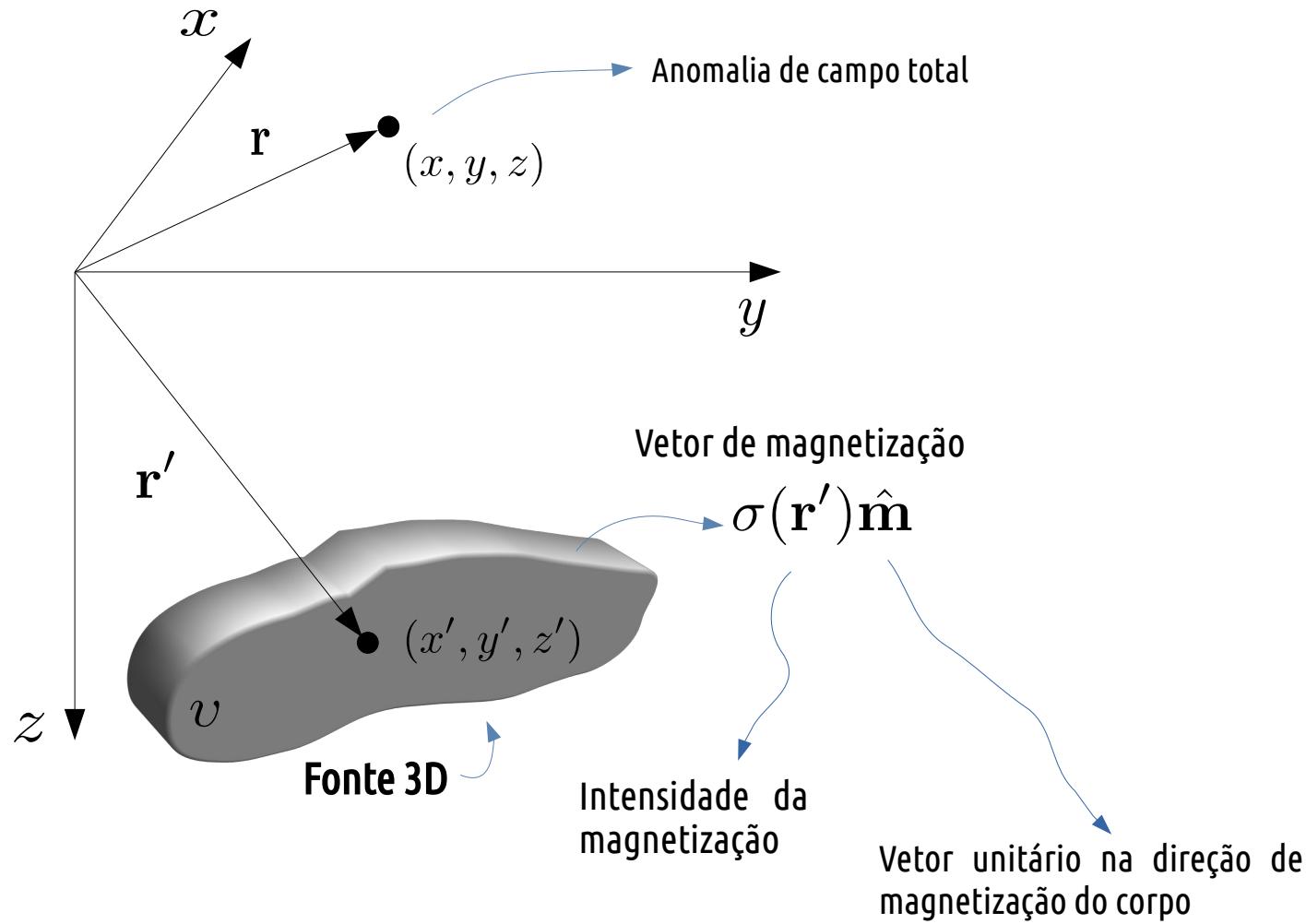


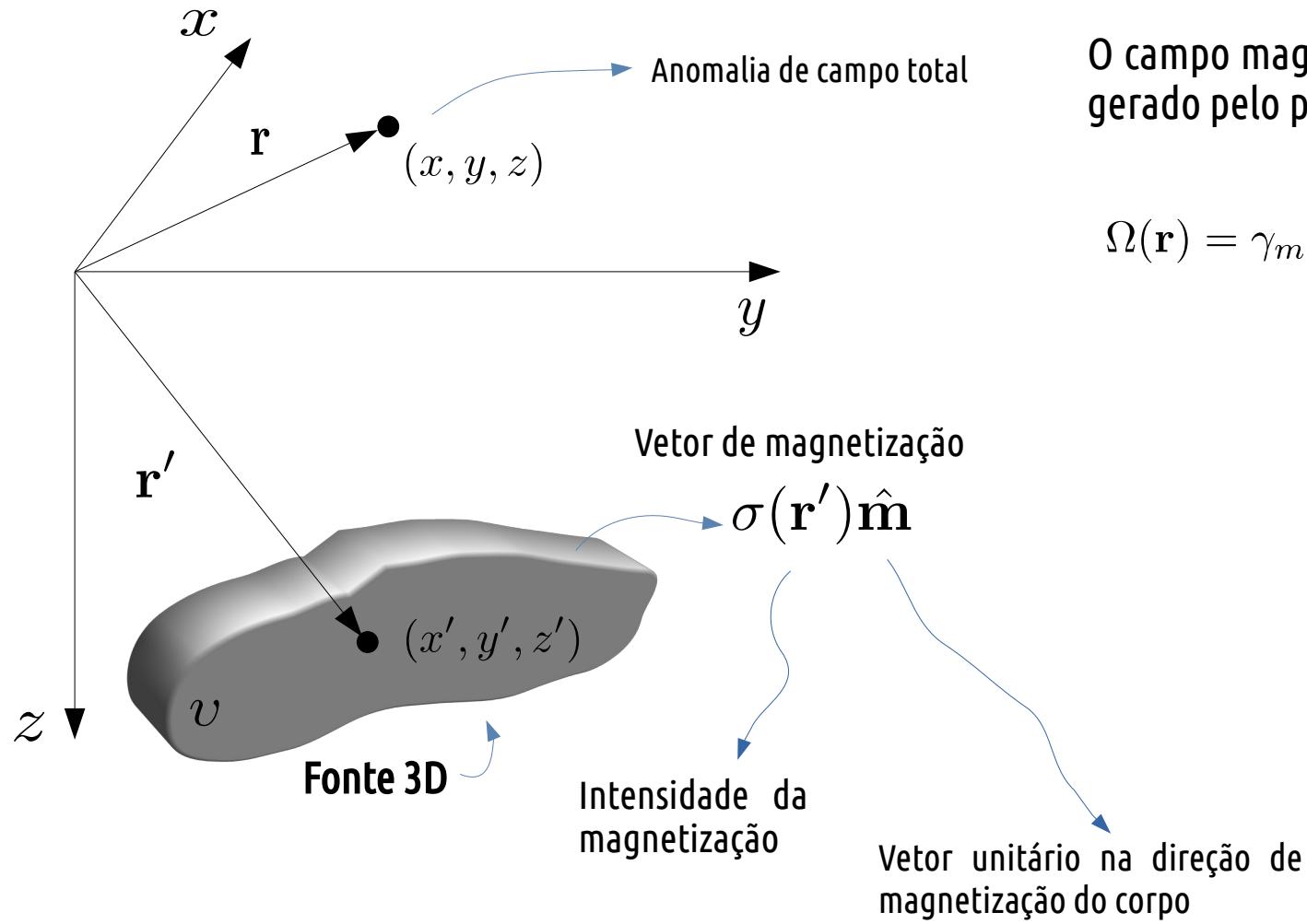


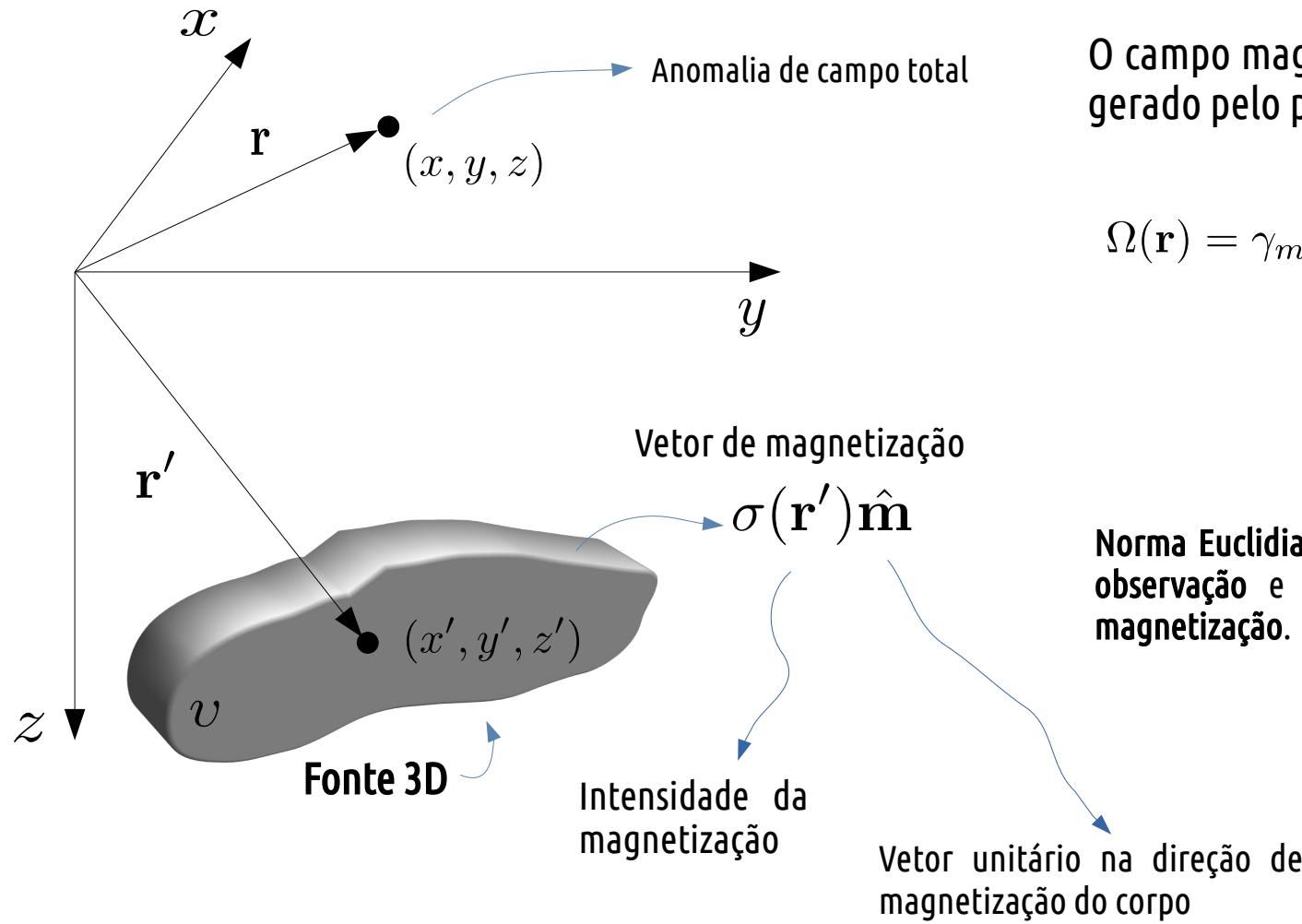






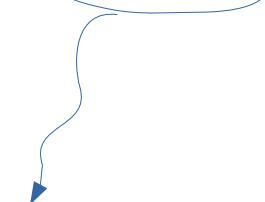






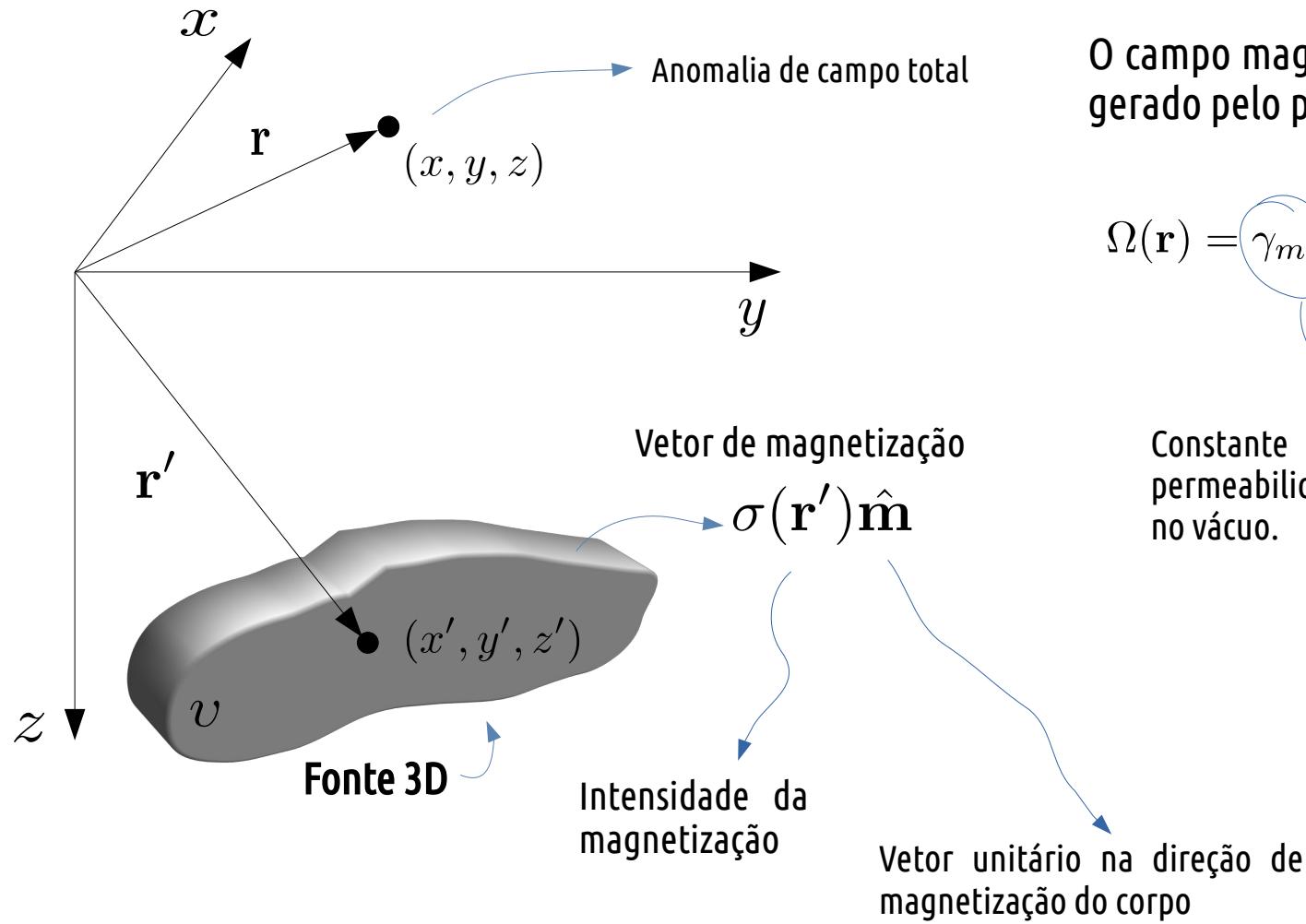
O campo magnético desta distribuição é gerado pelo potencial:

$$\Omega(\mathbf{r}) = \gamma_m \iiint_v \sigma(\mathbf{r}') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}' \|} d\mathbf{v}'$$



Norma Euclidiana que mede a distância entre um ponto de observação e um ponto no interior da distribuição de magnetização.

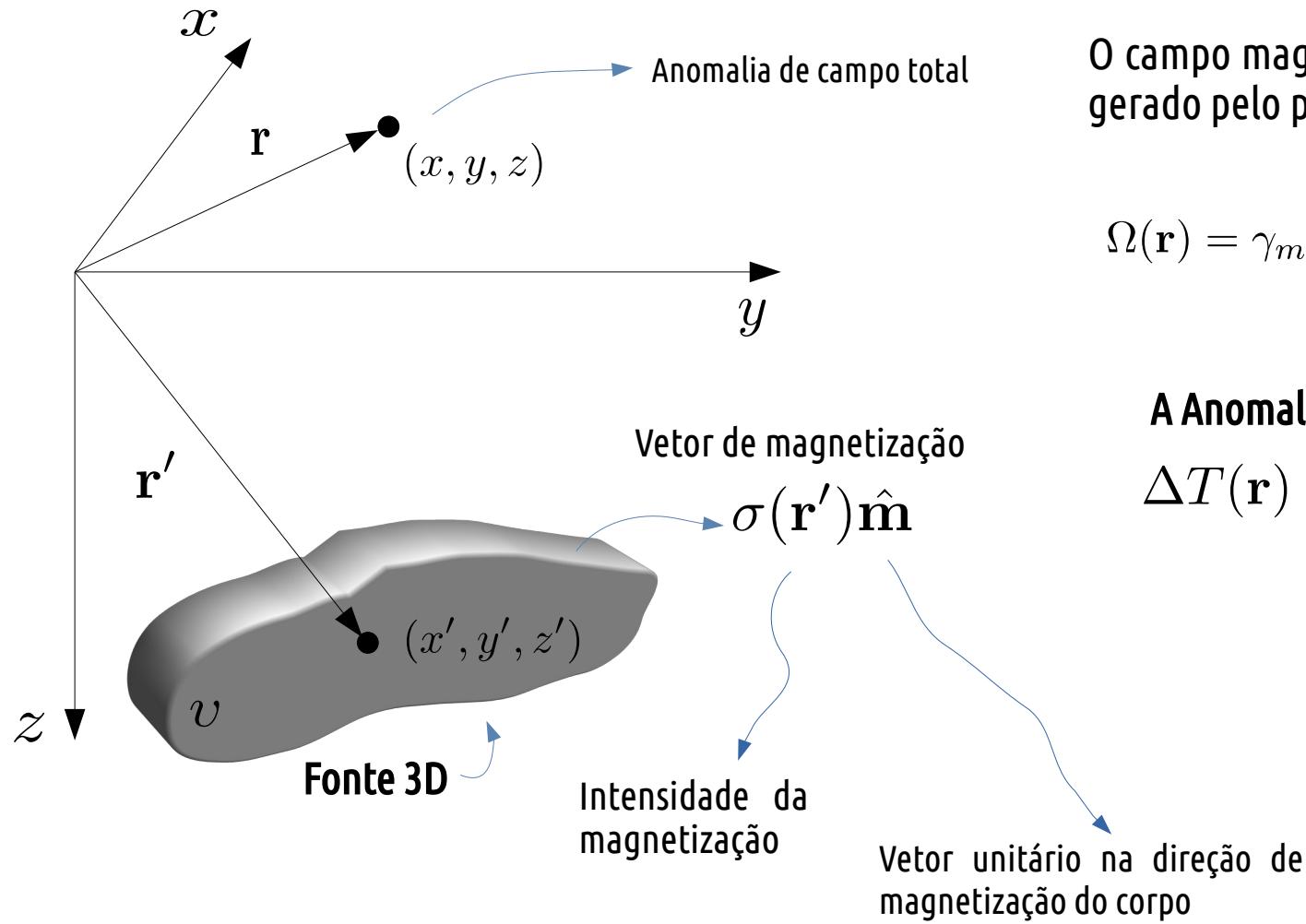
Vector unitário na direção de magnetização do corpo



O campo magnético desta distribuição é gerado pelo potencial:

$$\Omega(\mathbf{r}) = \gamma_m \iiint_v \sigma(\mathbf{r}') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}' \|} dv'$$

Constante proporcional a permeabilidade magnética no vácuo.

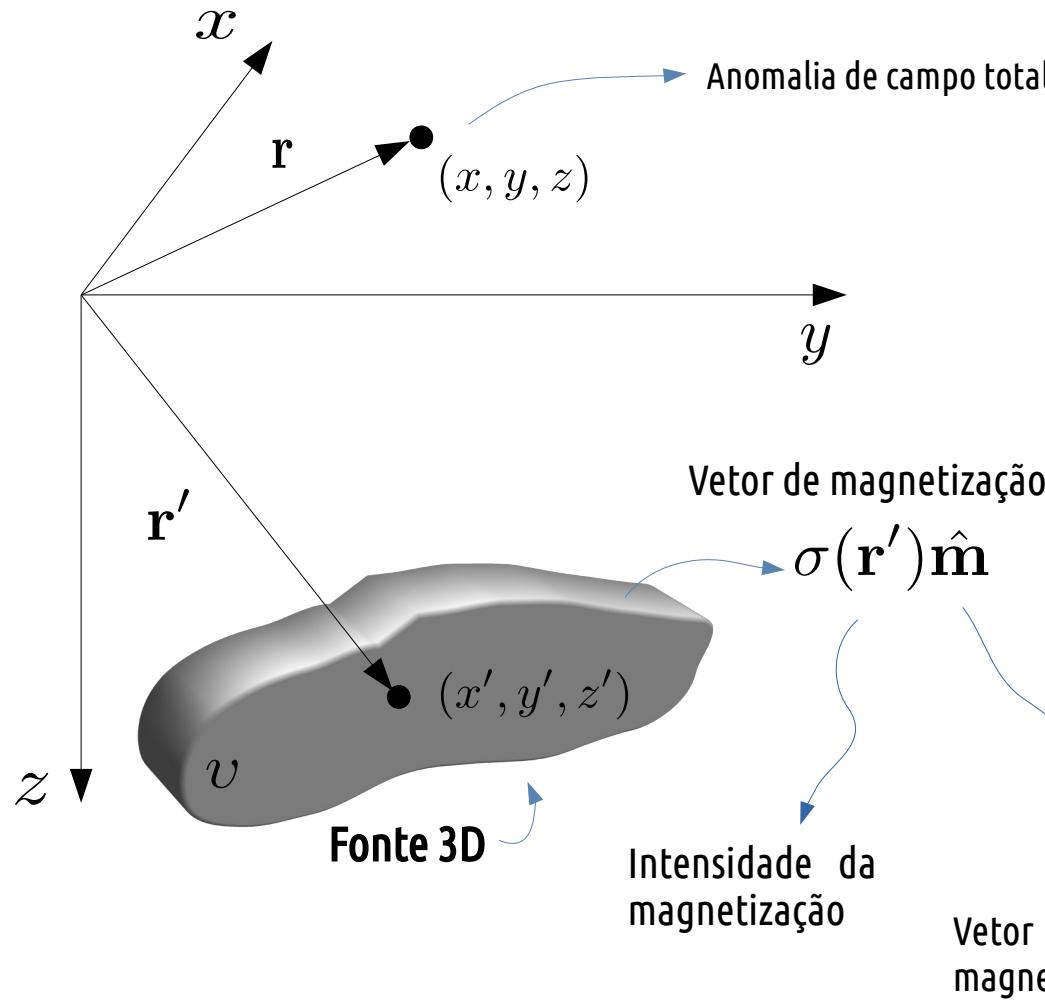


O campo magnético desta distribuição é gerado pelo potencial:

$$\Omega(\mathbf{r}) = \gamma_m \iiint_v \sigma(\mathbf{r}') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}' \|} d\mathbf{v}'$$

### A Anomalia de Campo Total

$$\Delta T(\mathbf{r}) = \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}) \hat{\mathbf{m}}$$



O campo magnético desta distribuição é gerado pelo potencial:

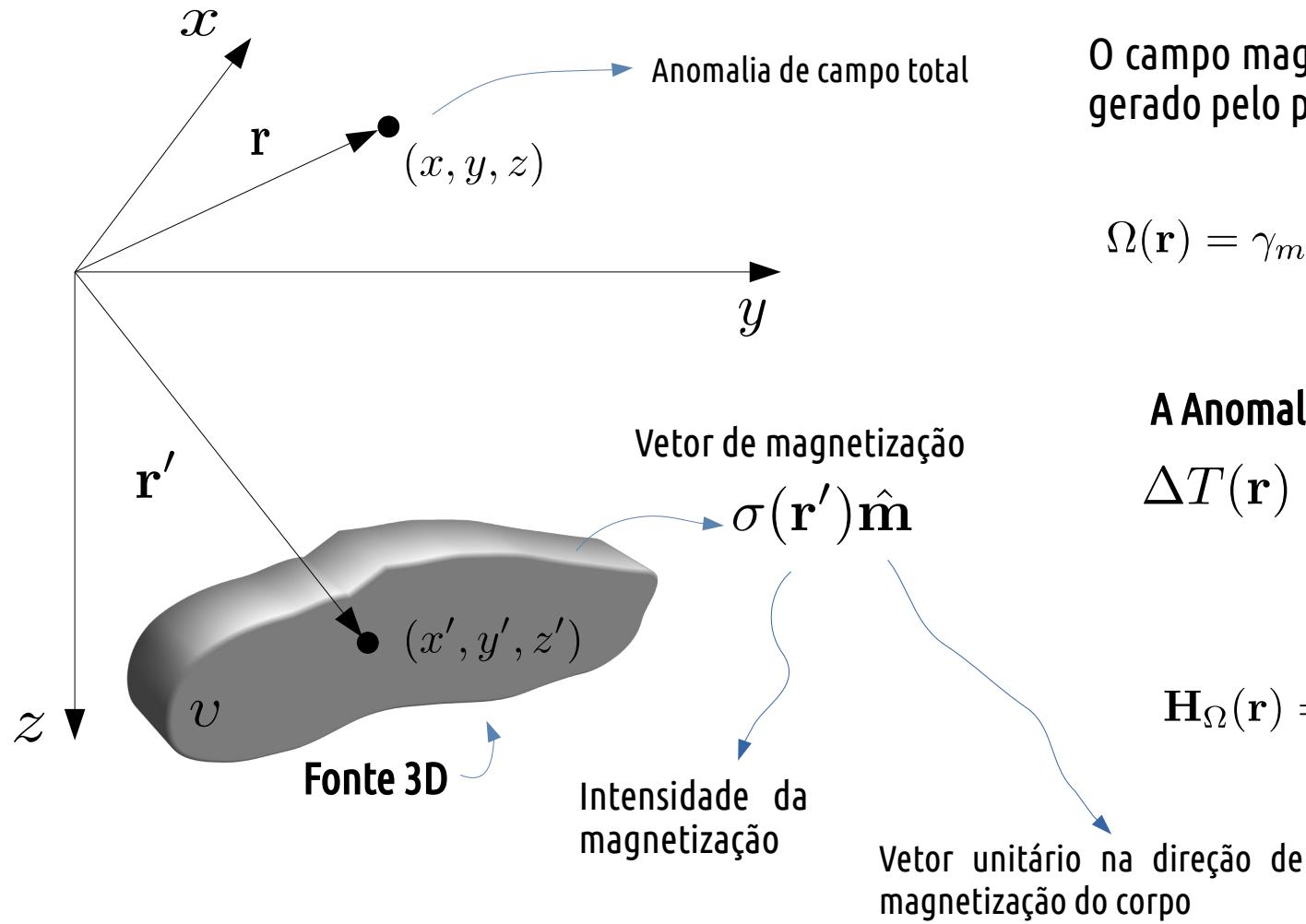
$$\Omega(\mathbf{r}) = \gamma_m \iiint_v \sigma(\mathbf{r}') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}' \|} dv'$$

### A Anomalia de Campo Total

$$\Delta T(\mathbf{r}) = \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}) \hat{\mathbf{m}}$$

Vetor unitário na direção do campo principal

Vetor unitário na direção de magnetização do corpo



O campo magnético desta distribuição é gerado pelo potencial:

$$\Omega(\mathbf{r}) = \gamma_m \iiint_v \sigma(\mathbf{r}') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}' \|} dv'$$

### A Anomalia de Campo Total

$$\Delta T(\mathbf{r}) = \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}) \hat{\mathbf{m}}$$

$$\mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}) = \begin{bmatrix} \partial_{xx}\Omega(\mathbf{r}) & \partial_{xy}\Omega(\mathbf{r}) & \partial_{xz}\Omega(\mathbf{r}) \\ \partial_{yx}\Omega(\mathbf{r}) & \partial_{yy}\Omega(\mathbf{r}) & \partial_{yz}\Omega(\mathbf{r}) \\ \partial_{zx}\Omega(\mathbf{r}) & \partial_{zy}\Omega(\mathbf{r}) & \partial_{zz}\Omega(\mathbf{r}) \end{bmatrix}$$

# Teoria do Potencial e a Camada Equivalente

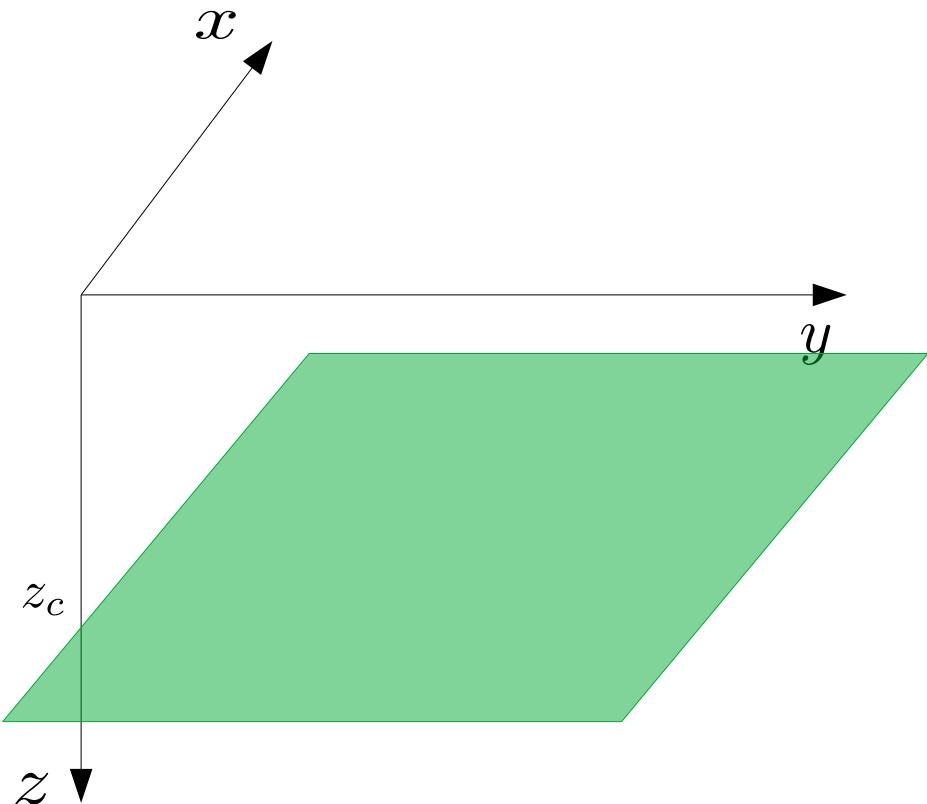
**A Teoria do Potencial** é o que dá a **base física e matemática** para o estudo de funções harmônicas e as soluções para a chamada Equação de Laplace.

**É possível recuperar o efeito gerado de uma distribuição tridimensional de propriedade física por uma distribuição bidimensional, que é chamada de Camada equivalente.**

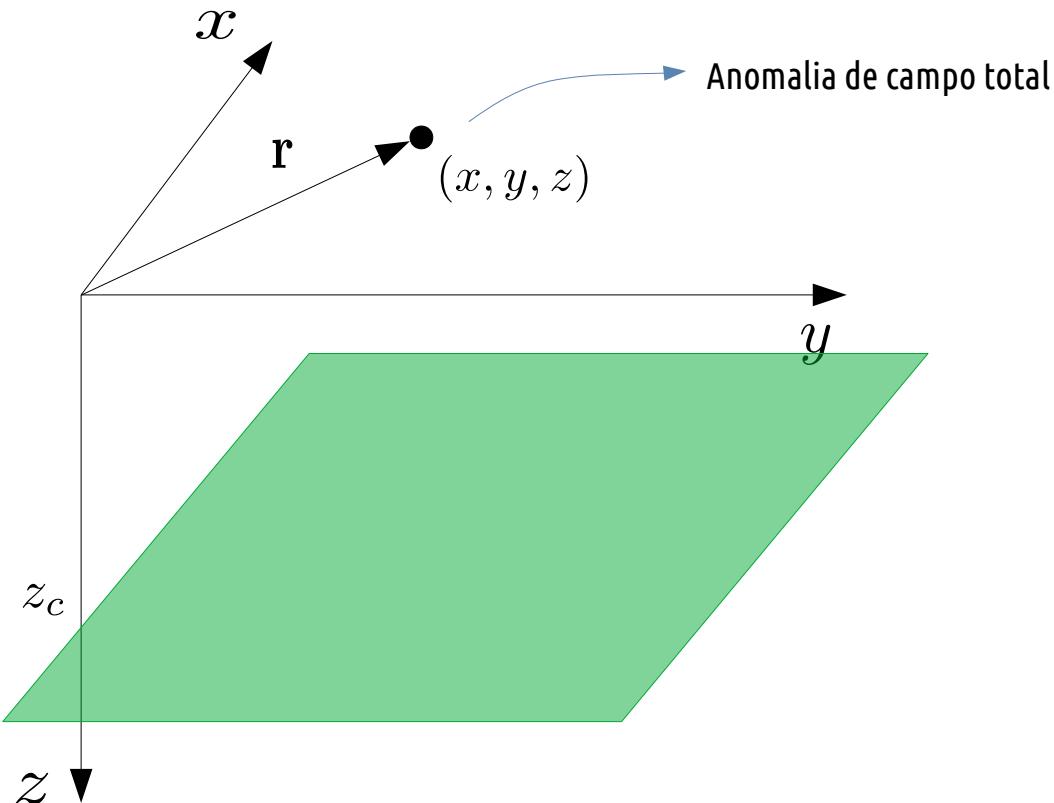
Camada equivalente

(Blakely, 1996)

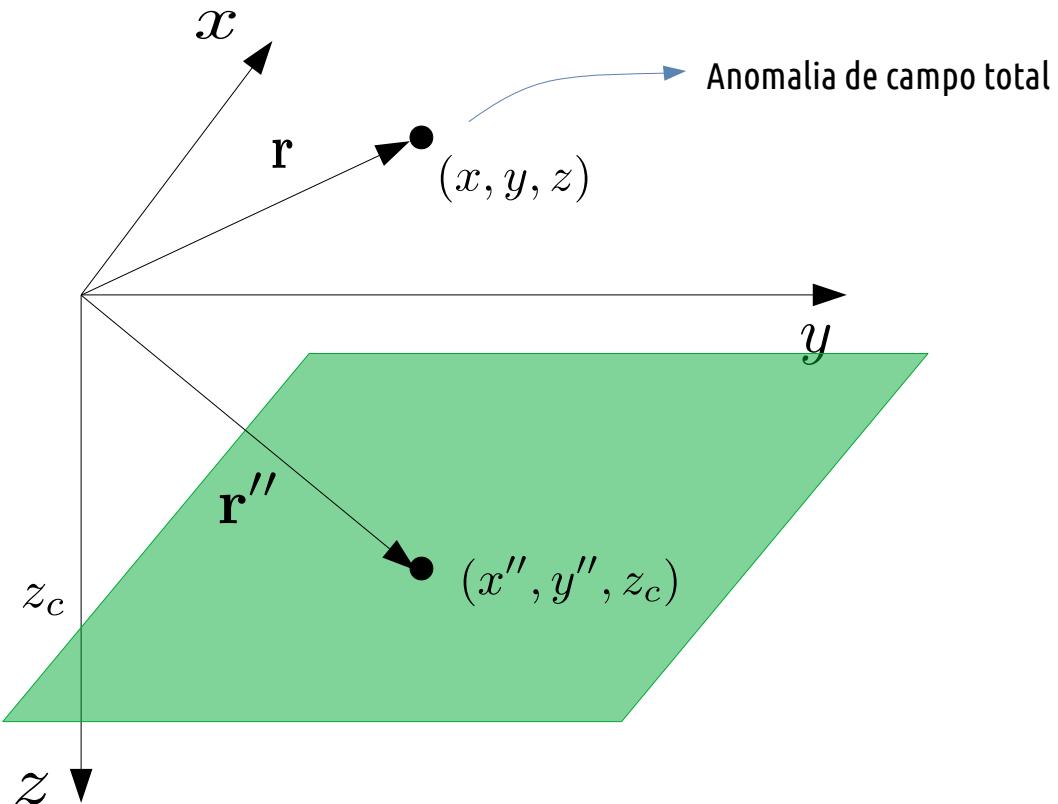
Uma camada fictícia contínua e infinita  
com propriedade física bidimensional



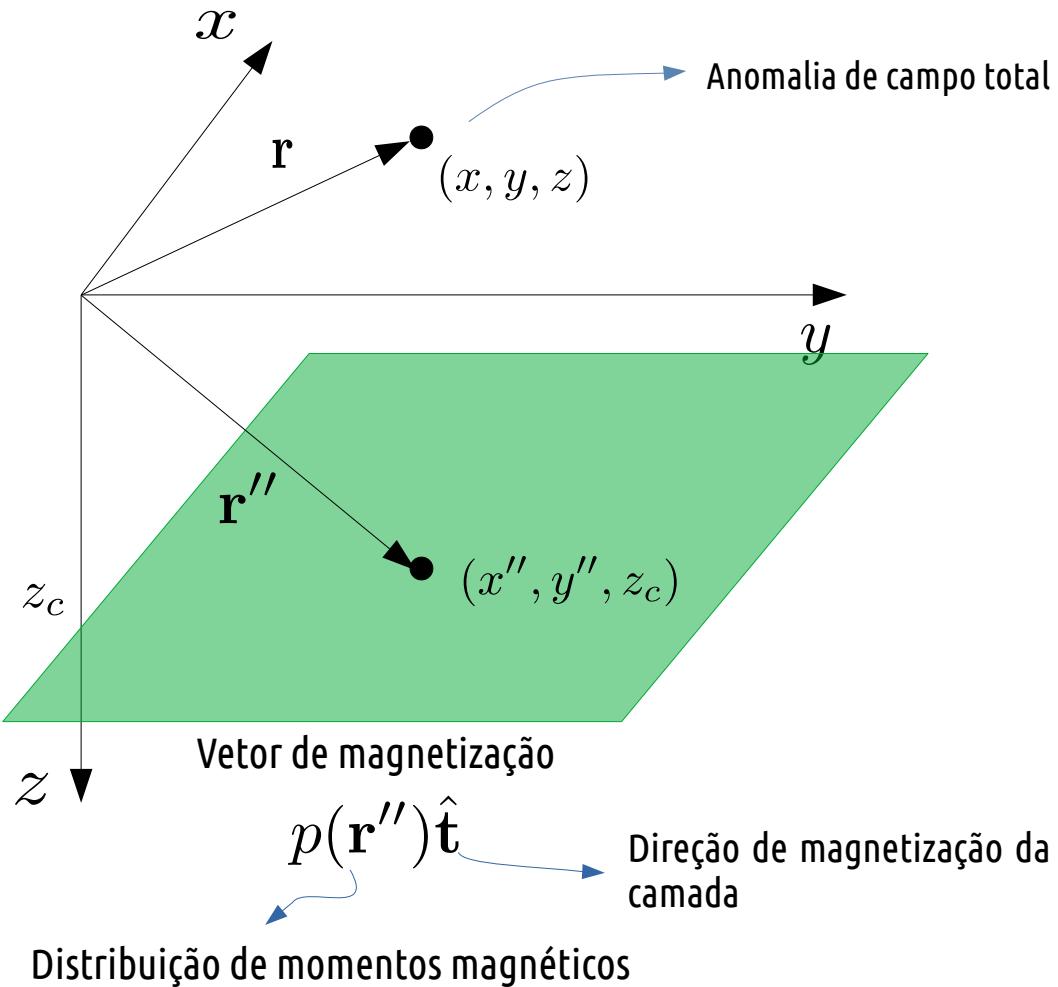
Uma camada fictícia contínua e infinita  
com propriedade física bidimensional



Uma camada fictícia contínua e infinita  
com propriedade física bidimensional

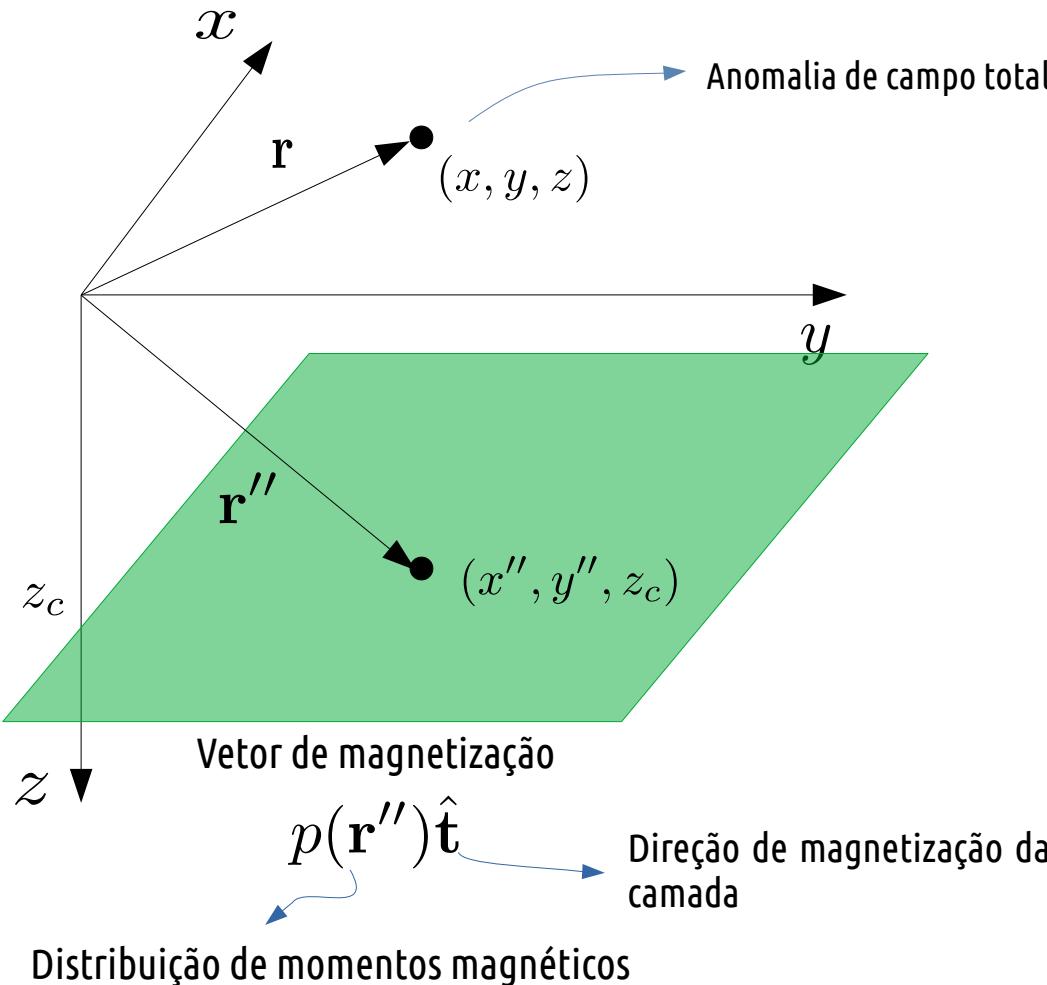


Uma camada fictícia contínua e infinita  
com propriedade física bidimensional



## Camada equivalente

Uma camada fictícia contínua e infinita com propriedade física bidimensional

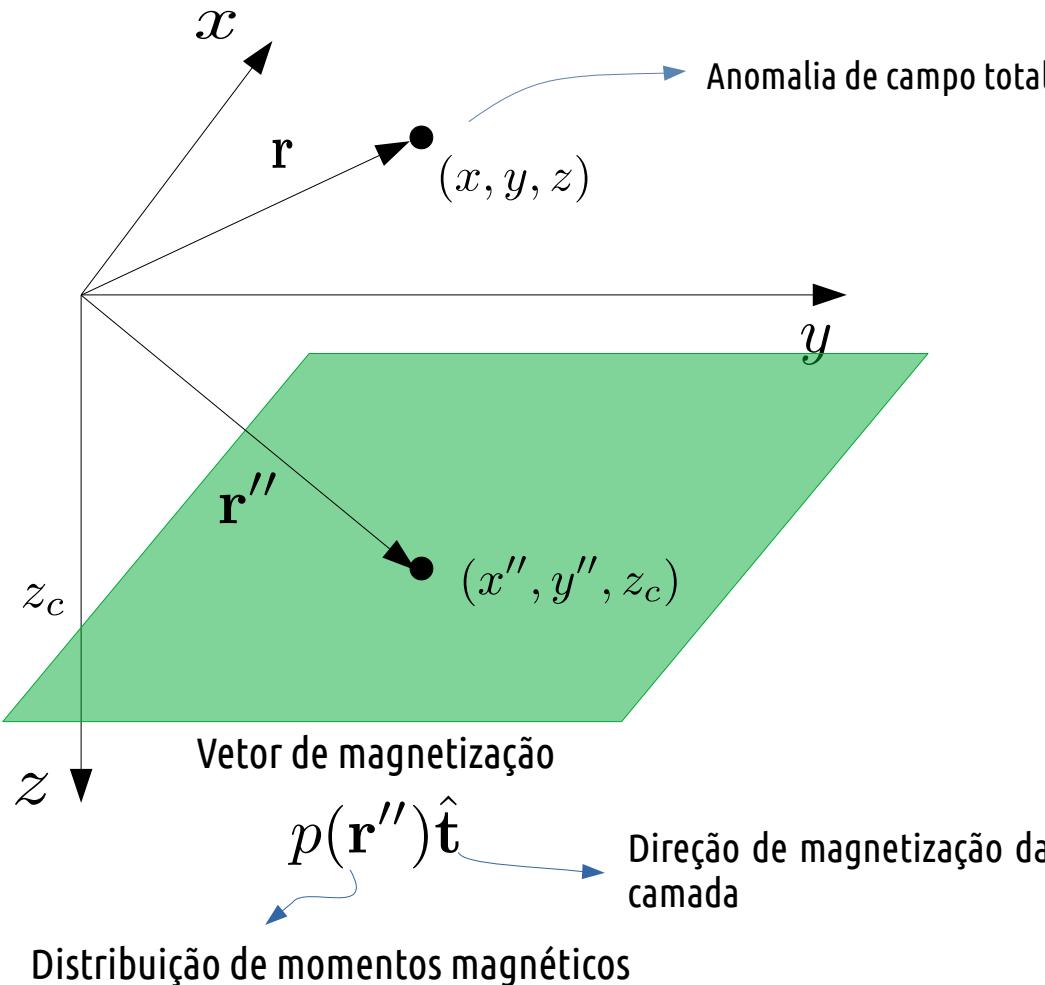


O campo magnético da camada é gerado pelo potencial:

$$\Omega^\dagger(\mathbf{r}) = \gamma_m \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} p(\mathbf{r}'') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}'' \|} dS''$$

Camada equivalente

Uma camada fictícia contínua e infinita  
com propriedade física bidimensional



O campo magnético da camada é gerado  
pelo potencial:

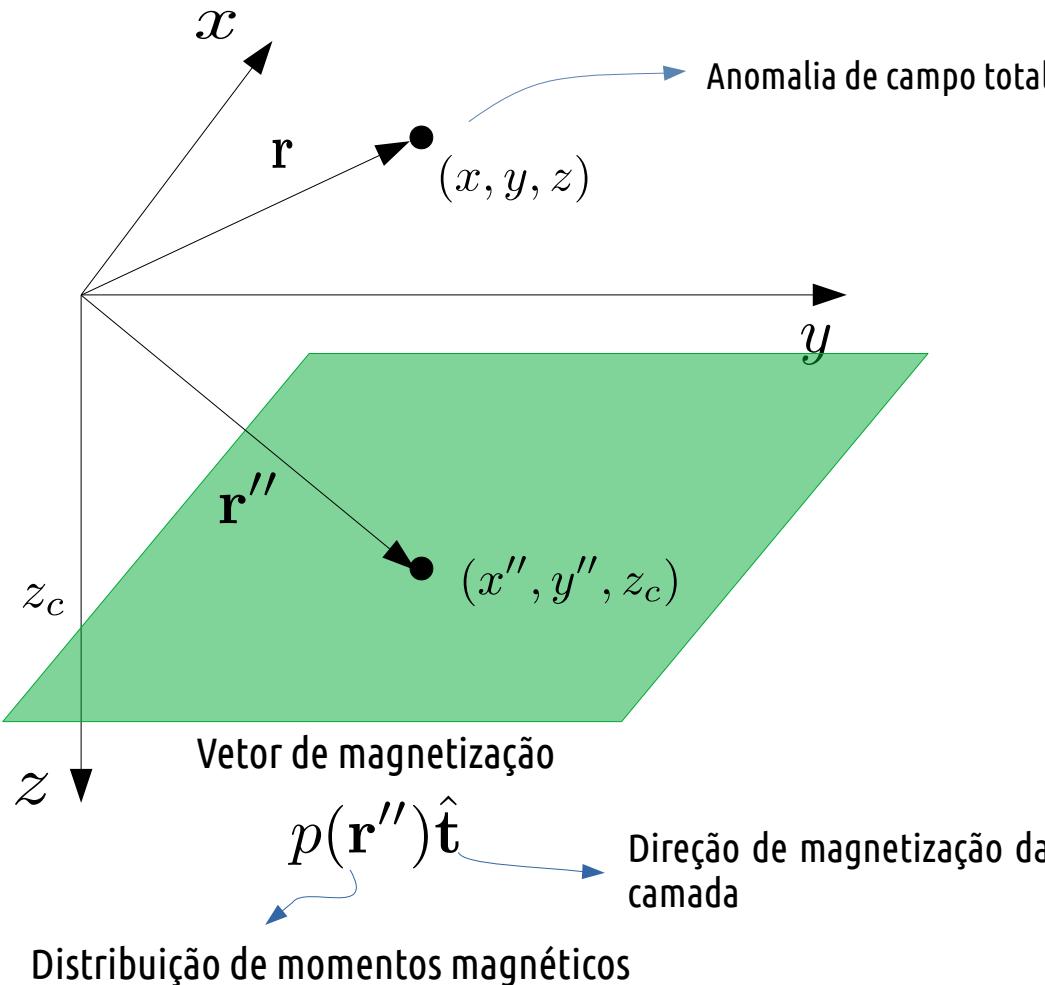
$$\Omega^\dagger(\mathbf{r}) = \gamma_m \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} p(\mathbf{r}'') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}'' \|} dS''$$

A Anomalia de Campo Total

$$\Delta T^\dagger(\mathbf{r}) = \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}) \hat{\mathbf{t}}$$

Camada equivalente

Uma camada fictícia contínua e infinita  
com propriedade física bidimensional



O campo magnético da camada é gerado  
pelo potencial:

$$\Omega^\dagger(\mathbf{r}) = \gamma_m \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} p(\mathbf{r}'') \frac{1}{\| \mathbf{r} - \mathbf{r}'' \|} dS''$$

### A Anomalia de Campo Total

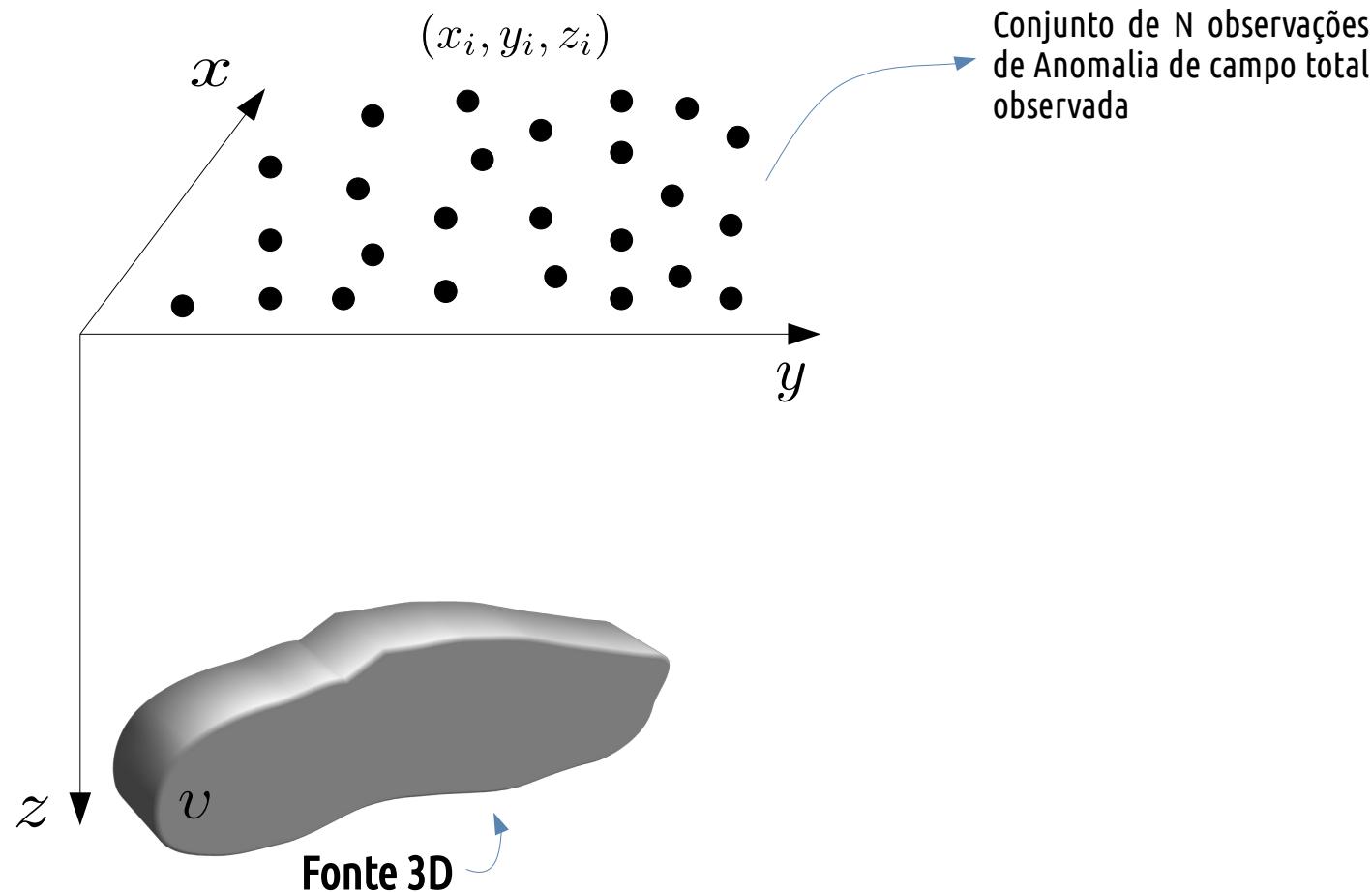
$$\Delta T^\dagger(\mathbf{r}) = \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}) \hat{\mathbf{t}}$$

↓

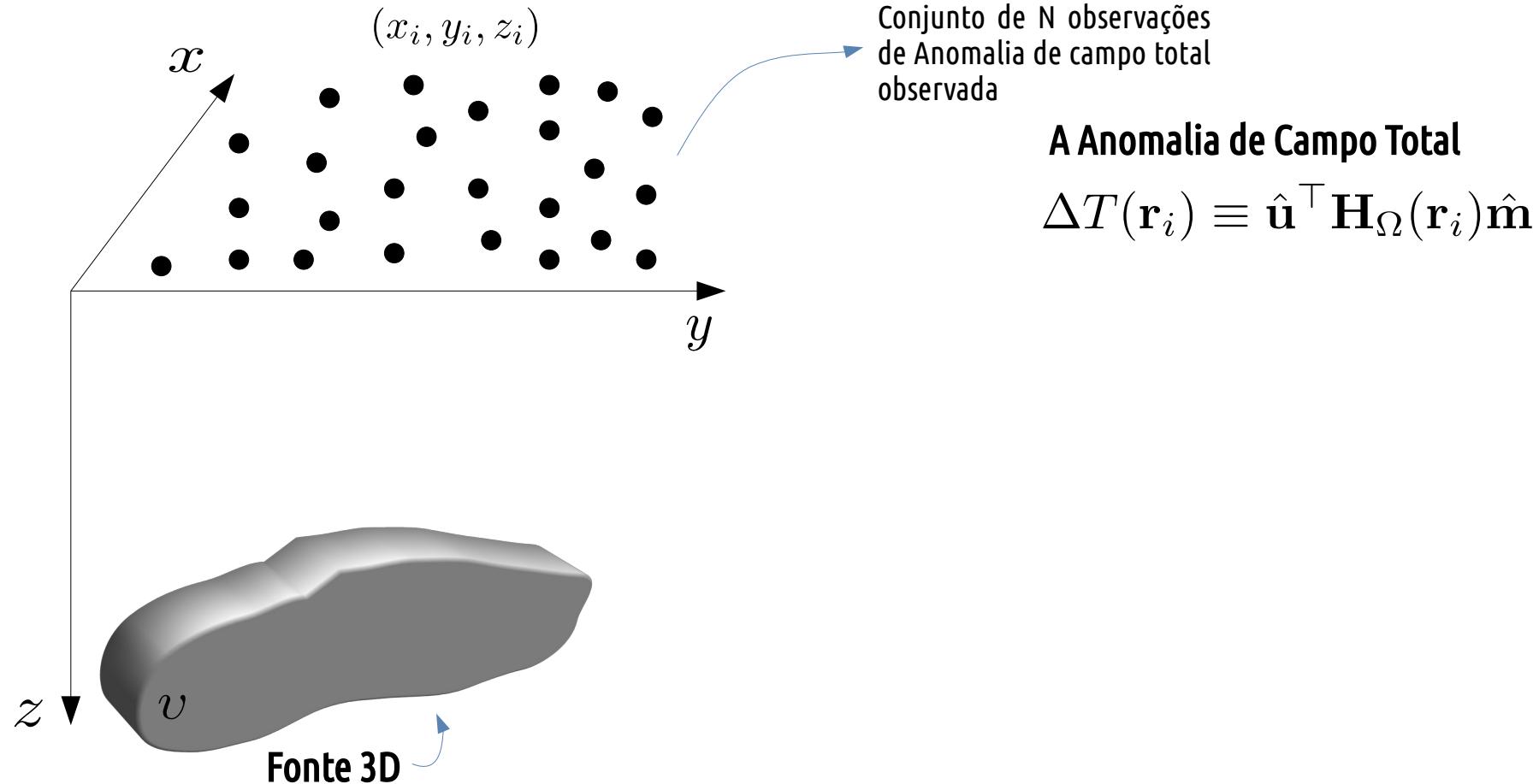
$$\mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}) = \begin{bmatrix} \partial_{xx}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) & \partial_{xy}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) & \partial_{xz}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) \\ \partial_{yx}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) & \partial_{yy}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) & \partial_{yz}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) \\ \partial_{zx}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) & \partial_{zy}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) & \partial_{zz}\Omega^\dagger(\mathbf{r}) \end{bmatrix}$$

Como resolver o problema inverso da  
Camada Equivalente?

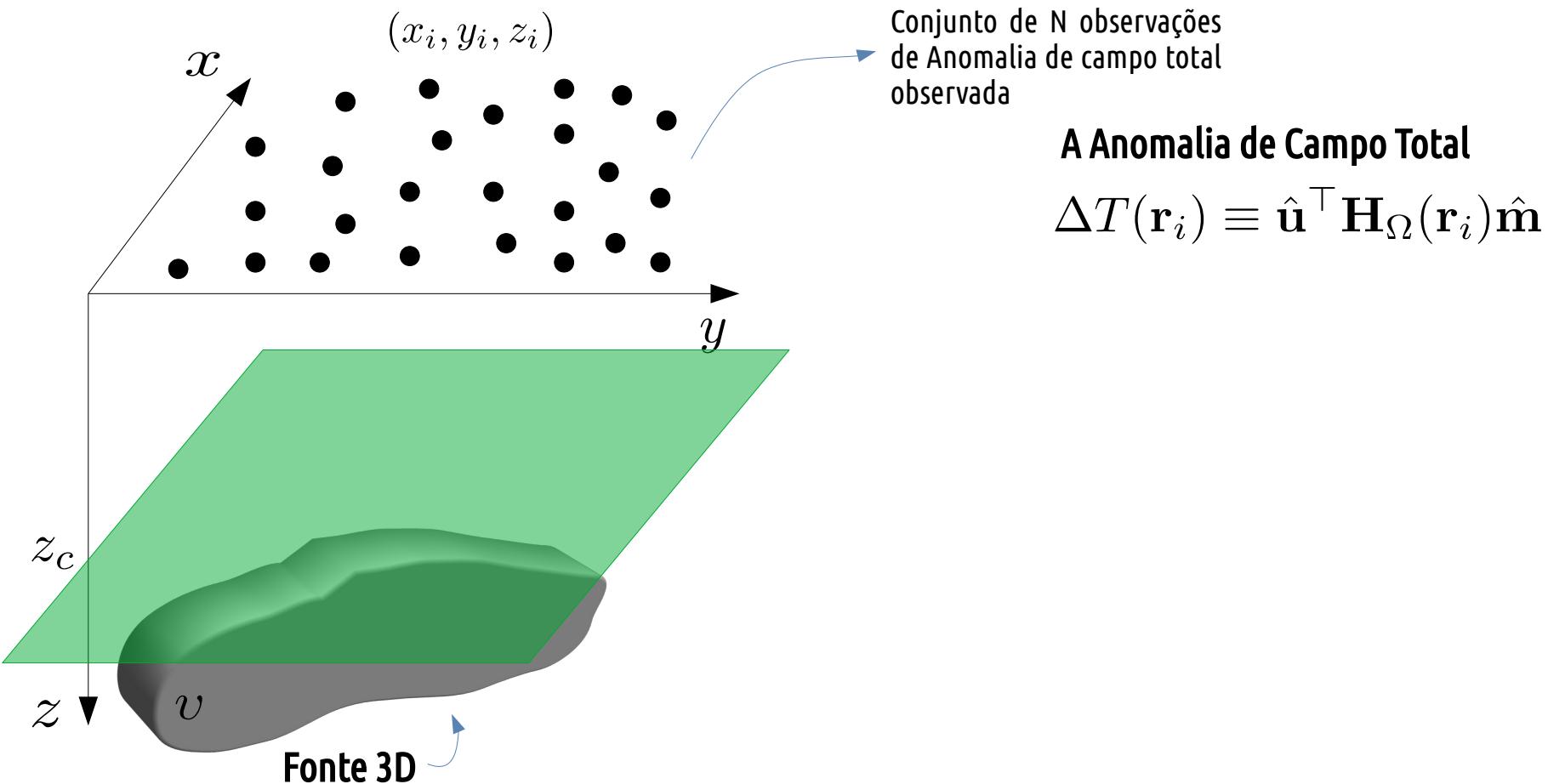
## Camada equivalente



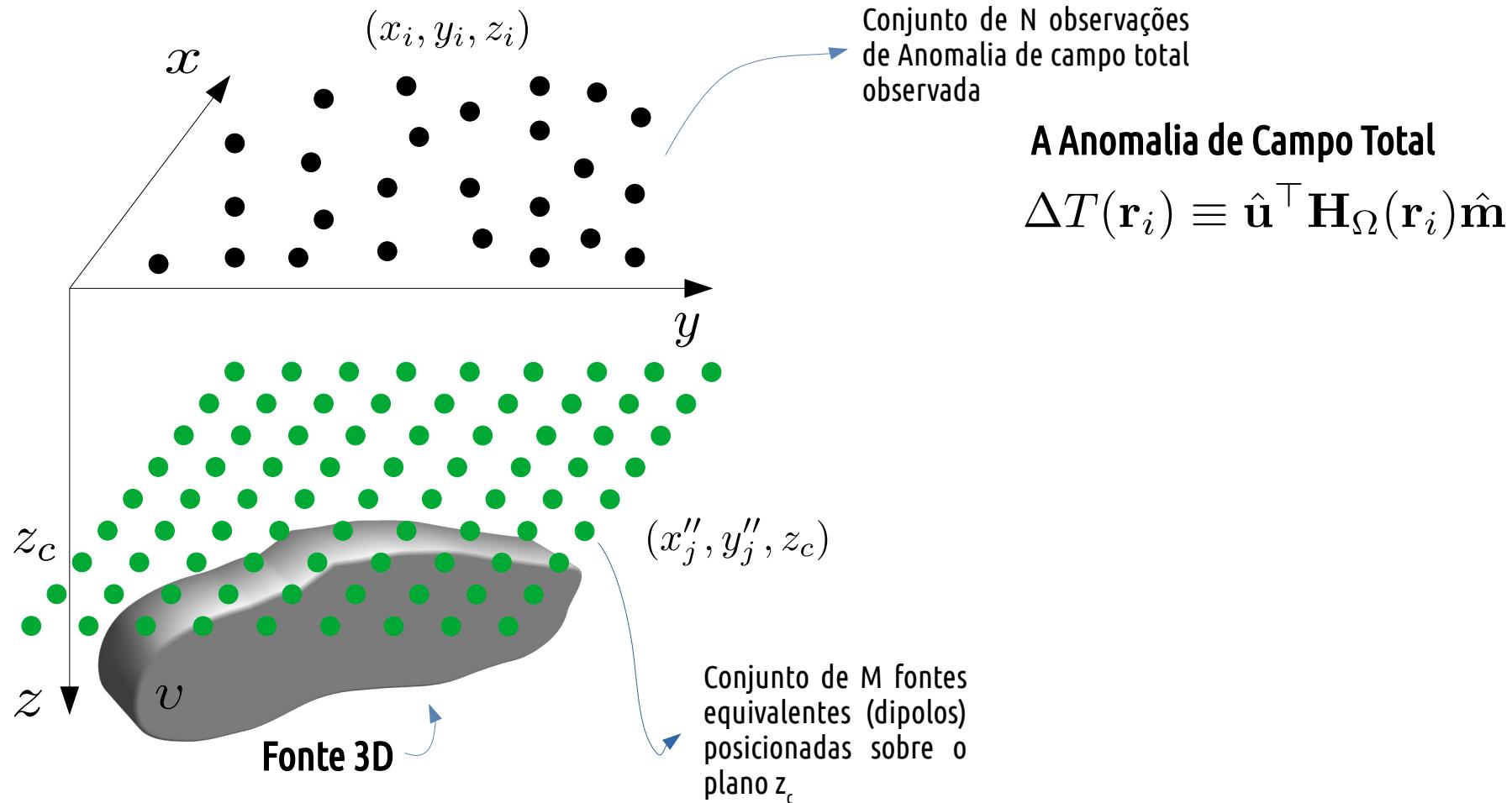
Camada equivalente



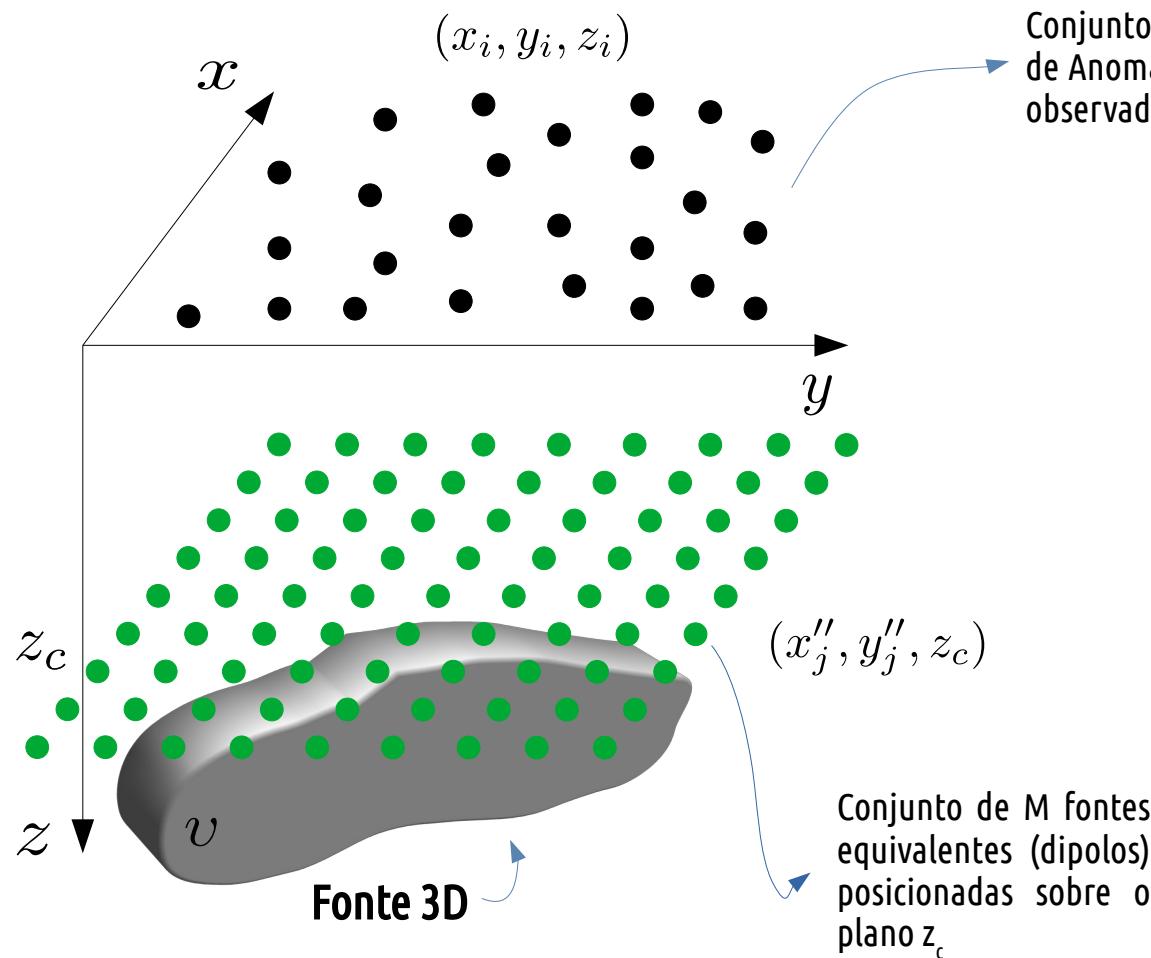
Camada equivalente



## Camada equivalente



## Camada equivalente



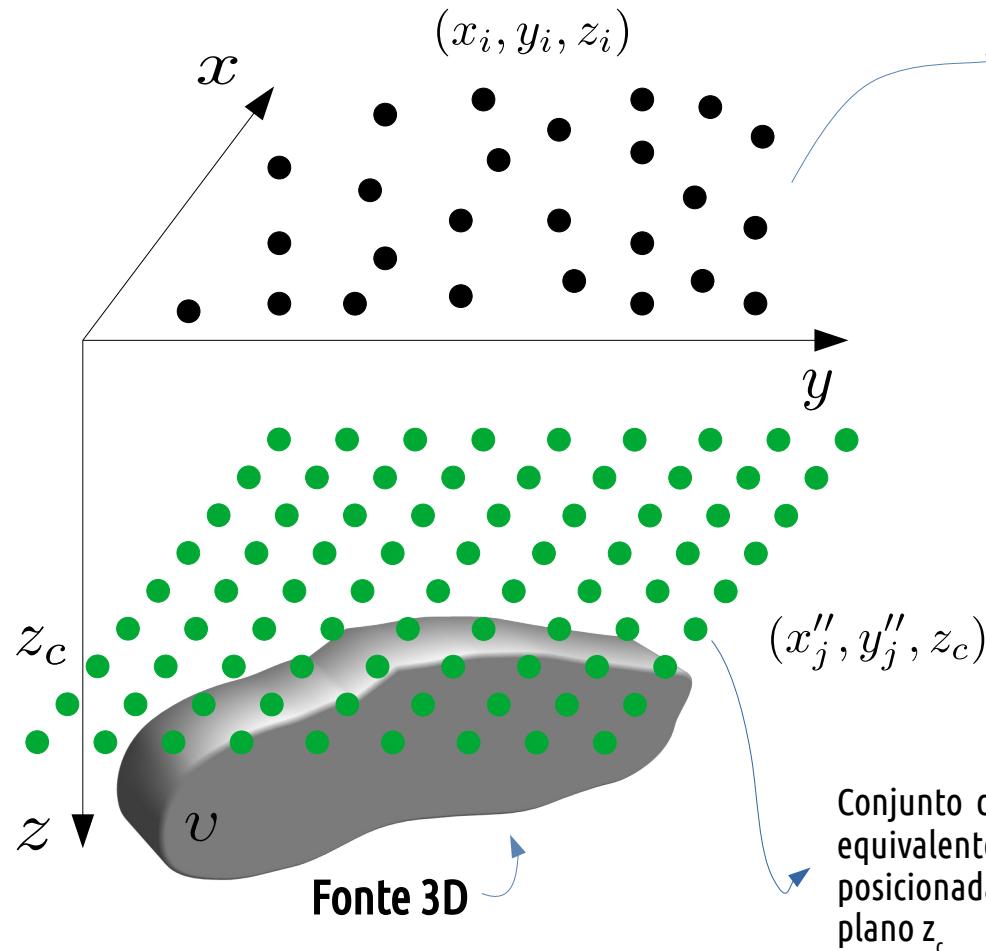
Conjunto de N observações  
de Anomalia de campo total  
observada

**A Anomalia de Campo Total**

$$\Delta T(\mathbf{r}_i) \equiv \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}_i) \hat{\mathbf{m}}$$

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

## Camada equivalente



Conjunto de N observações  
de Anomalia de campo total  
observada

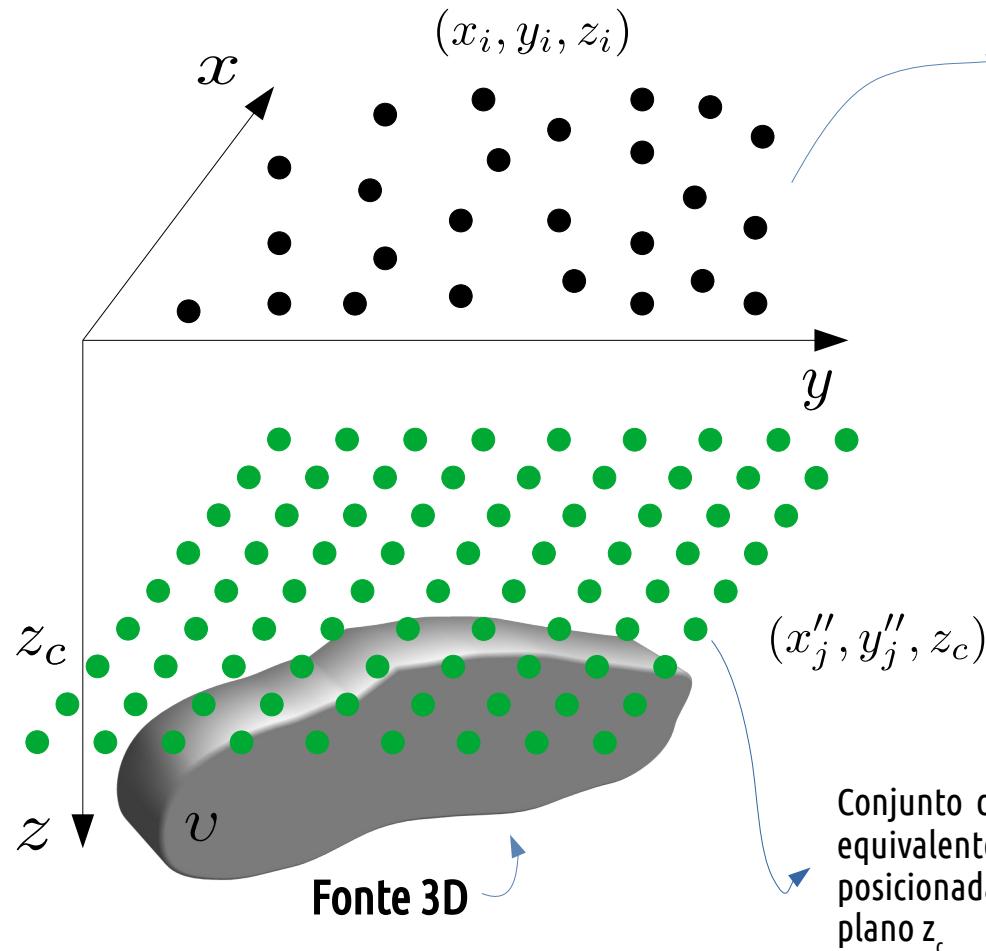
A Anomalia de Campo Total

$$\Delta T(\mathbf{r}_i) \equiv \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}_i) \hat{\mathbf{m}}$$

A Anomalia de campo total aproximada de  
um dipolo na posição  $\mathbf{r}_j$  em uma posição  
de observação  $\mathbf{r}_i$ .

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

## Camada equivalente



(Silva, 1986)

Conjunto de N observações  
de Anomalia de campo total  
observada

## A Anomalia de Campo Total

$$\Delta T(\mathbf{r}_i) \equiv \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}_i) \hat{\mathbf{m}}$$

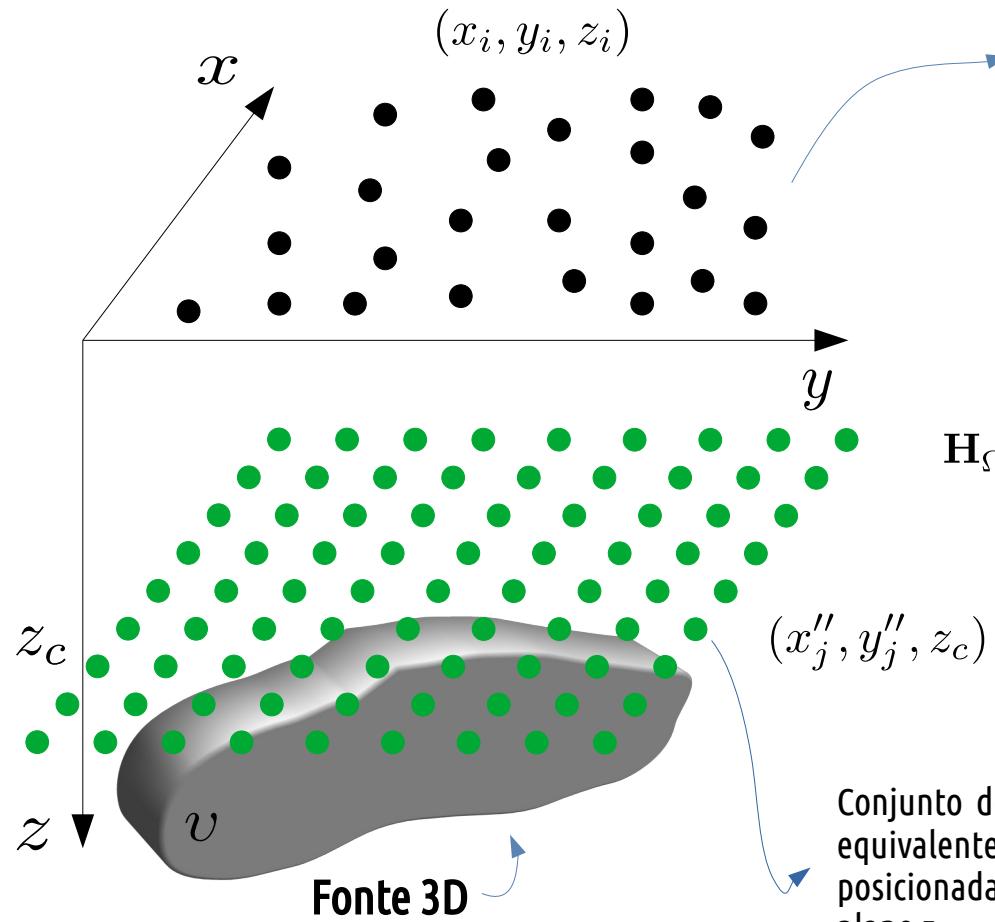
$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

Momento magnético  
do j-ésimo dipolo

Direção do campo  
principal

Direção das fontes  
equivalentes

## Camada equivalente



Conjunto de N observações de Anomalia de campo total observada

## A Anomalia de Campo Total

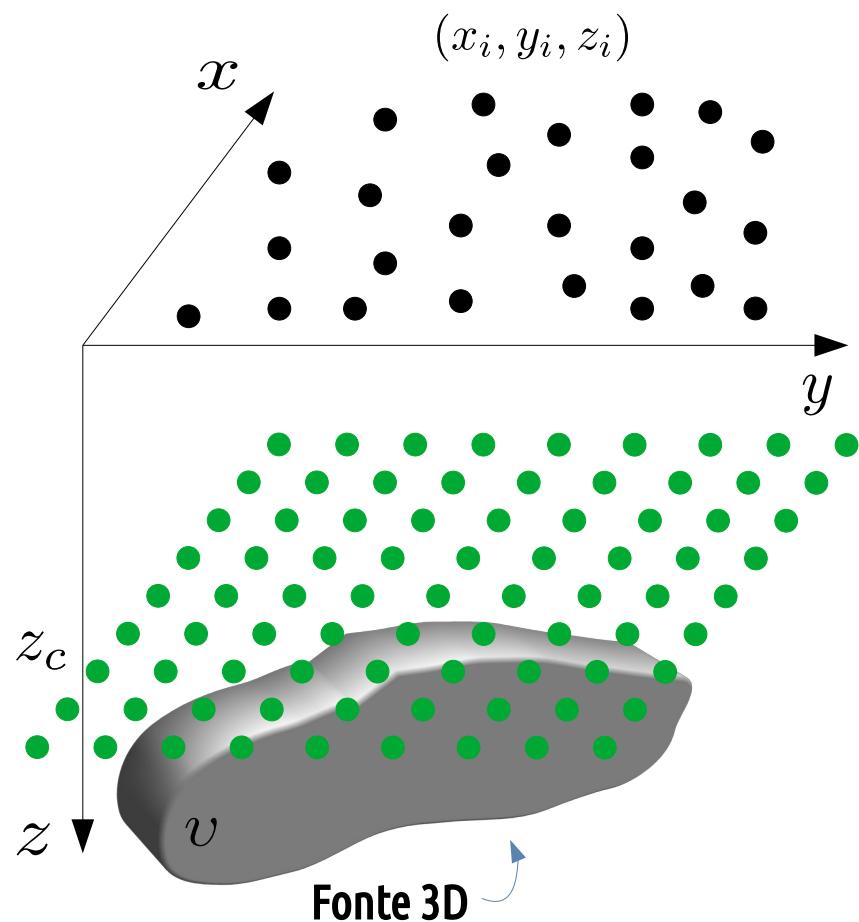
$$\Delta T(\mathbf{r}_i) \equiv \hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_\Omega(\mathbf{r}_i) \hat{\mathbf{m}}$$

$$\mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) = \begin{bmatrix} \partial_{xx}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) & \partial_{xy}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) & \partial_{xz}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \\ \partial_{yx}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) & \partial_{yy}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) & \partial_{yz}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \\ \partial_{zx}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) & \partial_{zy}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) & \partial_{zz}\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \end{bmatrix}$$

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Omega^\dagger(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j''\|}$$

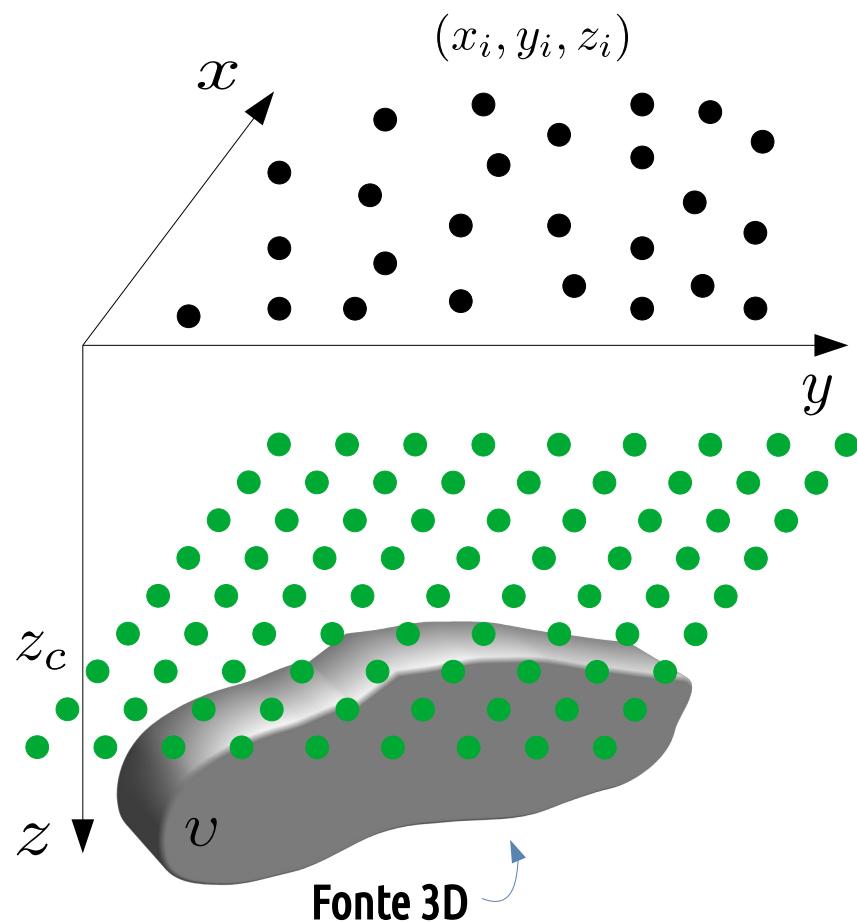
## Camada equivalente



A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

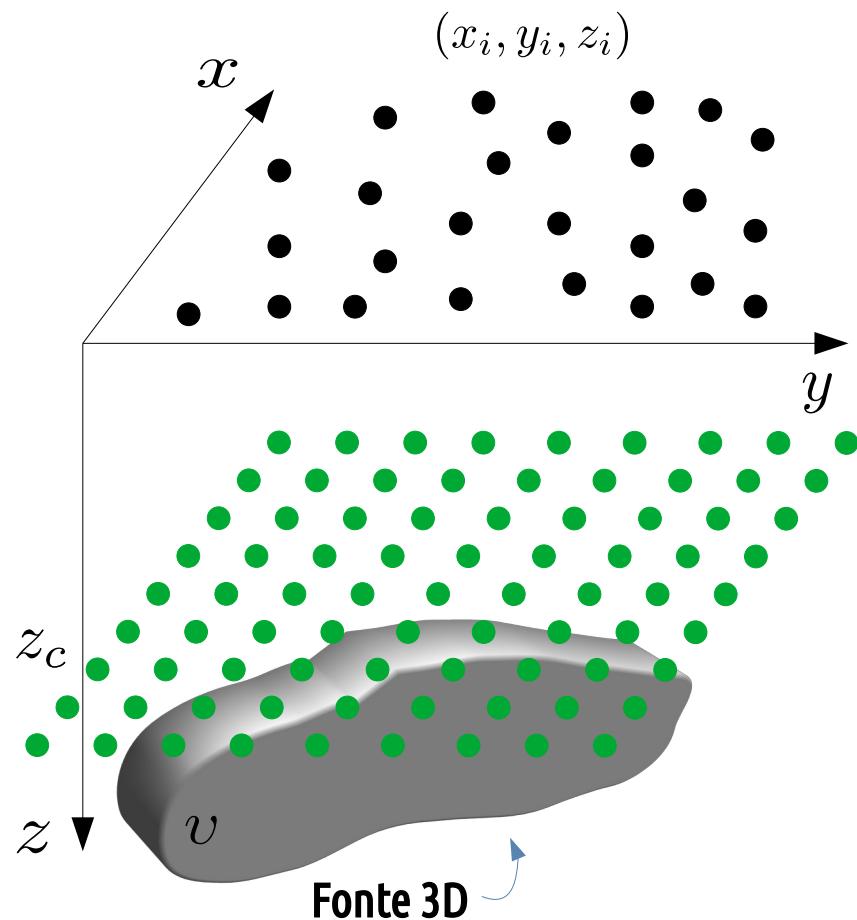
Camada equivalente



A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$
$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

## Camada equivalente



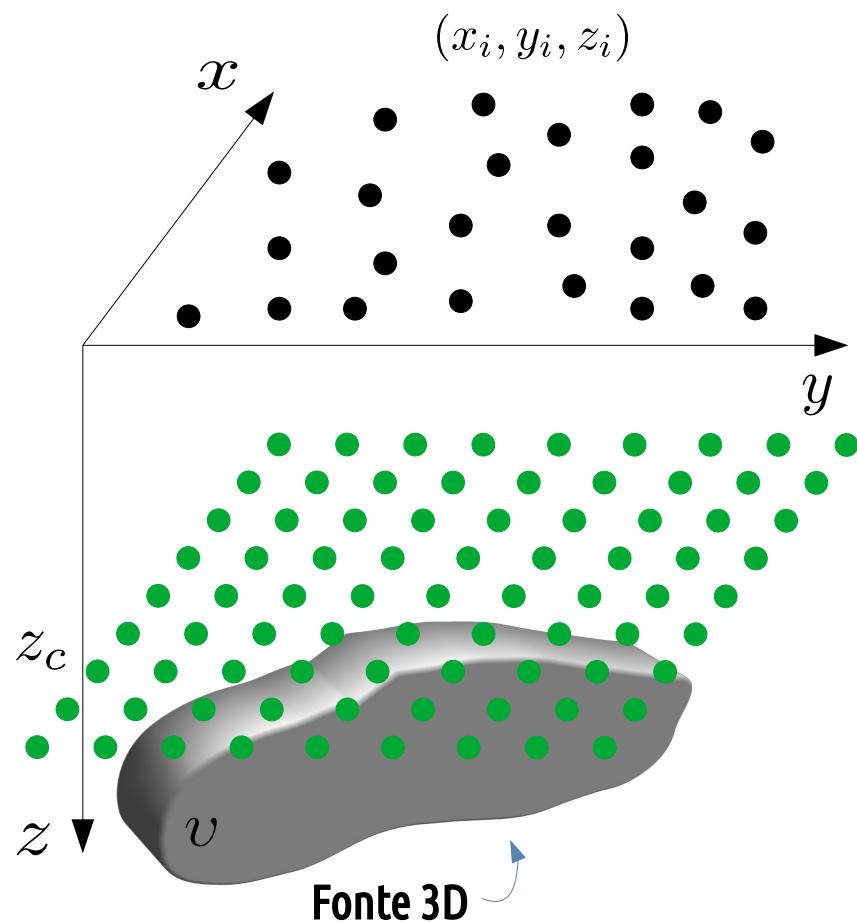
## A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

Consiste em resolver um sistema linear para o vetor de parâmetros  $\mathbf{p}$ .

## Camada equivalente

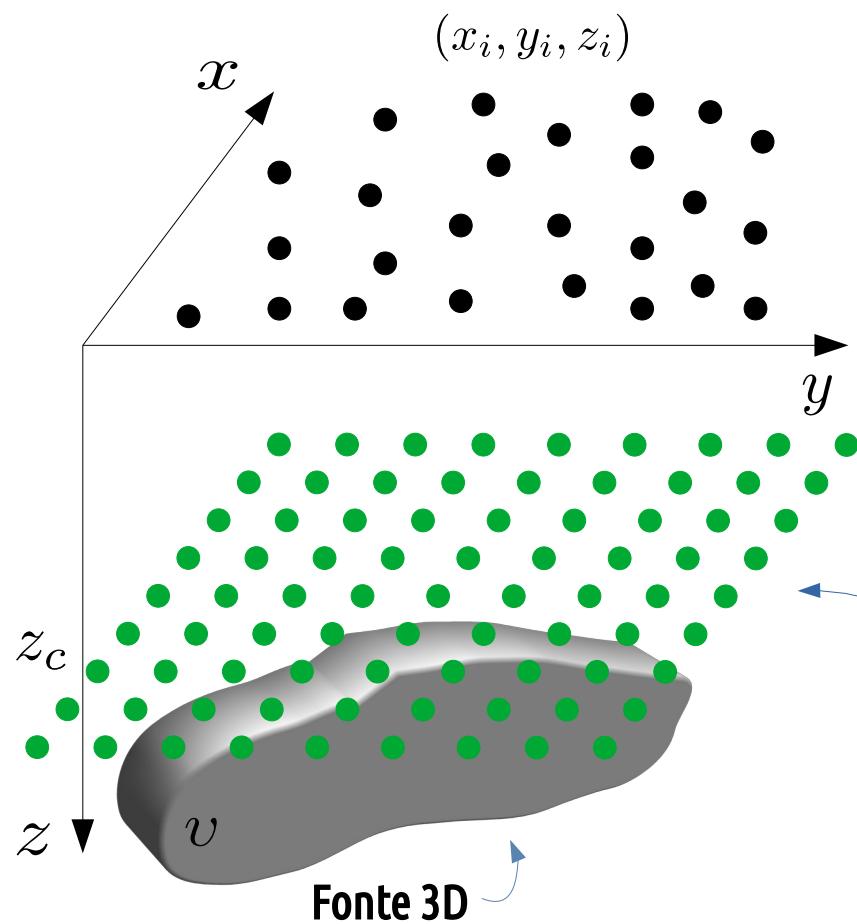


A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

## Camada equivalente



## A Camada equivalente Clássica

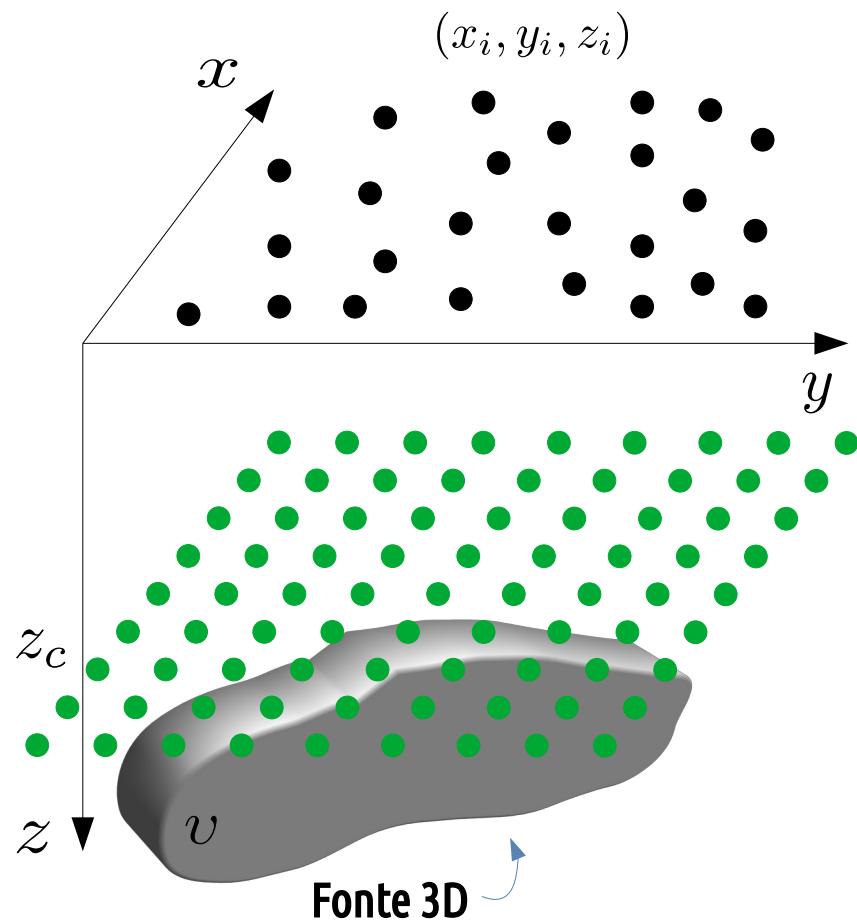
$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_M \end{bmatrix}$$

Distribuição  
de momentos

## Camada equivalente



## A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

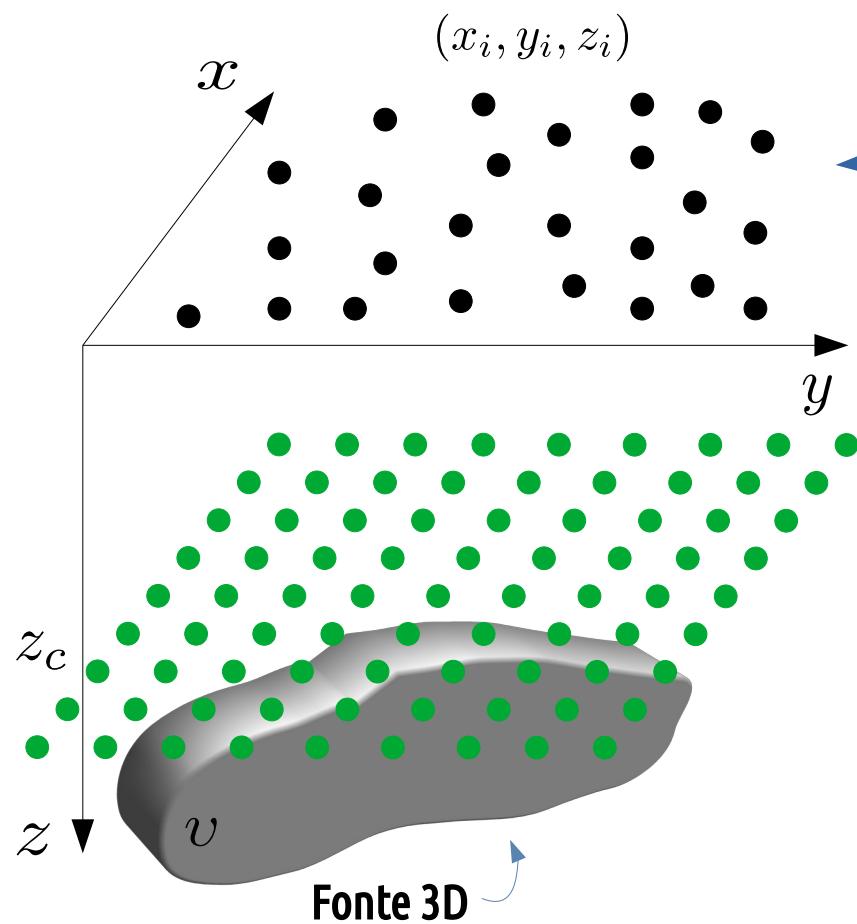
$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

$a_{ij}$   
Dipolo

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_M \end{bmatrix}$$

Distribuição  
de momentos

## Camada equivalente



A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

$$\Delta \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \Delta T_1 \\ \vdots \\ \Delta T_N \end{bmatrix}$$

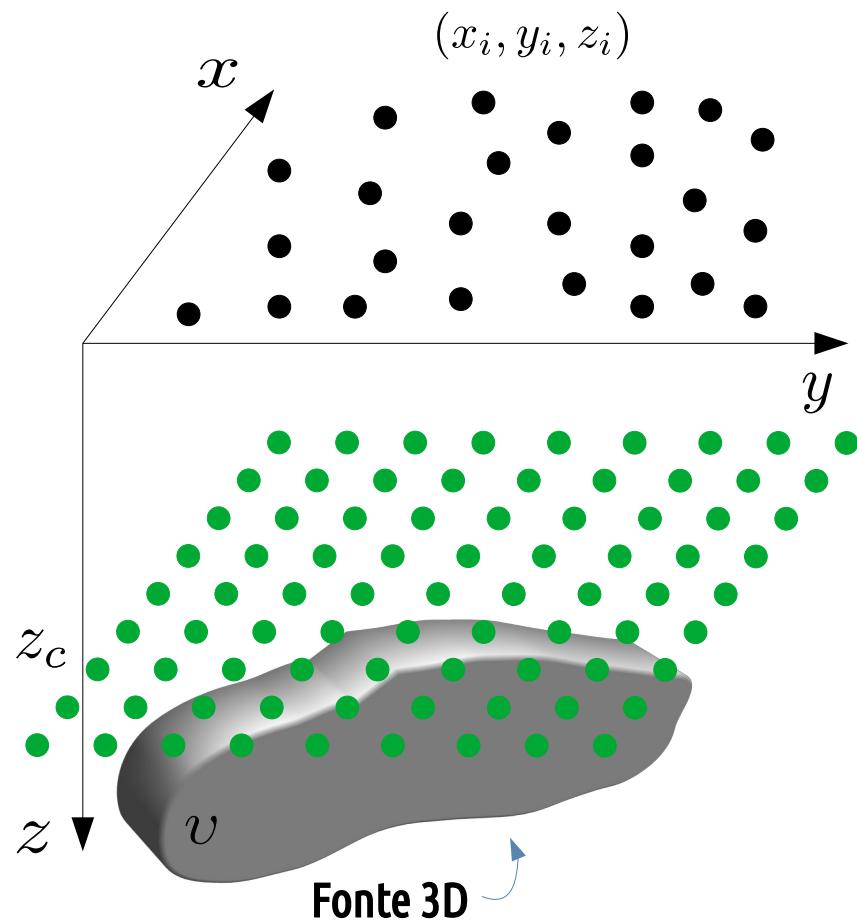
Anomalia de Campo  
Total Observada

$a_{ij}$   
Dipolo

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_M \end{bmatrix}$$

Distribuição  
de momentos

## Camada equivalente



A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

$$\Delta \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \Delta T_1 \\ \vdots \\ \Delta T_N \end{bmatrix}$$

Anomalia de Campo  
Total Observada

$$a_{ij}$$

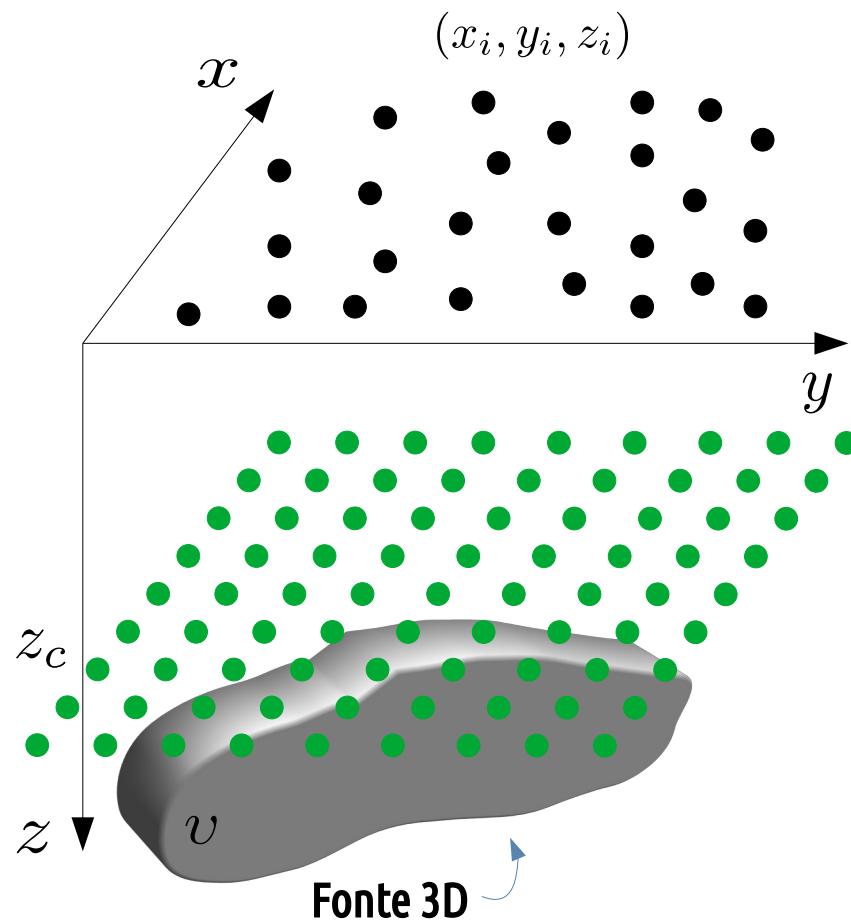
Dipolo

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_M \end{bmatrix}$$

Distribuição  
de momentos

$$\mathbf{w} = \mathbf{T} \tilde{\mathbf{p}}$$

## Camada equivalente



(Silva, 1986)

## A Camada equivalente Clássica

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

$$\Delta \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \Delta T_1 \\ \vdots \\ \Delta T_N \end{bmatrix}$$

Anomalia de Campo  
Total Observada

$$a_{ij}$$

Dipolo

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_M \end{bmatrix}$$

Distribuição  
de momentos

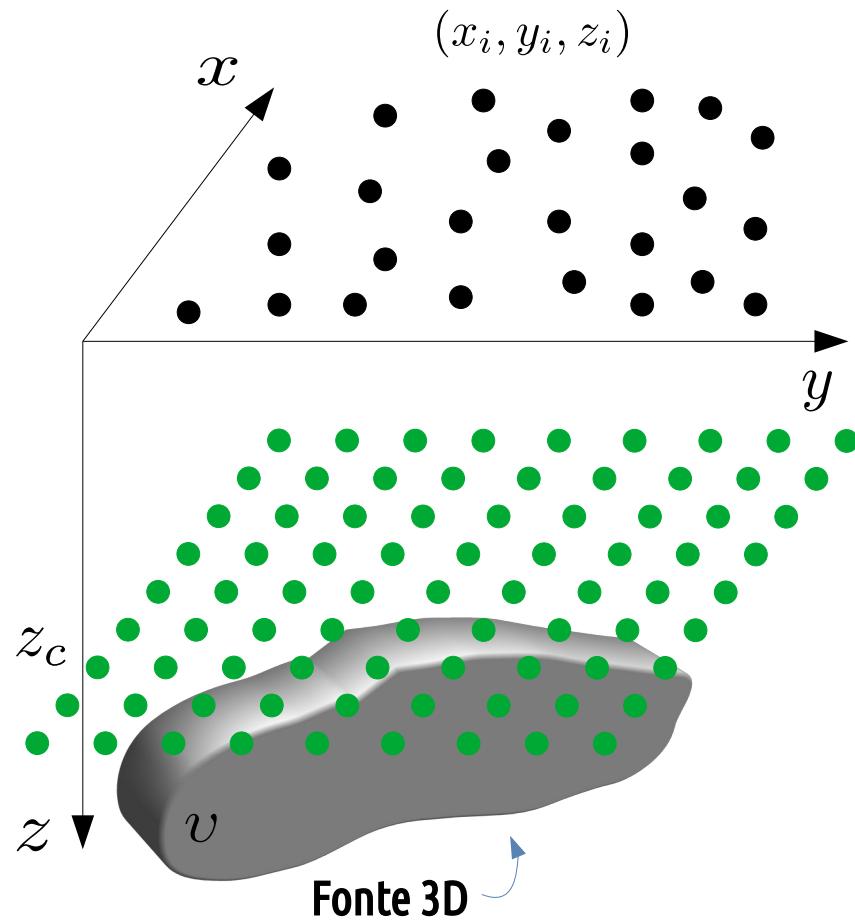
$$\mathbf{w} = \mathbf{T} \tilde{\mathbf{p}}$$

Campo transformado

Matriz de transformação

Distribuição  
de momentos  
estimada

## Camada equivalente



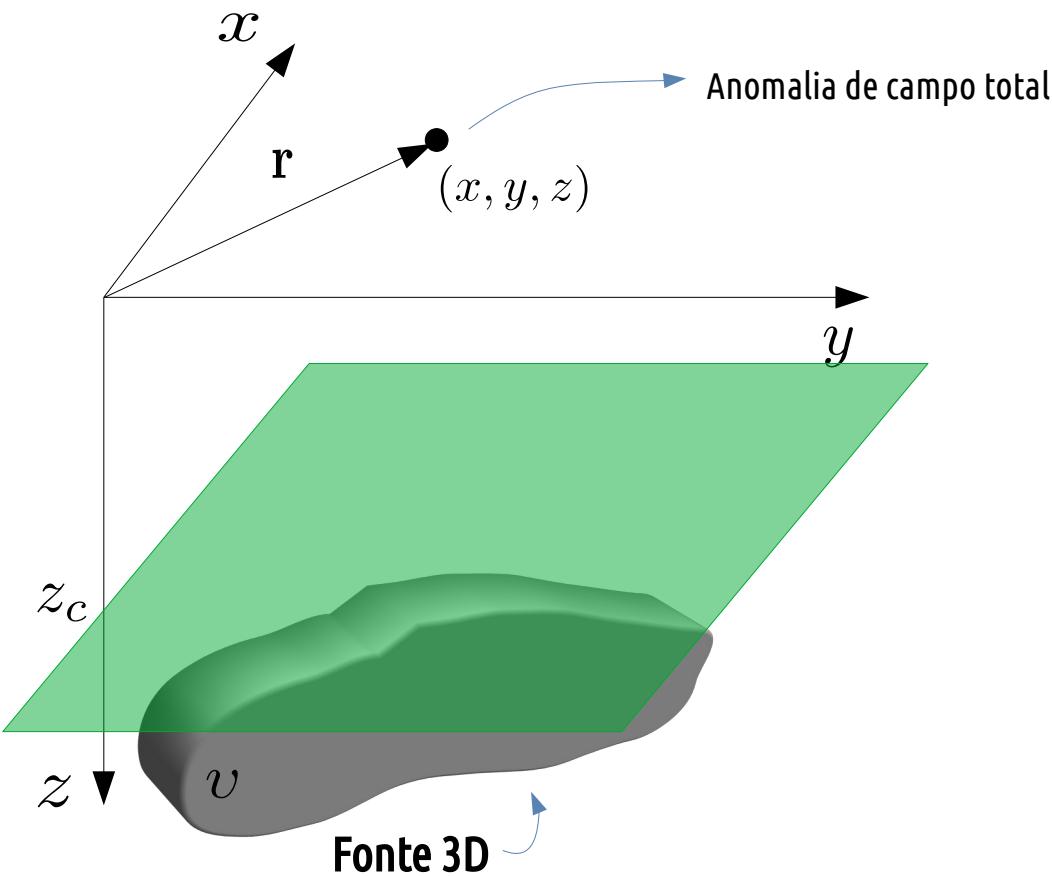
A **Camada equivalente** é comumente utilizada para realizar o **processamento de dados potenciais** tais como Interpolação (e.g., Soler and Uieda, 2021), Redução ao Polo (e.g., Silva, 1986; Oliveira Jr et al, 2013), Cálculo das componentes do Campo (e.g., Li and Li, 2018; Zuo et al, 2020), Continuação para cima/ou para baixo (e.g., Takahashi et al., 2022), dentre outros.

$$\mathbf{w} = \mathbf{T}\tilde{\mathbf{p}}$$

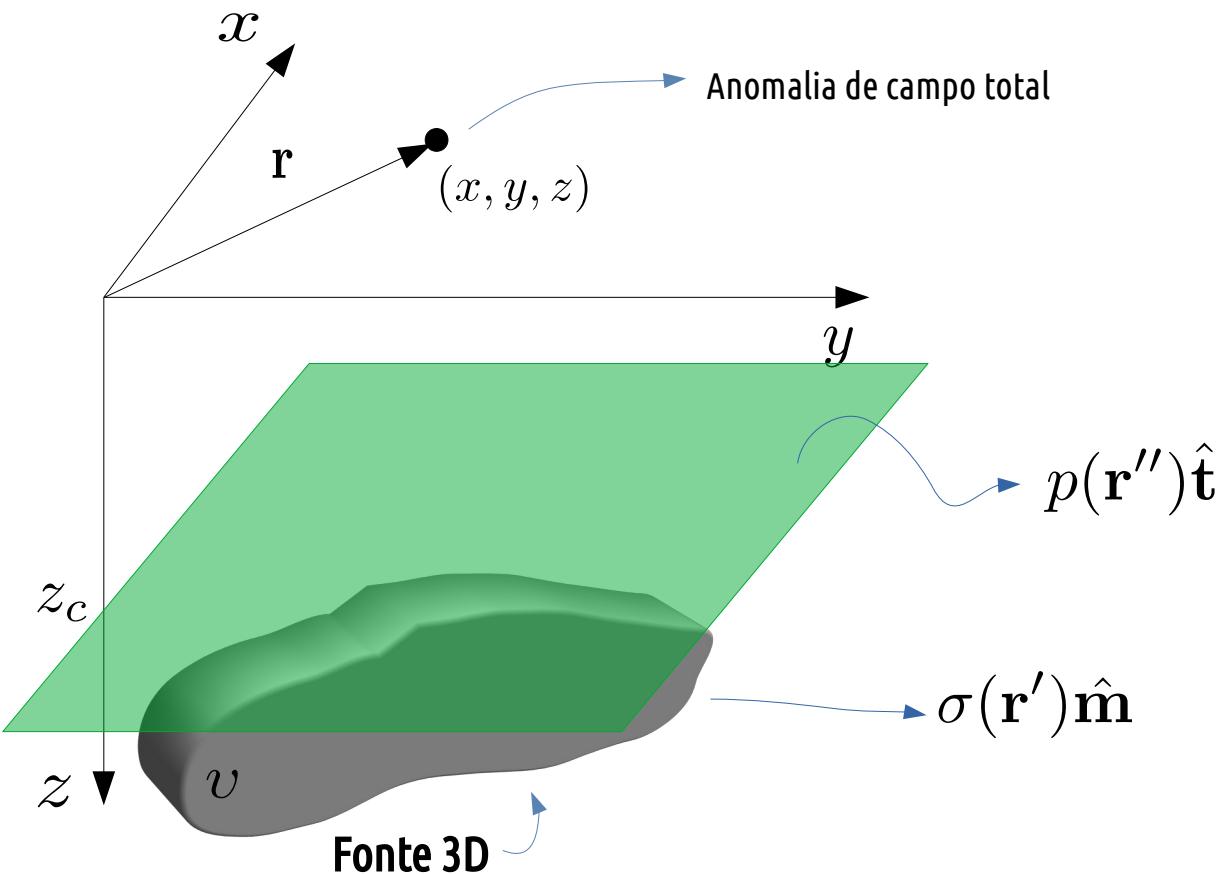
Campo transformado      Matriz de transformação      Distribuição de momentos estimada

Existe uma **particularidade** sobre a **distribuição de momentos** sobre a camada equivalente...

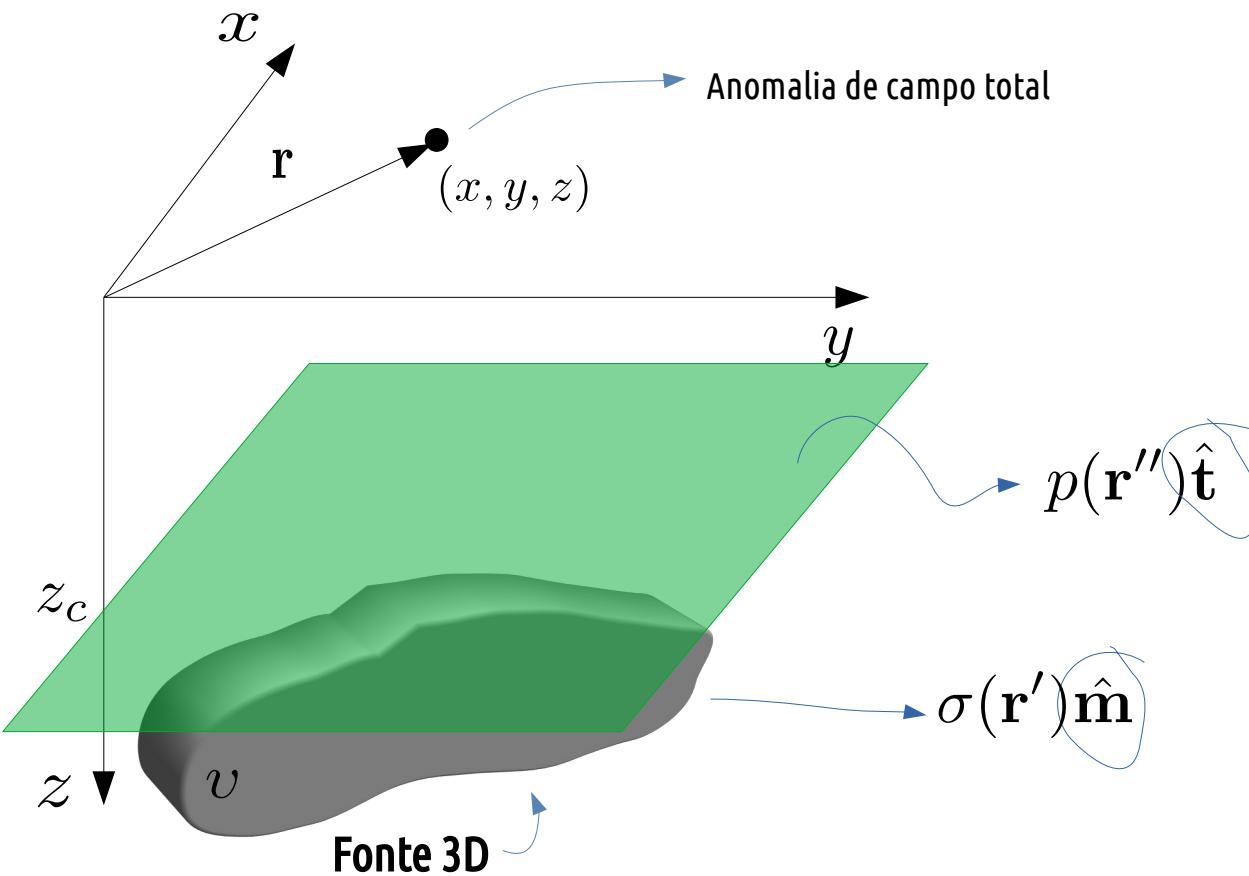
## Camada equivalente



## Camada equivalente

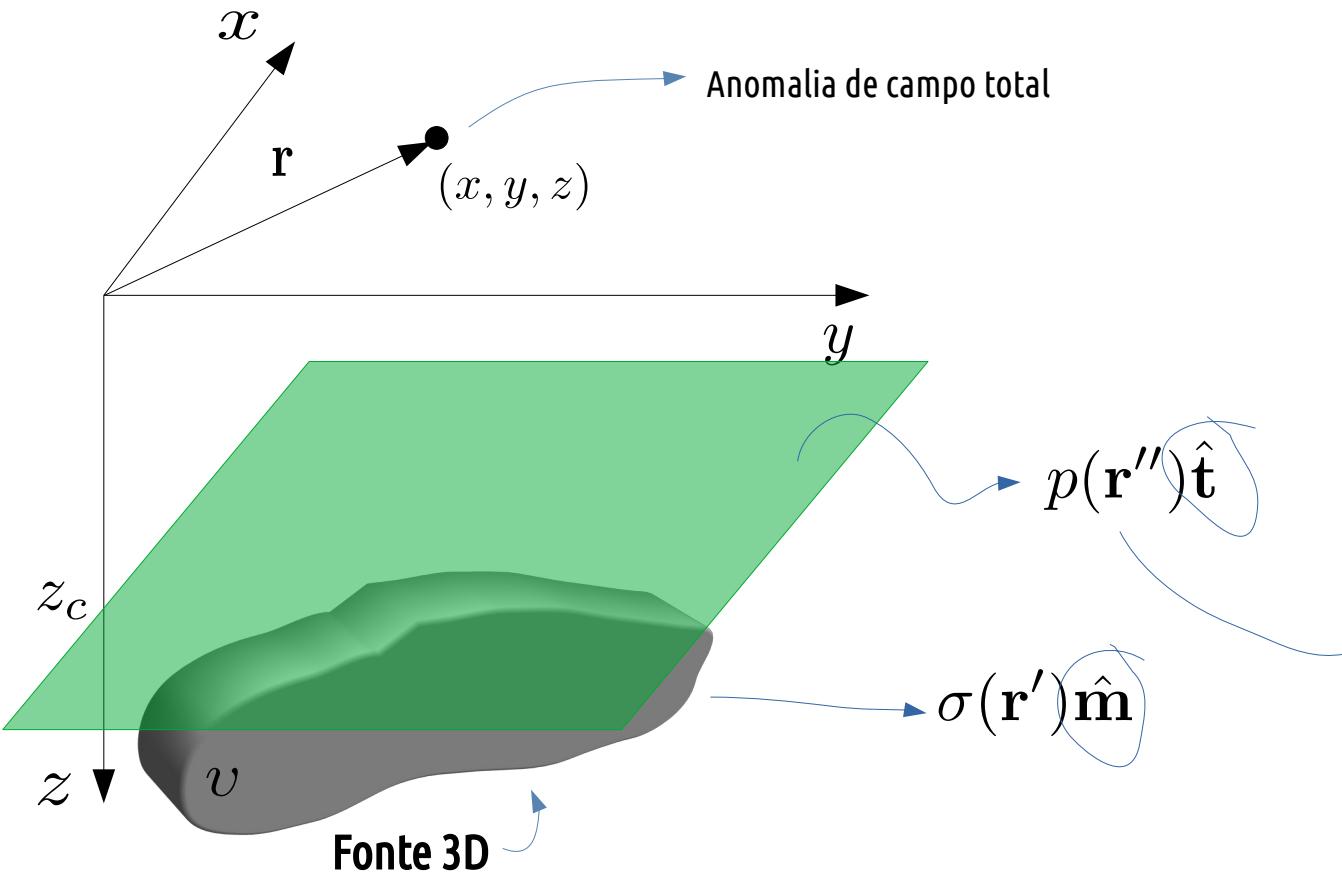


## Camada equivalente



Se a direção de magnetização da Camada e do corpo forem iguais...

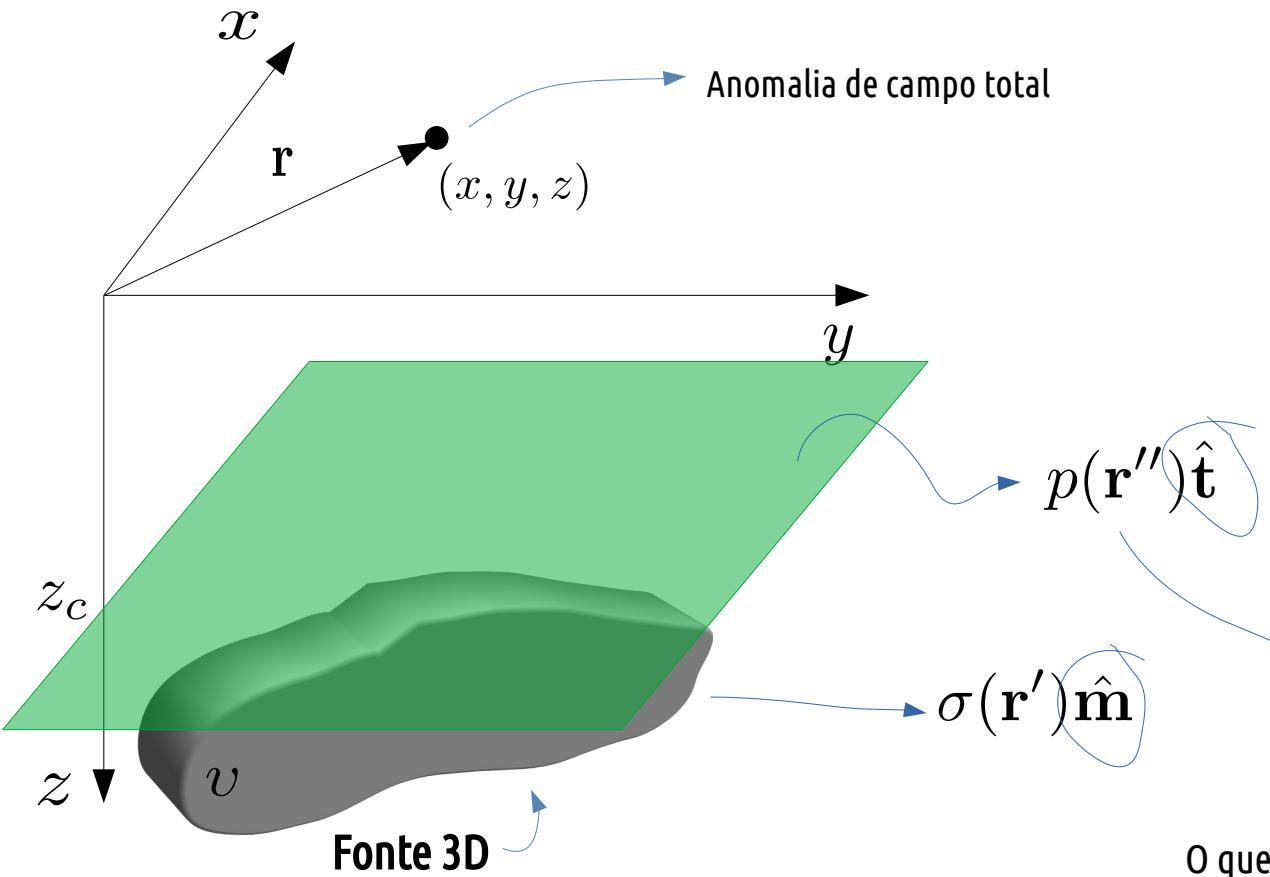
## Camada equivalente



Se a direção de **magnetização da Camada e do corpo forem iguais...**

... a distribuição de momentos magnéticos sobre a camada será **inteiramente positiva!**

## Camada equivalente



Se a direção de **magnetização da Camada e do corpo forem iguais...**

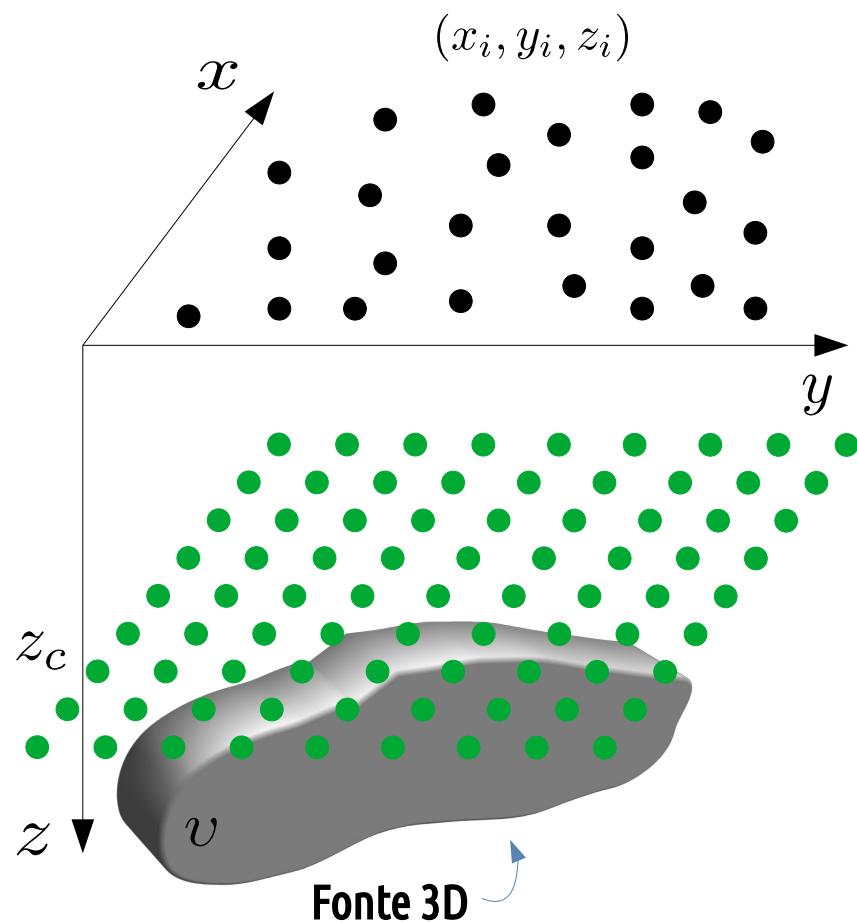
... a distribuição de momentos magnéticos sobre a camada será **inteiramente positiva!**

O que abre a possibilidade também da **Camada ser uma ferramenta de interpretação dos dados magnéticos!**

Esta propriedade já havia sido investigada por Pedersen (1991) e Li et al (2014), considerando que a direção de magnetização fosse **puramente induzida**, fazendo uma prova no domínio da frequência.

Reis et. al. (2020) generalizaram este resultado para qualquer **direção de magnetização**, seja ela **puramente induzida ou não**, bem como utilizou esta propriedade para estimar a **direção de magnetização de fontes magnéticas** a partir da anomalia de campo total.

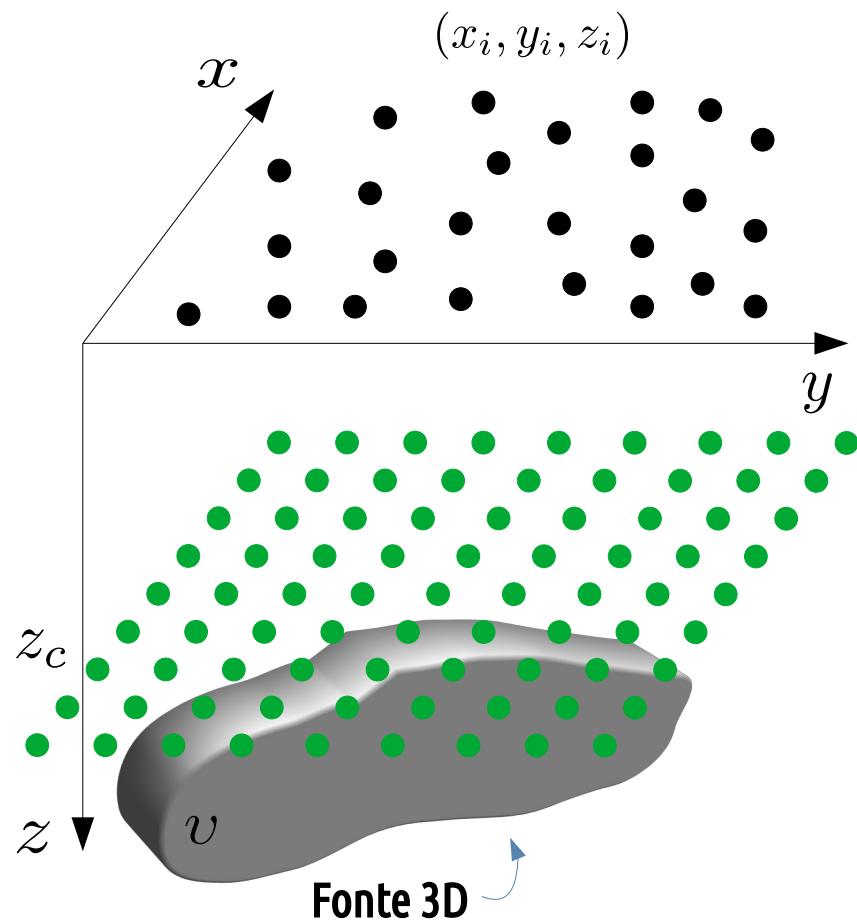
Camada equivalente



A Camada equivalente com vínculo de positividade :

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$
$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

## Camada equivalente



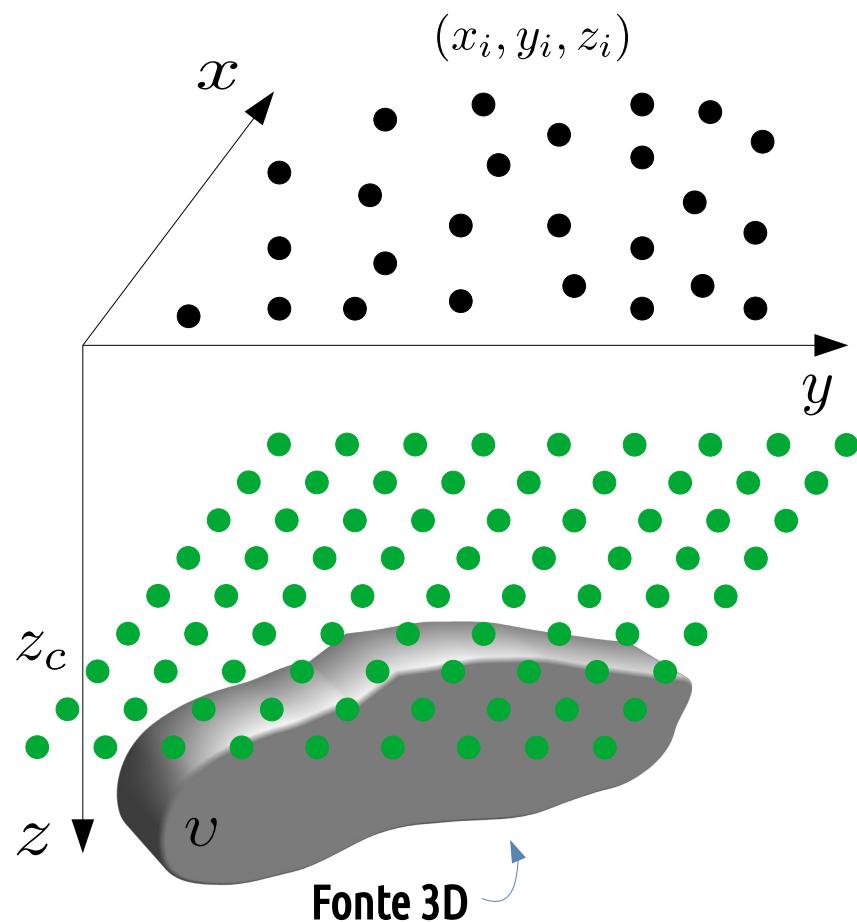
A Camada equivalente com vínculo de positividade :

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{A} \mathbf{p}$$

Consiste em resolver um sistema linear para o vetor de parâmetros  $\mathbf{p}$ .

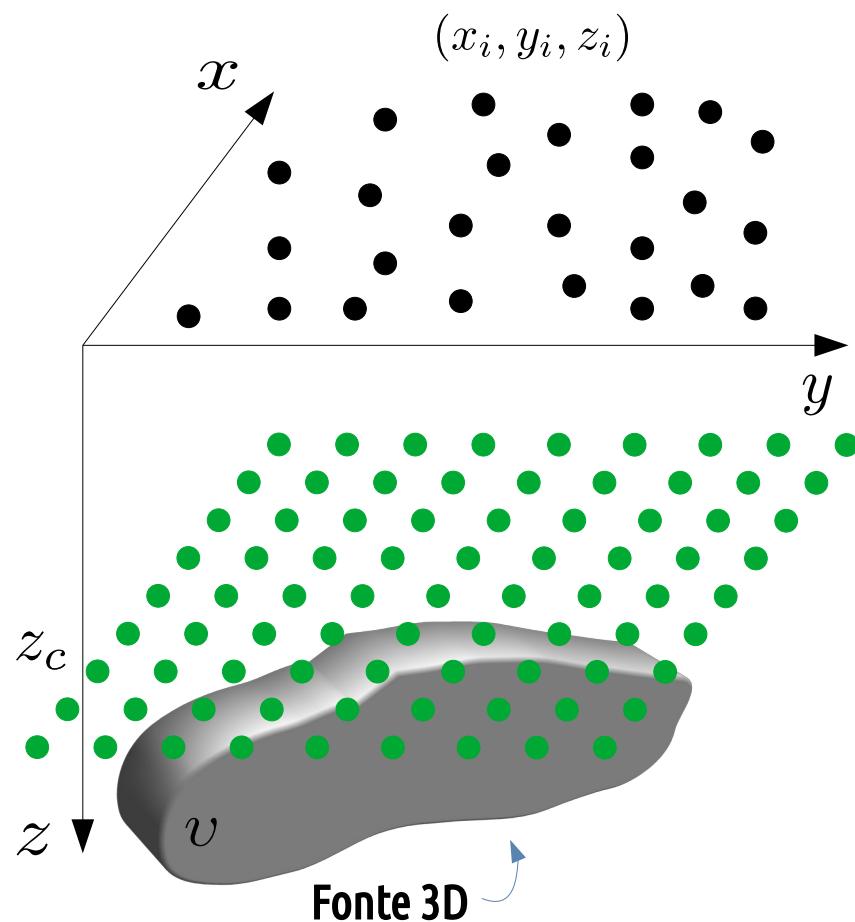
Camada equivalente



A Camada equivalente com vínculo de positividade :

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$
$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{f}(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{t}})$$

## Camada equivalente



A Camada equivalente com vínculo de positividade :

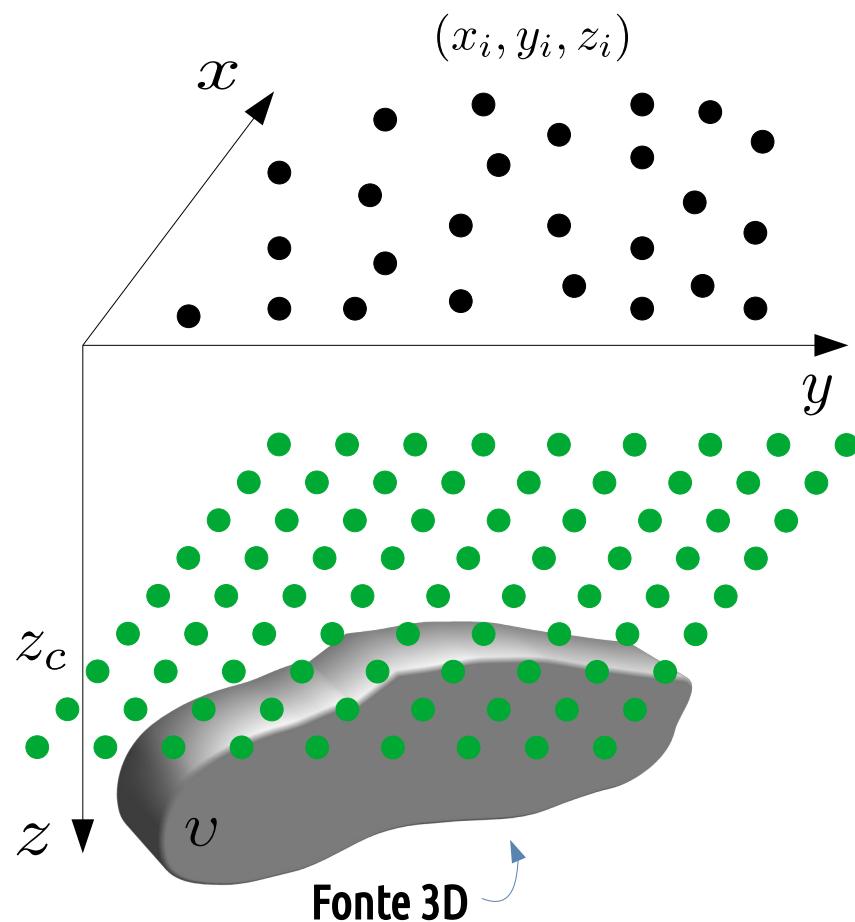
$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{f}(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{t}})$$

Distribuição  
de momentos

Direção de  
magnetização  
da Camada

## Camada equivalente



A Camada equivalente com vínculo de positividade :

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{f}(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{t}})$$

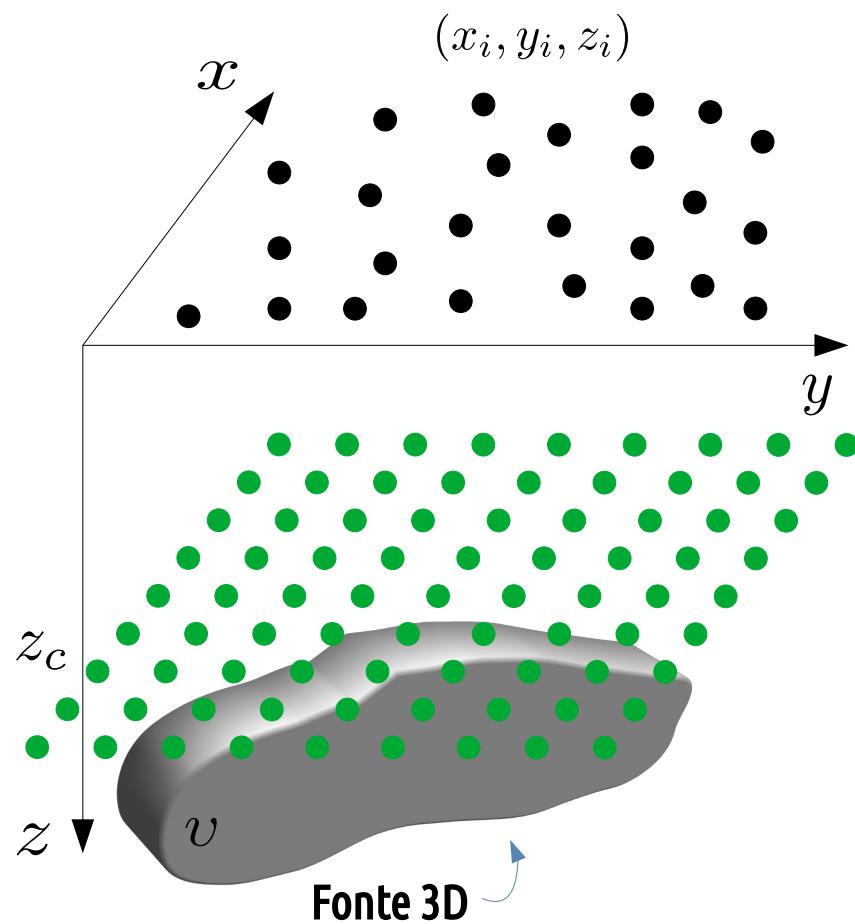
Distribuição  
de momentos

1<sup>a</sup> etapa

Estimar uma  
distribuição de  
momentos  
positiva

Direção de  
magnetização  
da Camada

## Camada equivalente



A Camada equivalente com vínculo de positividade :

$$\Delta T_i \approx \sum_{j=1}^M p_j [\hat{\mathbf{u}}^\top \mathbf{H}_{\Omega^\dagger}(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \hat{\mathbf{t}}]$$

$$\Delta \mathbf{T} \approx \mathbf{f}(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{t}})$$

Distribuição  
de momentos

1<sup>a</sup> etapa

Estimar uma  
distribuição de  
momentos  
positiva

Direção de  
magnetização  
da Camada

2<sup>a</sup> etapa

Direção de  
magnetização  
próxima a do corpo  
verdadeiro!

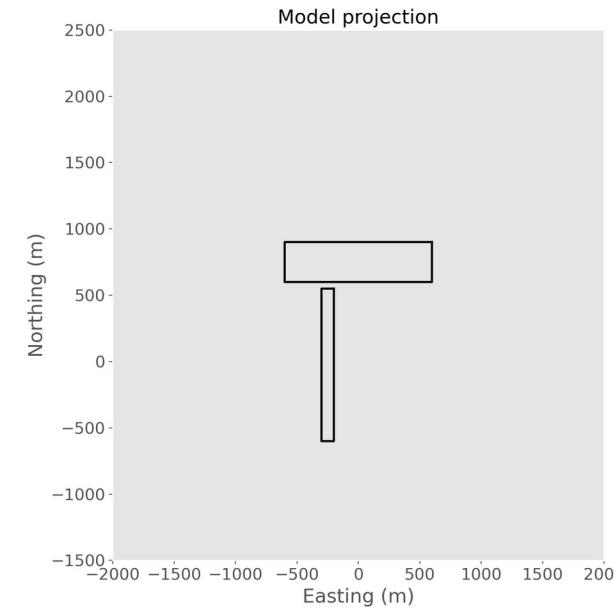
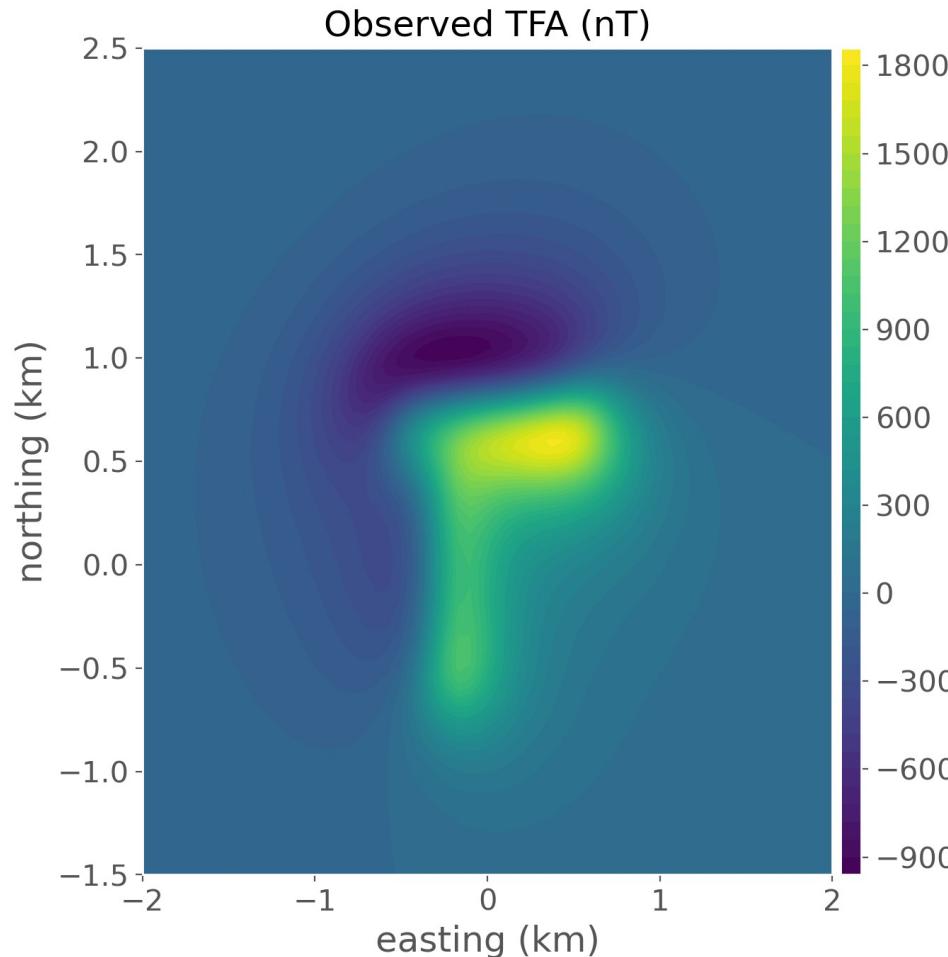
# Exemplos da Camada:

- 1 – **Simulação numérica**: a distribuição positiva
- 2 – **Simulação numérica**: Múltiplas fontes com mesma direção de magnetização
- 3 – **Simulação numérica**: Múltiplas fontes com diferente direção de magnetização
- 4 – **Aplicação a dados de aerolevantamento** : Complexo de Montes Claros de Goiás (PAGO)

# 1. A distribuição positiva

## 1. Distribuição positiva

# Modelagem dos dados



Direção do Campo principal

$$\hat{\mathbf{u}} = (40^\circ, -50^\circ)$$

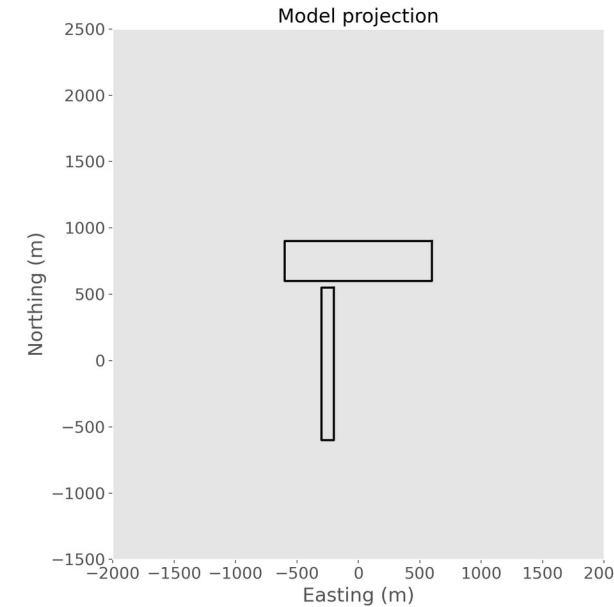
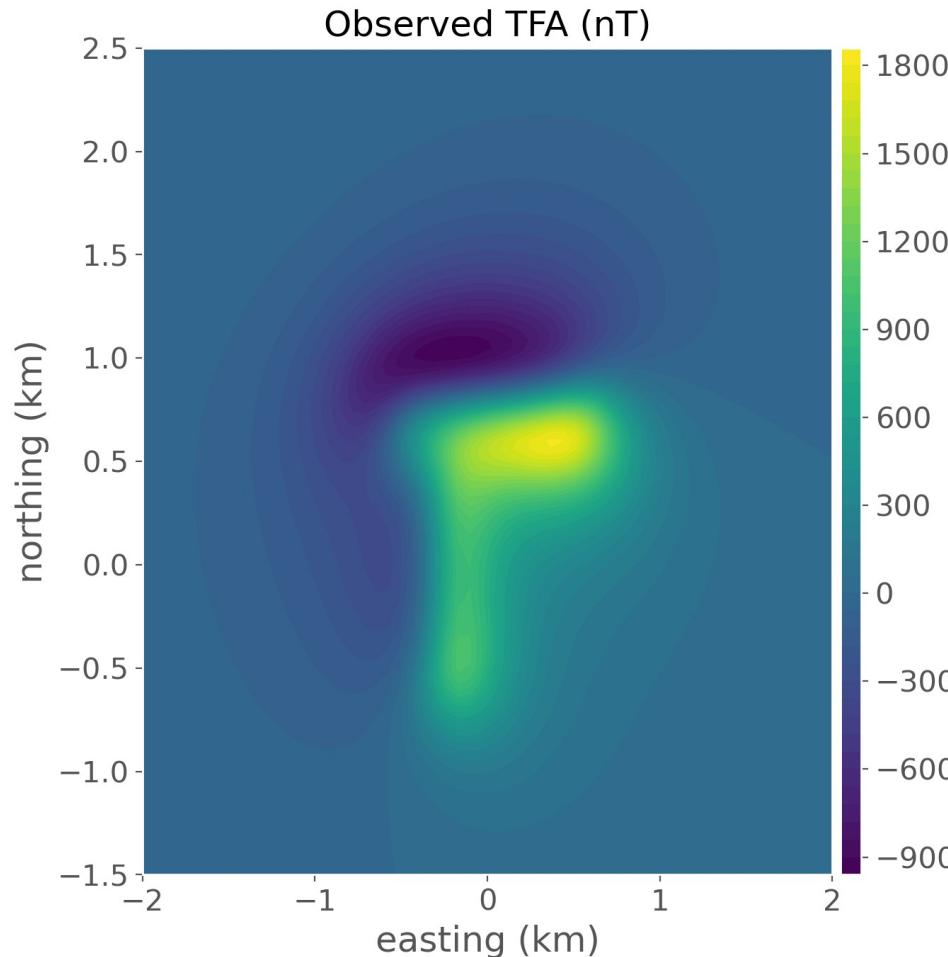
Direção das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (60^\circ, -30^\circ)$$

Dado sem ruído!

## 1. Distribuição positiva

# Modelagem dos dados



Dado sem ruído!

Utilizo a técnica clássica, em que eu imponho uma direção de magnetização a camada, para estimar um conjunto de momentos magnéticos.

Direção do Campo principal  
 $\hat{\mathbf{u}} = (40^\circ, -50^\circ)$

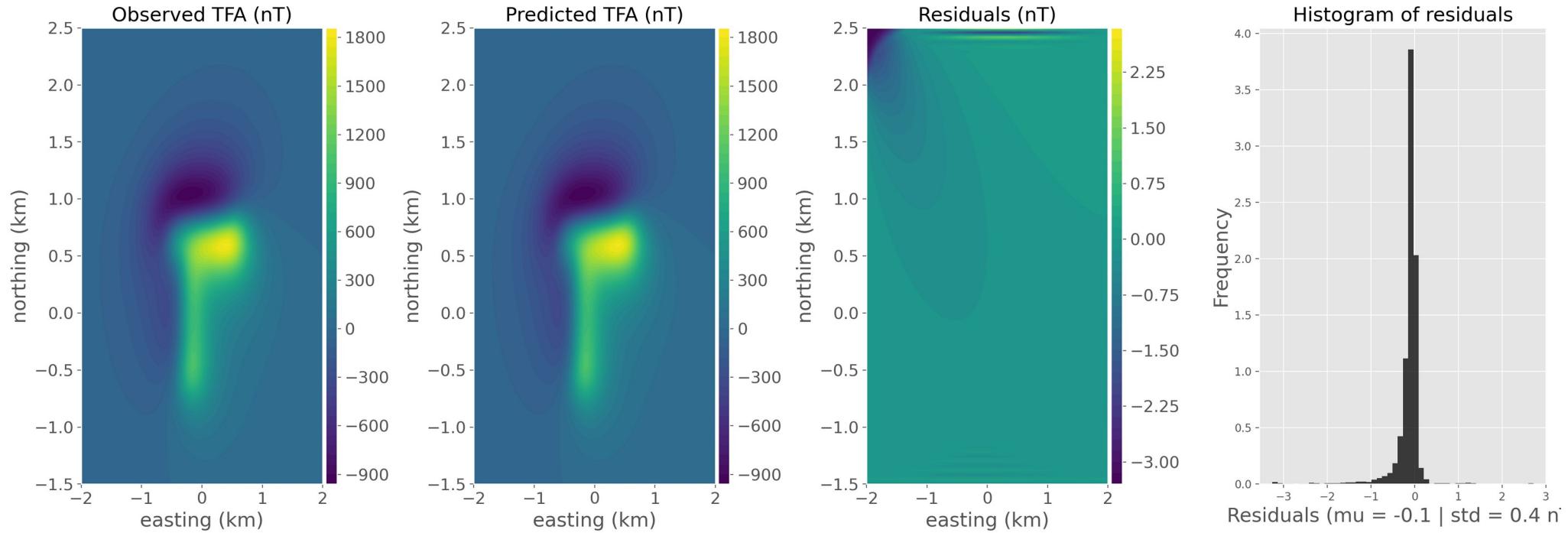
Direção das fontes  
 $\hat{\mathbf{m}} = (60^\circ, -30^\circ)$

## 1. Distribuição positiva

Direção da Camada

$$\hat{\mathbf{t}} = (60^\circ, -30^\circ)$$

## Ajuste dos dados

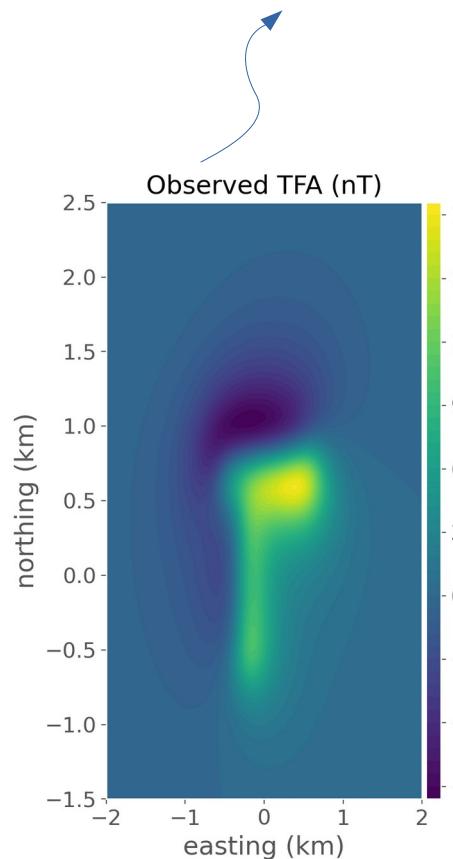


## 1. Distribuição positiva

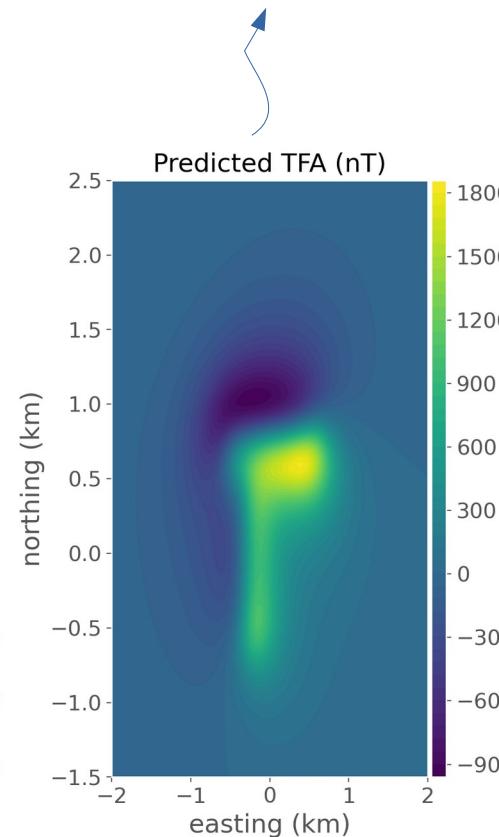
Direção da Camada

$$\hat{\mathbf{t}} = (60^\circ, -30^\circ)$$

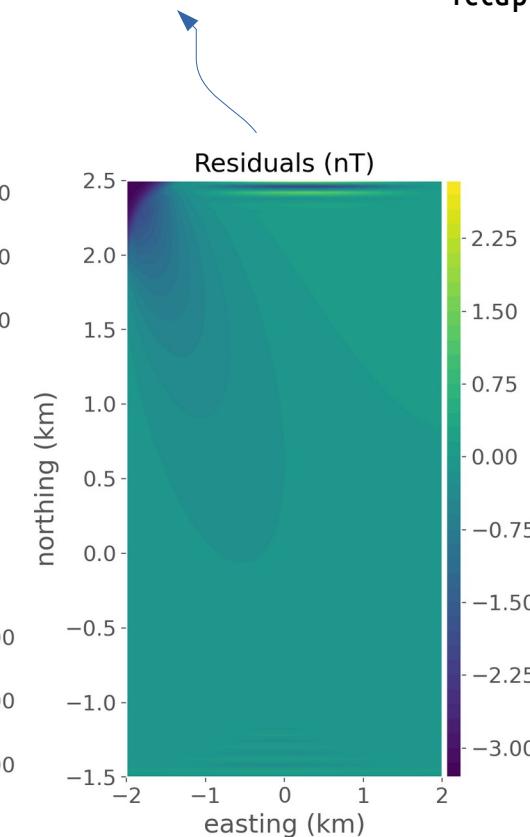
Dado gerado pelo modelo



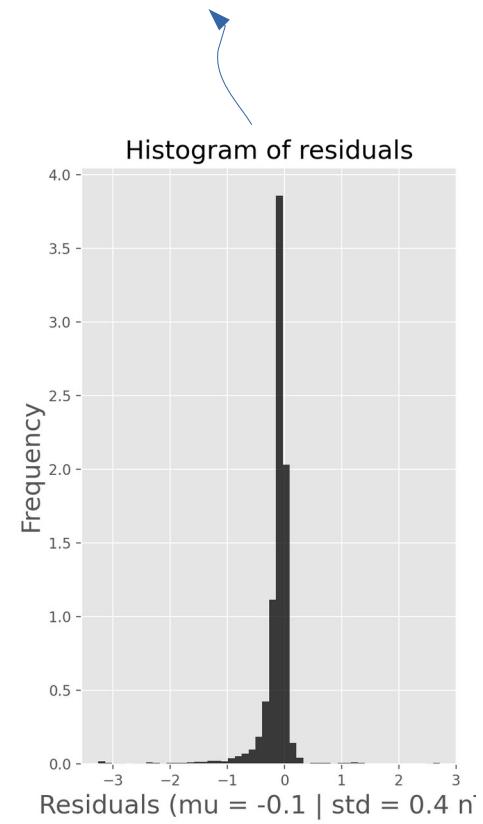
Dado gerado pela Camada Equivalente



Diferença entre os dados do modelo e da Camada



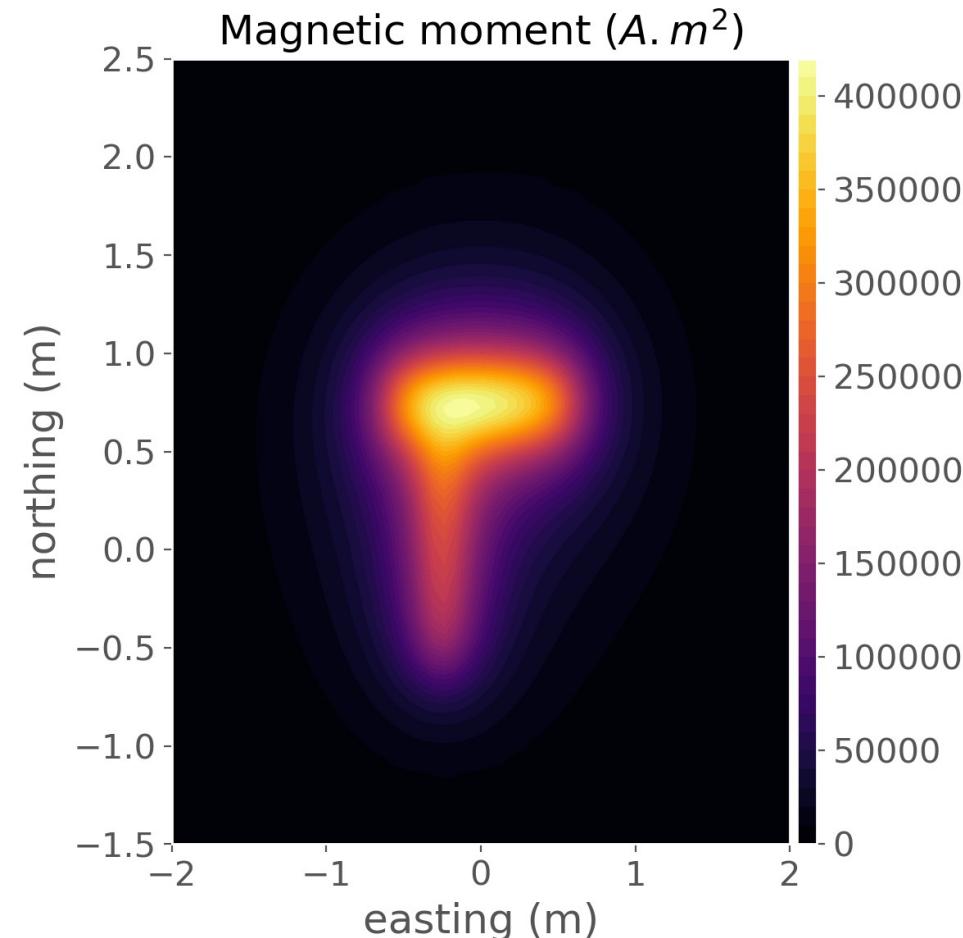
Mostra um bom ajuste do dados, o que quer dizer que a camada foi eficiente em recuperar o campo observado!



## Ajuste dos dados

## 1. Distribuição positiva

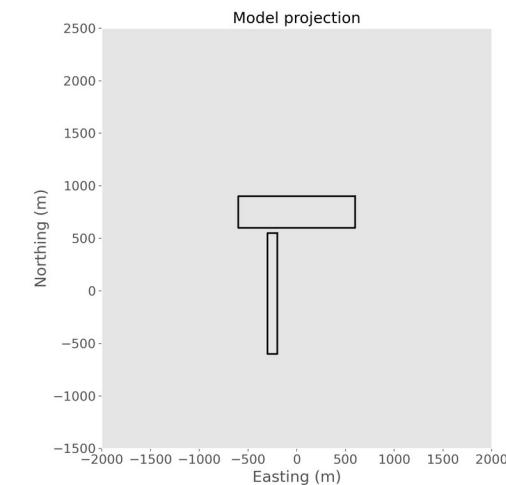
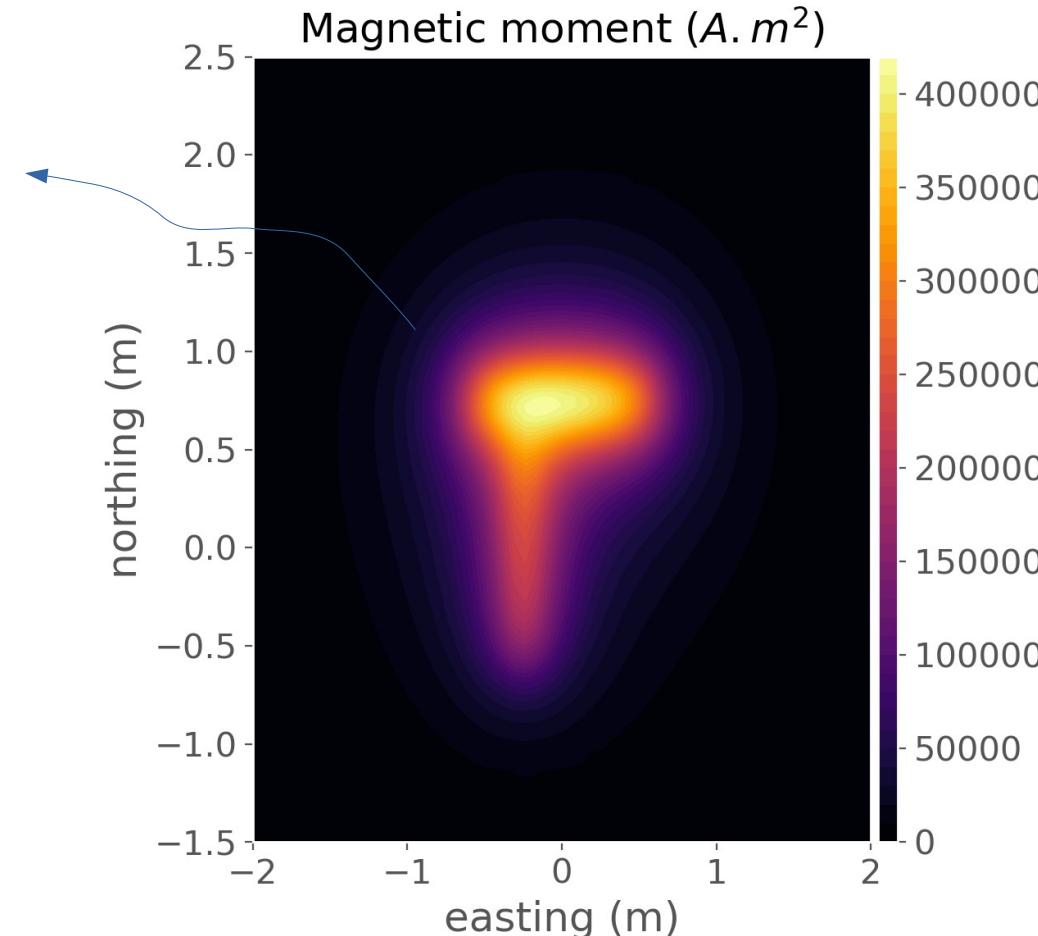
### Distribuição de momentos estimada



## 1. Distribuição positiva

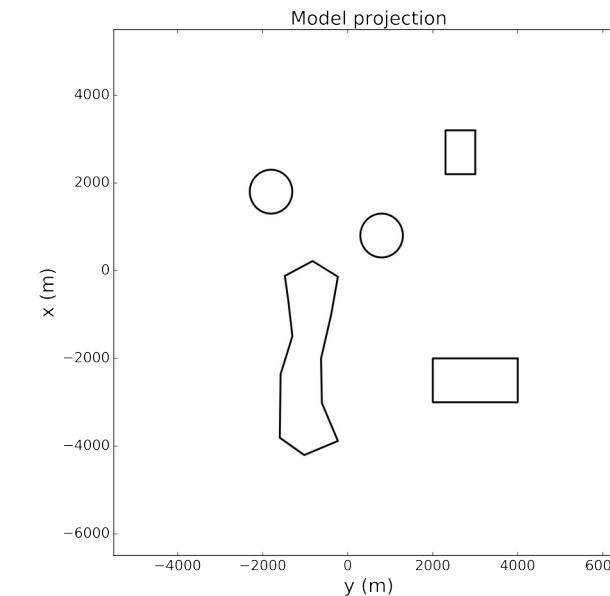
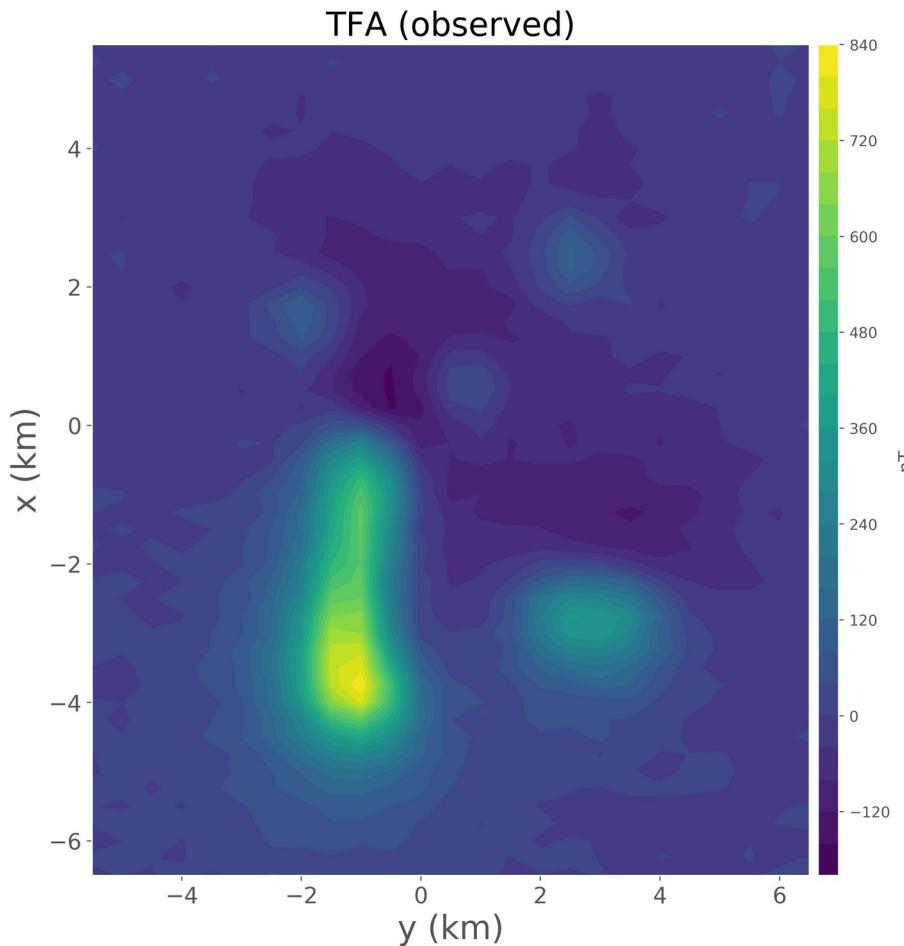
Distribuição de momentos magnéticos acima das fontes, o que pode ser o indicativo da projeção do corpo sobre a camada.

### Distribuição de momentos estimada



2. Múltiplas fontes com mesma  
direção de magnetização

## Modelagem dos dados



Direção do Campo principal

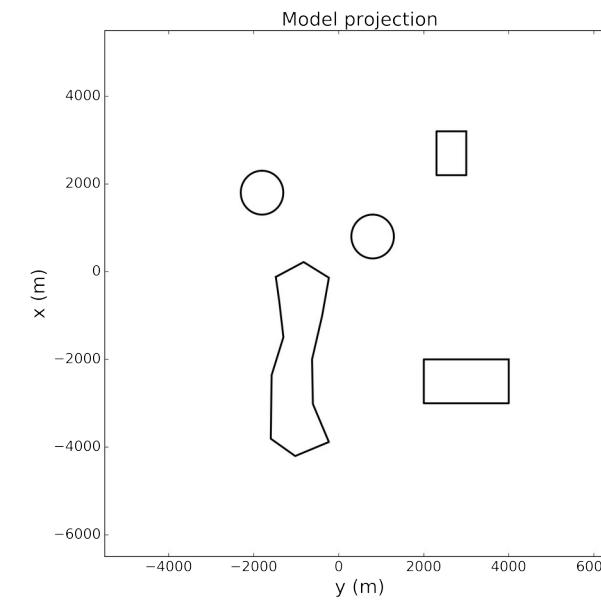
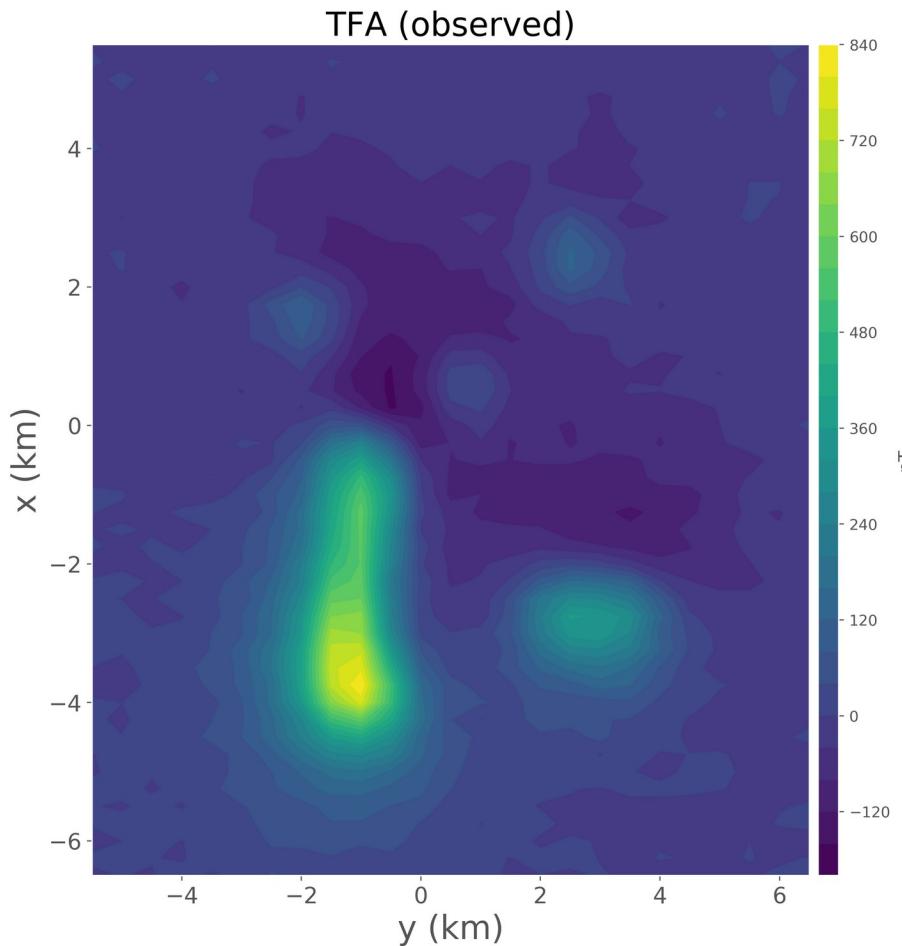
$$\hat{\mathbf{u}} = (-40^\circ, -22^\circ)$$

Direção das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

Dado com ruído gaussiano!

## Modelagem dos dados



Dado com ruído gaussiano!

Utilizo a camada com positividade em que  
estimo simultaneamente a direção de  
magnetização e a distribuição de momentos  
magnéticos

Direção do Campo principal

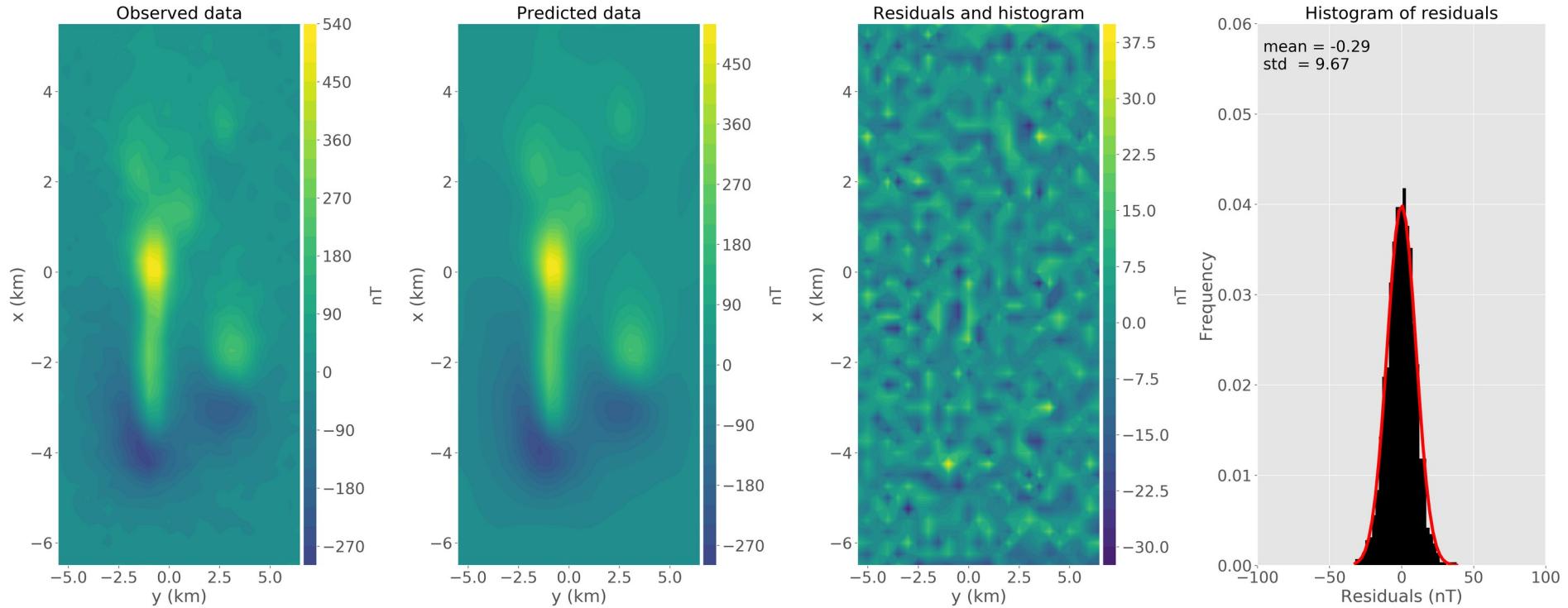
$$\hat{\mathbf{u}} = (-40^\circ, -22^\circ)$$

Direção das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

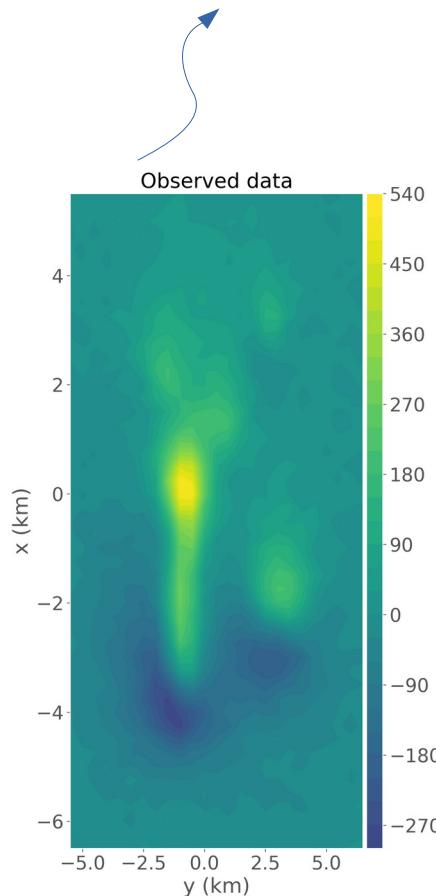
## 2. Múltiplas fontes

# Ajuste dos dados

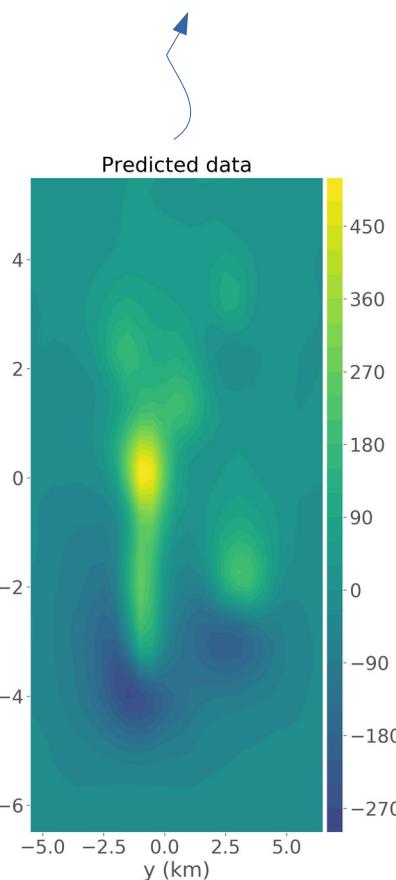


# Ajuste dos dados

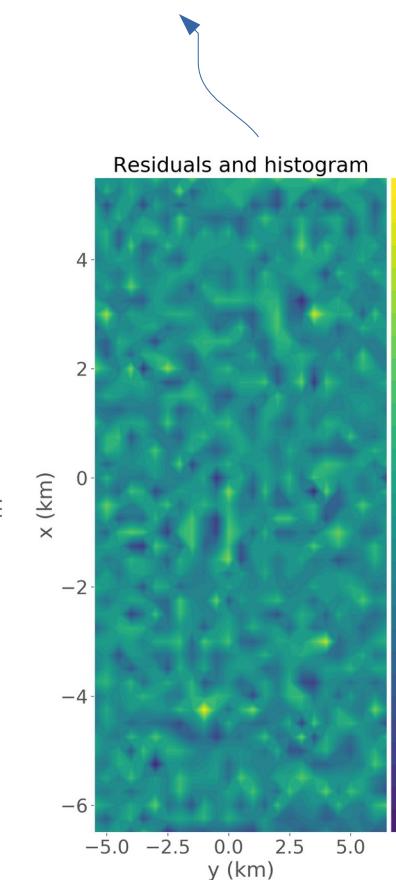
Dado gerado pelo modelo



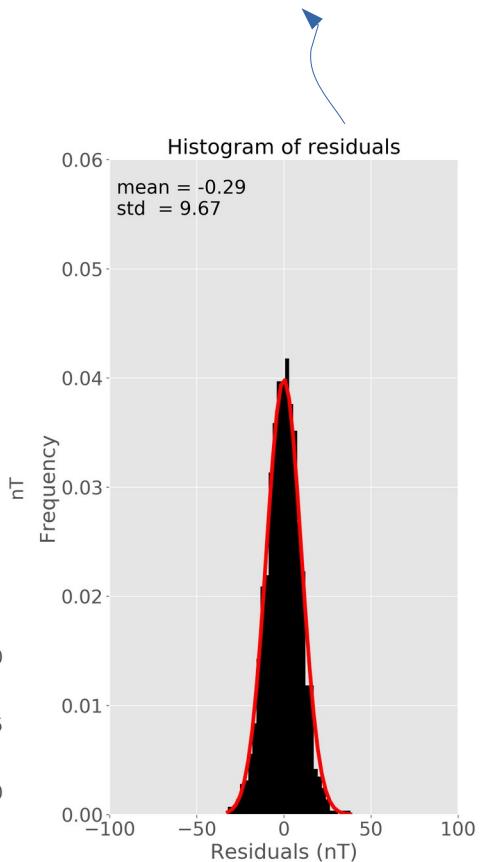
Dado gerado pela Camada Equivalente



Diferença entre os dados do modelo e da Camada



Mostra um bom ajuste do dados, o que quer dizer que a camada foi eficiente em recuperar o campo observado!



## 2. Múltiplas fontes

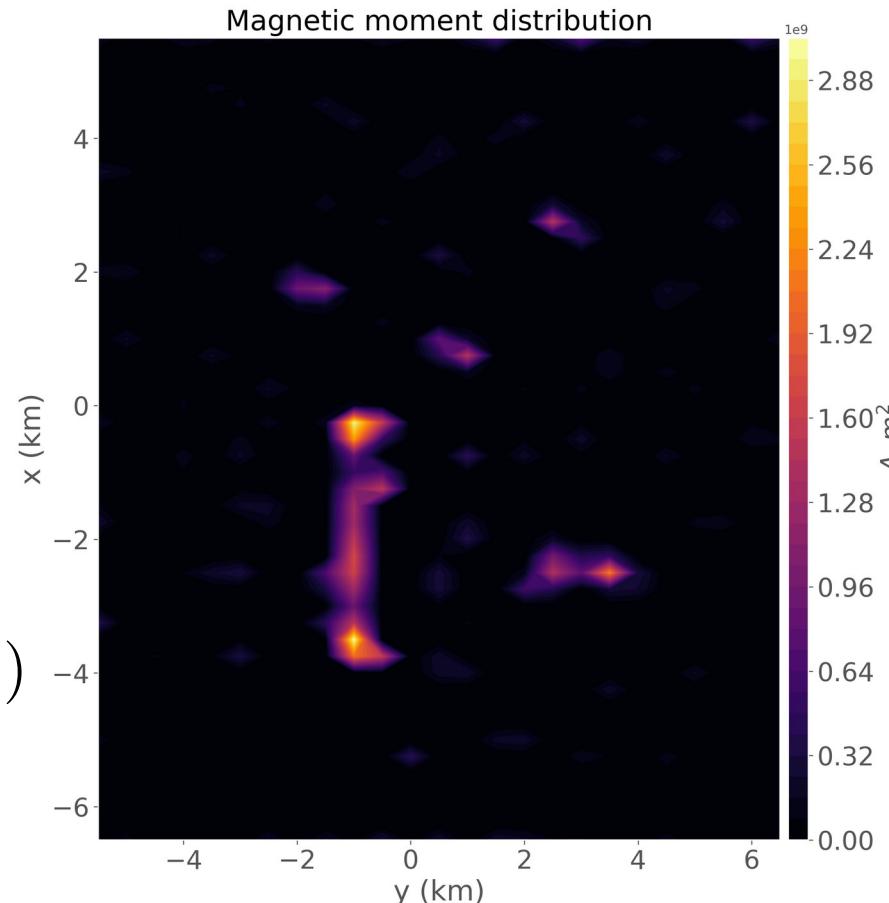
# Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada

**Direção verdadeira das fontes**

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

**Direção estimada pela camada**

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-28, 7^\circ, 31, 7^\circ)$$



## 2. Múltiplas fontes

# Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada

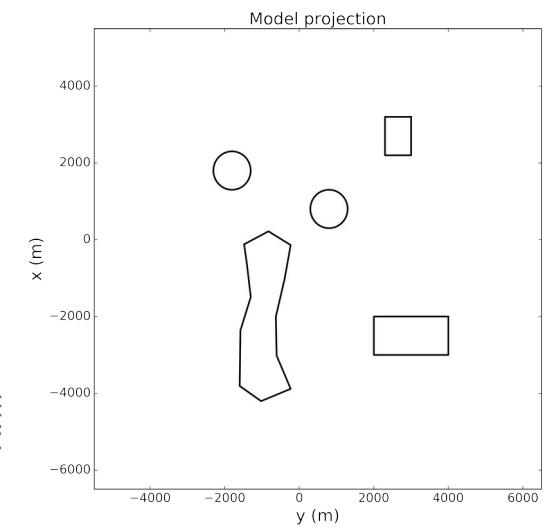
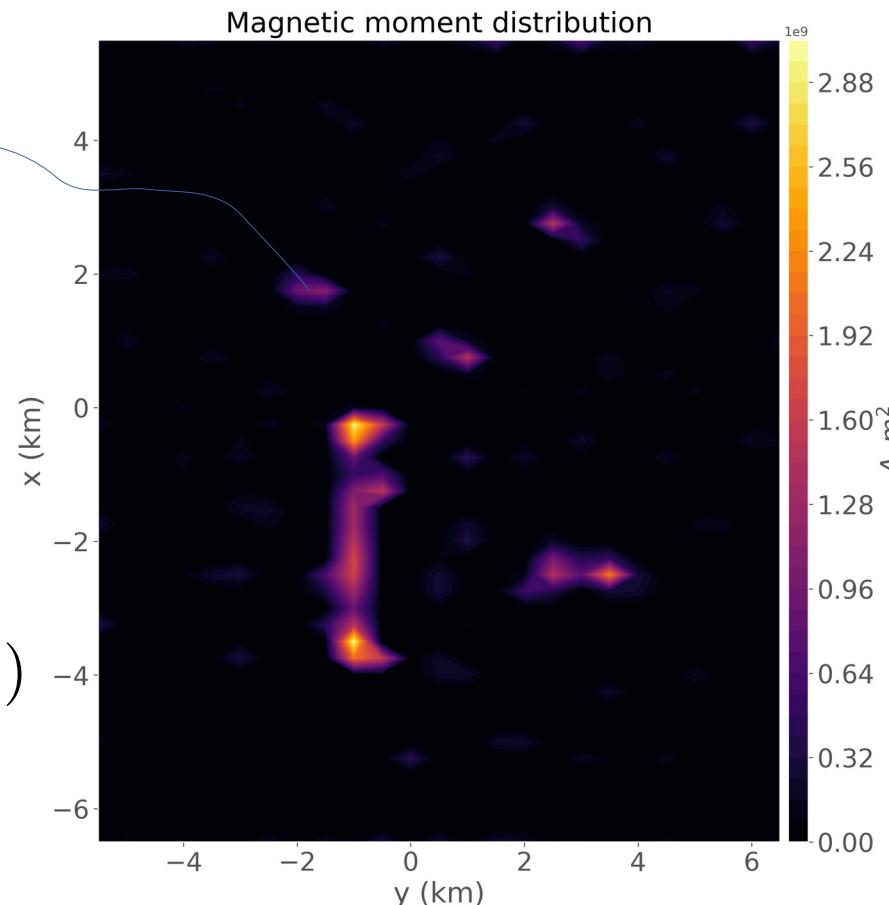
Distribuição de momentos magnéticos acima das fontes, o que pode ser o indicativo da projeção do corpo sobre a camada.

Direção verdadeira das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

Direção estimada pela camada

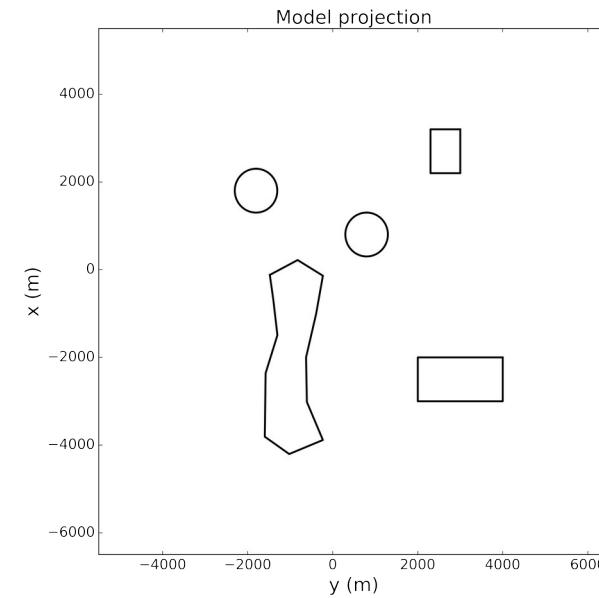
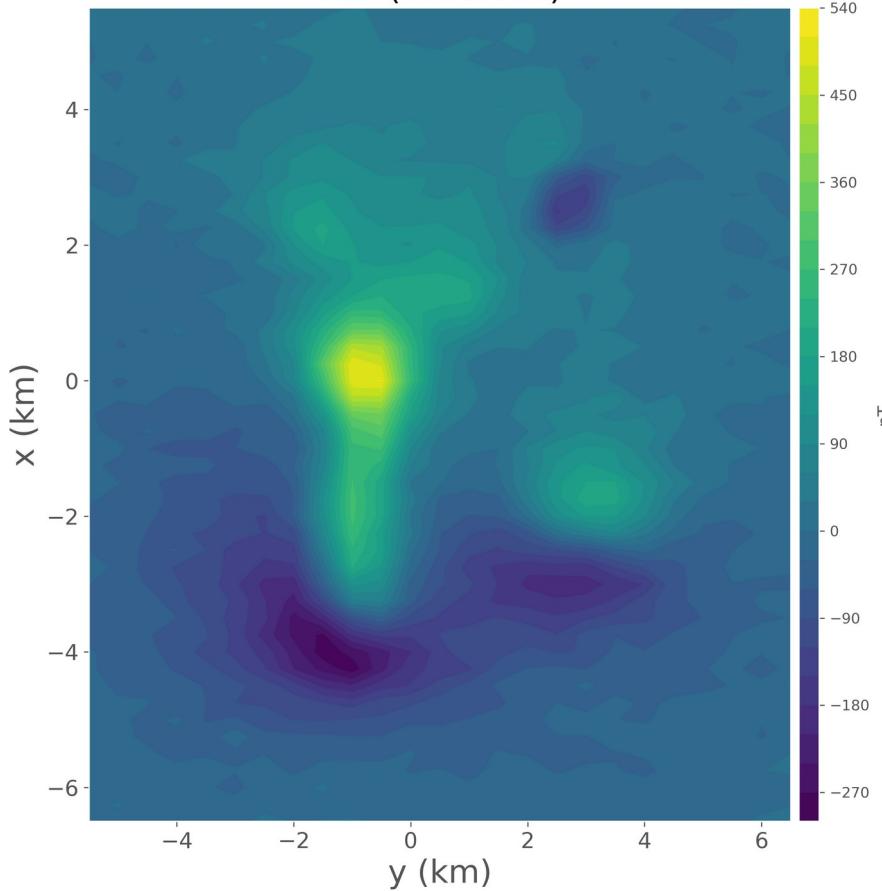
$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-28, 7^\circ, 31, 7^\circ)$$



### 3. Múltiplas fontes com uma direção de magnetização diferente

## Modelagem dos dados

TFA (observed)



Direção do Campo principal

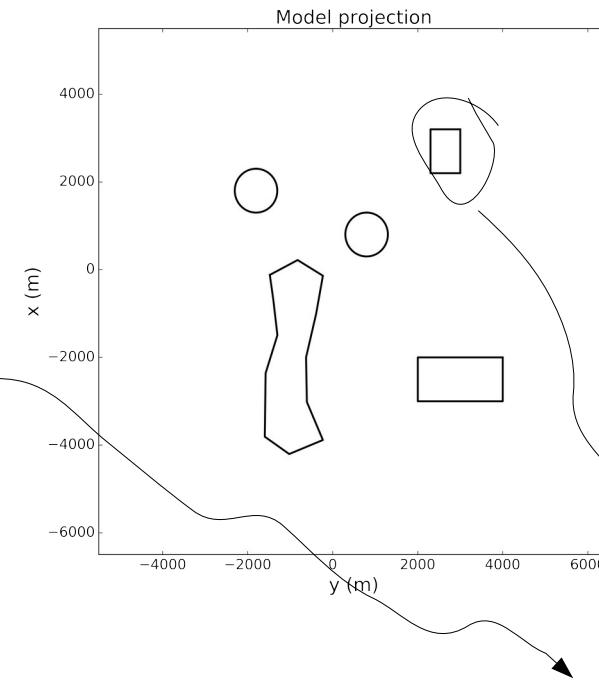
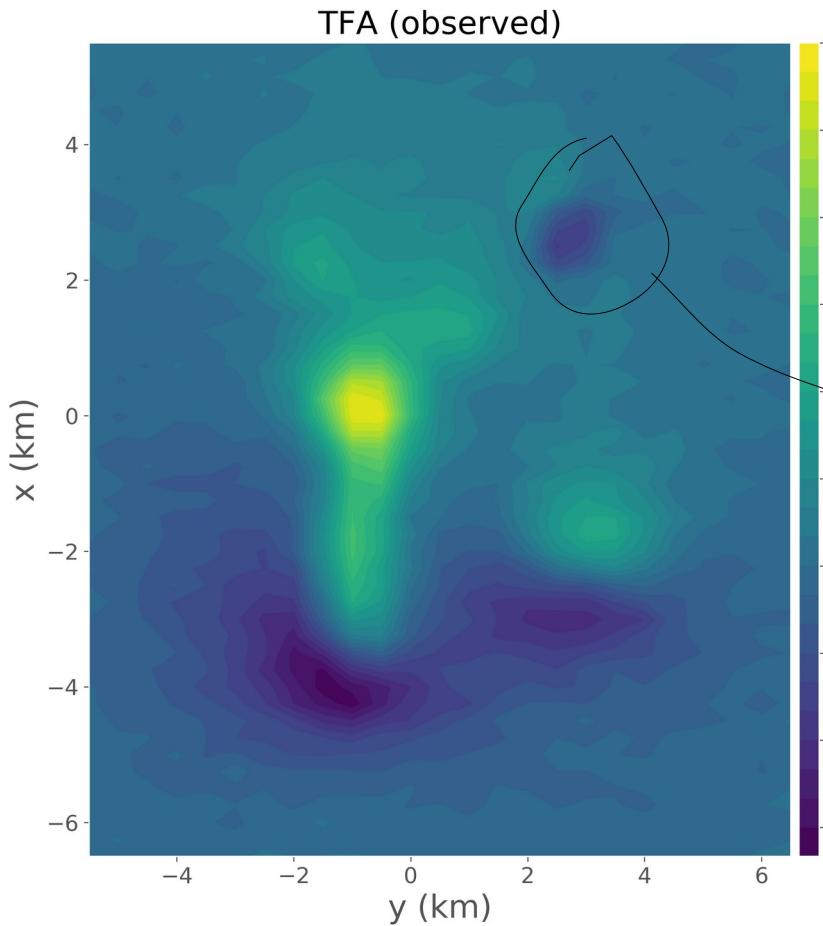
$$\hat{\mathbf{u}} = (-40^\circ, -22^\circ)$$

Direção das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

Dado com ruído gaussiano!

## Modelagem dos dados



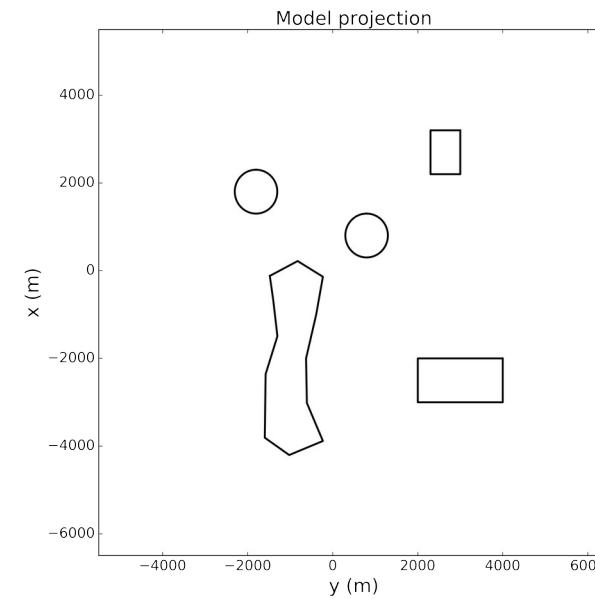
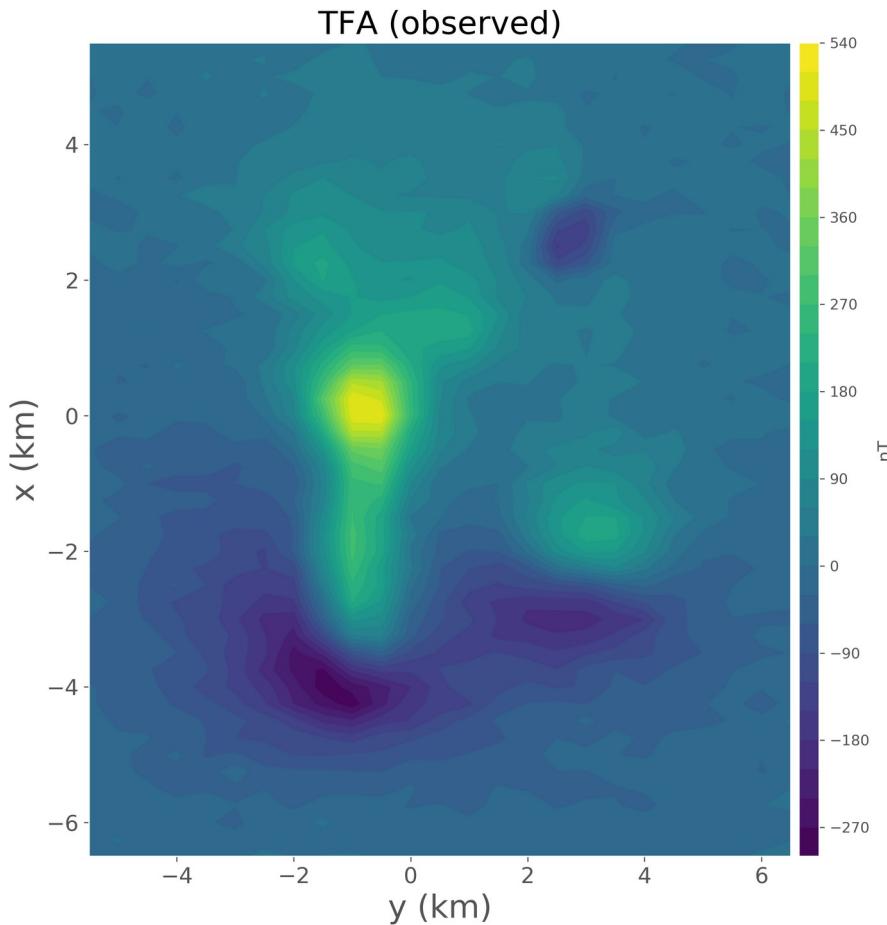
Dado com ruído gaussiano!

Direção de magnetização  
diferente das demais!

Direção do Campo principal  
 $\hat{\mathbf{u}} = (-40^\circ, -22^\circ)$

Direção das fontes  
 $\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$

# Modelagem dos dados



Dado com ruído gaussiano!

Utilizo a camada com positividade em que estimo simultaneamente a direção de magnetização e a distribuição de momentos magnéticos

Direção do Campo principal

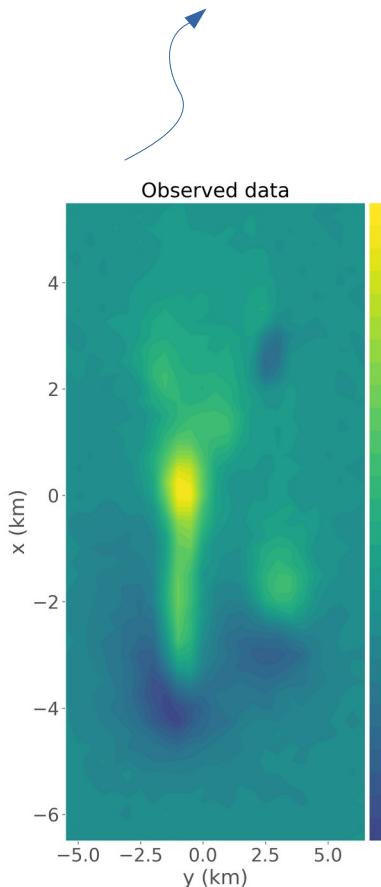
$$\hat{\mathbf{u}} = (-40^\circ, -22^\circ)$$

Direção das fontes

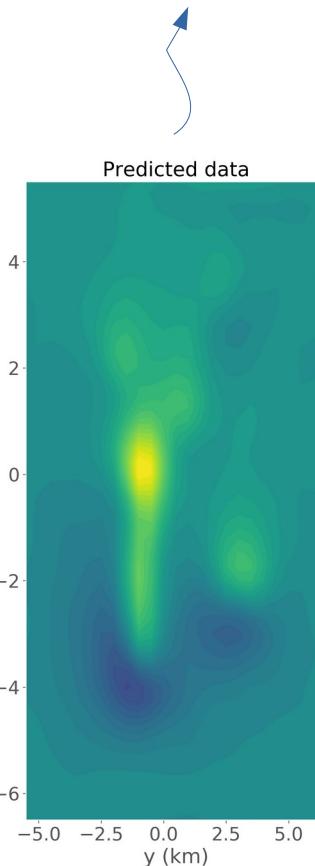
$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

## Ajuste dos dados

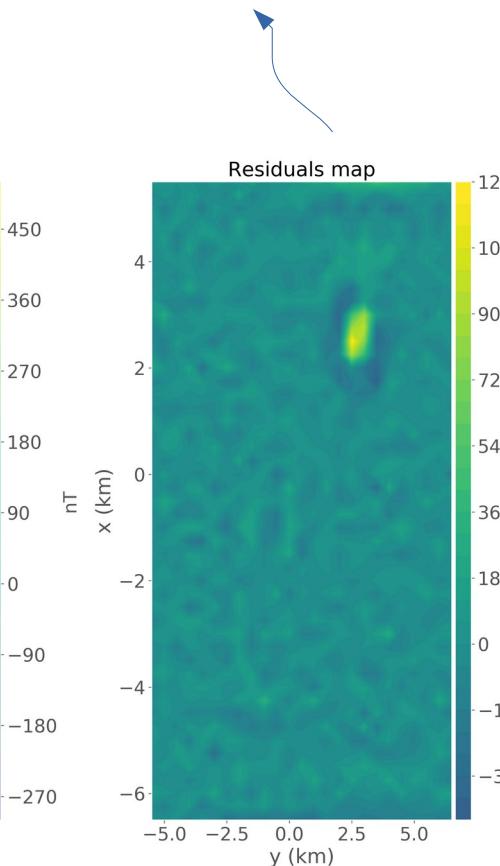
Dado gerado pelo modelo



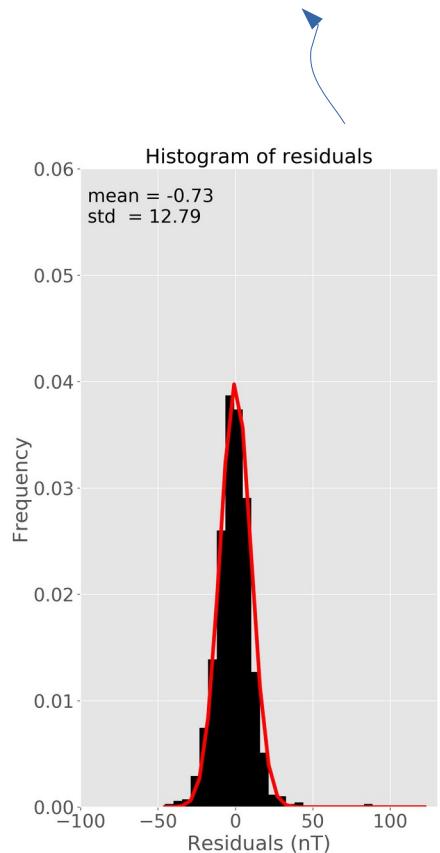
Dado gerado pela Camada Equivalente



Diferença entre os dados do modelo e da Camada

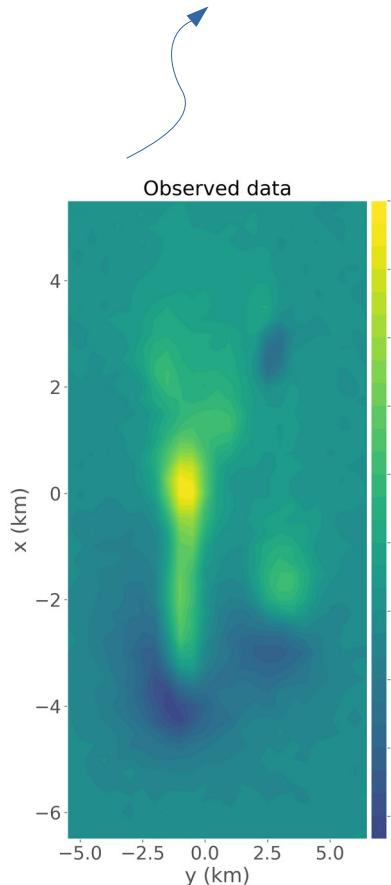


Mostra um bom ajuste do dados, o que quer dizer que a camada foi eficiente em recuperar o campo observado!

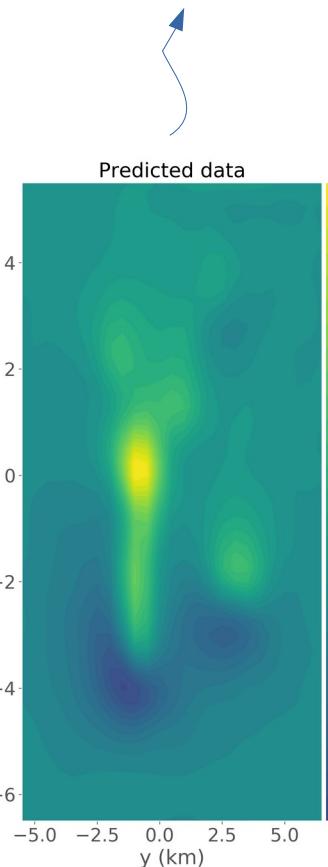


## Ajuste dos dados

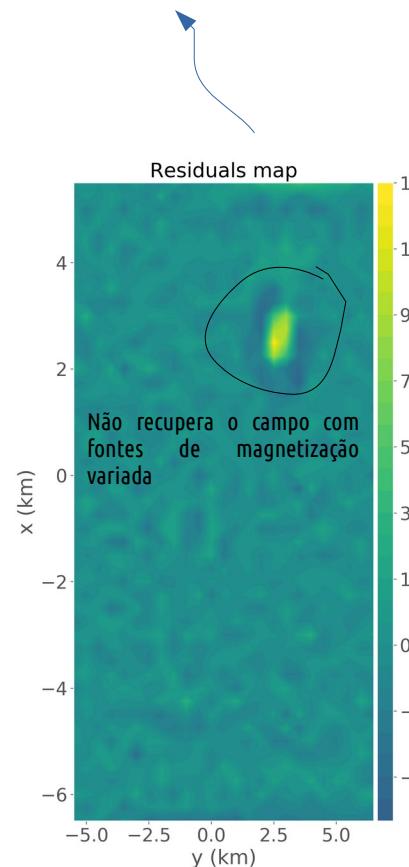
Dado gerado pelo modelo



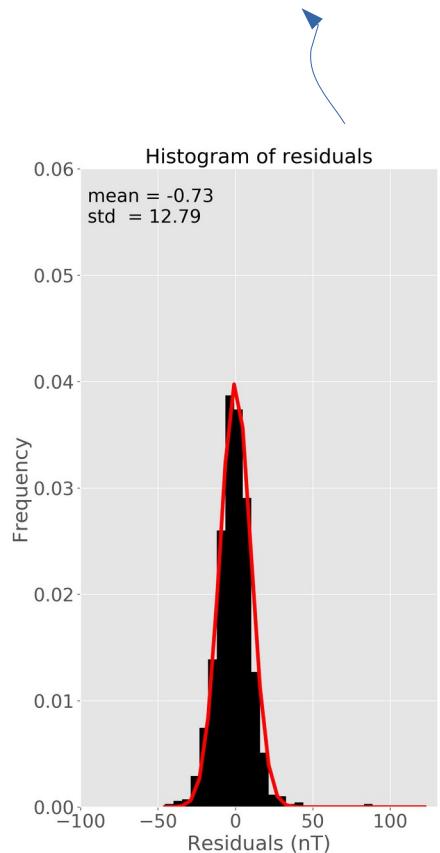
Dado gerado pela Camada Equivalente



Diferença entre os dados do modelo e da Camada

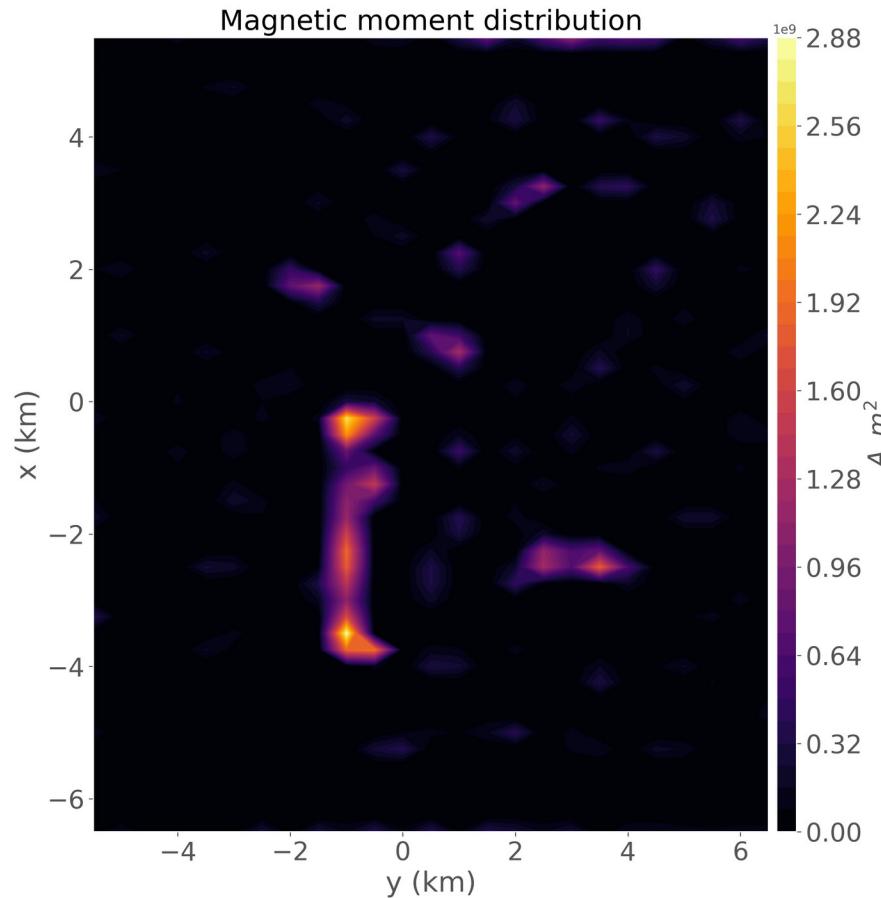


Mostra um bom ajuste do dados, o que quer dizer que a camada foi eficiente em recuperar o campo observado!



### 3. Múltiplas fontes

## Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada



Direção verdadeira das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

Direção estimada pela camada

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-30, 4^\circ, 27, 6^\circ)$$

### 3. Múltiplas fontes

## Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada

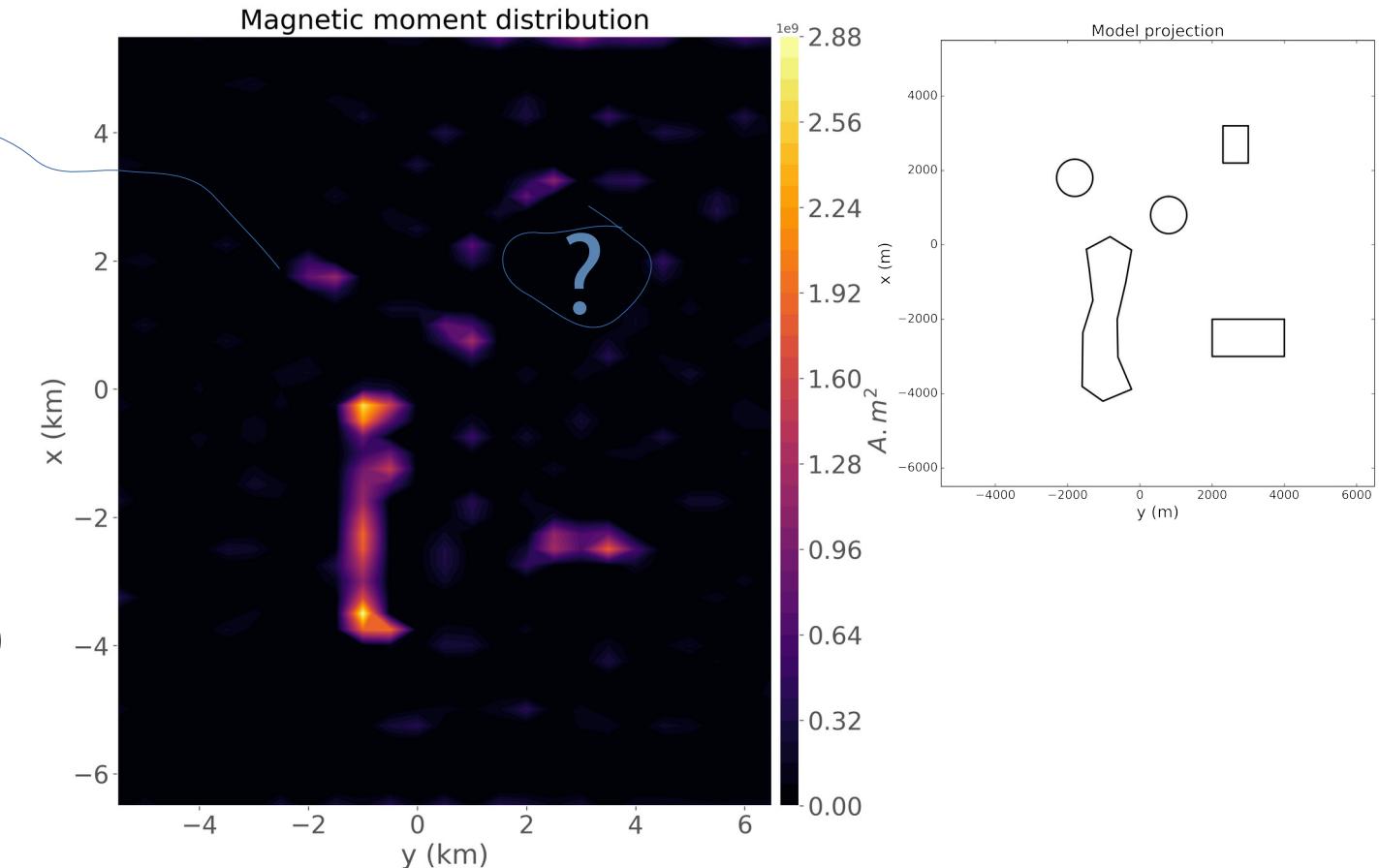
Distribuição de momentos magnéticos acima das fontes, o que pode ser o indicativo da projeção do corpo sobre a camada.

Direção verdadeira das fontes

$$\hat{\mathbf{m}} = (-25^\circ, 30^\circ)$$

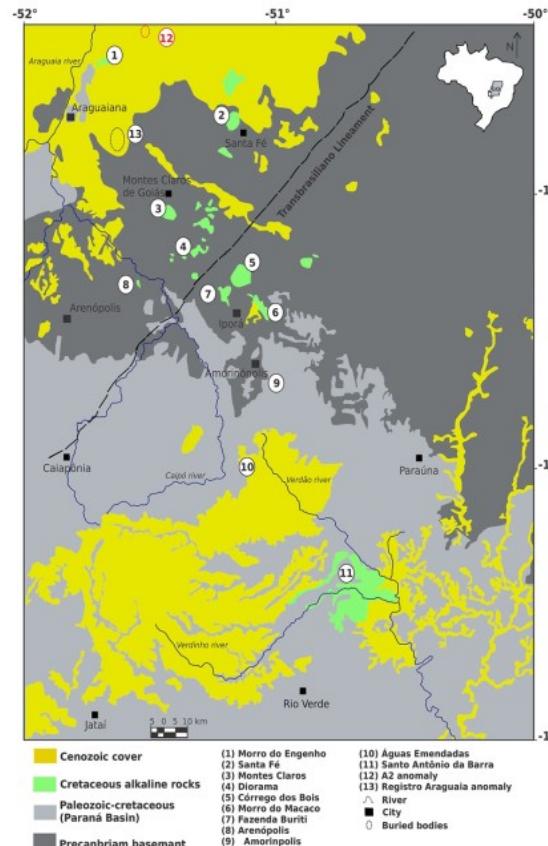
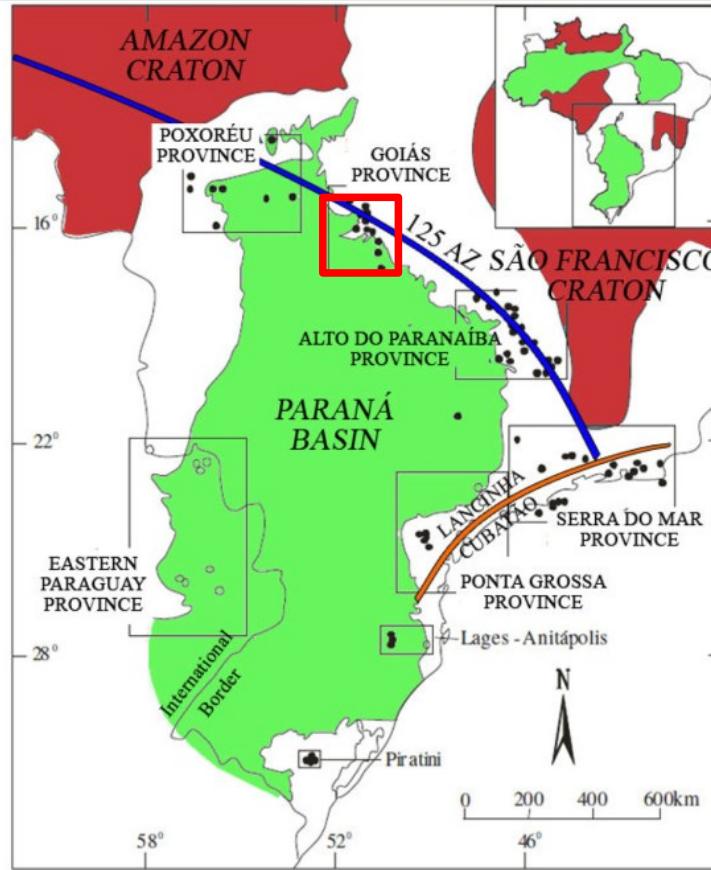
Direção estimada pela camada

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-30, 4^\circ, 27, 6^\circ)$$



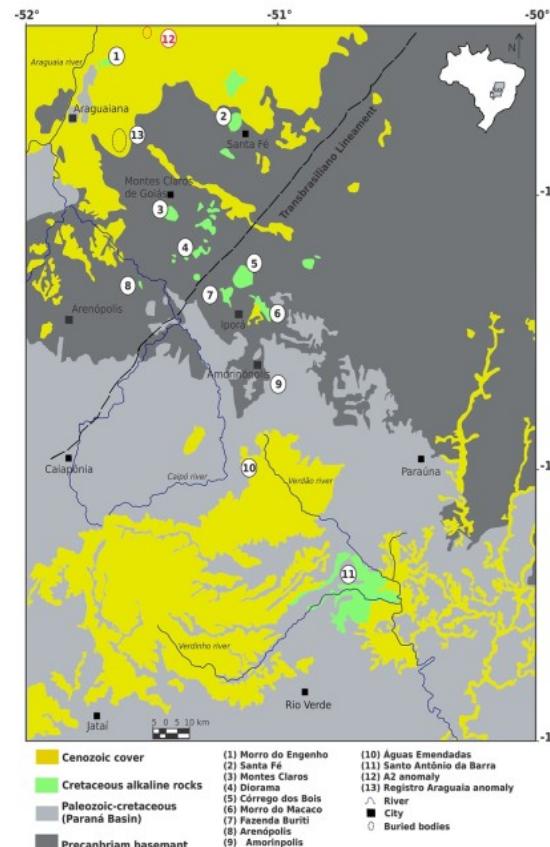
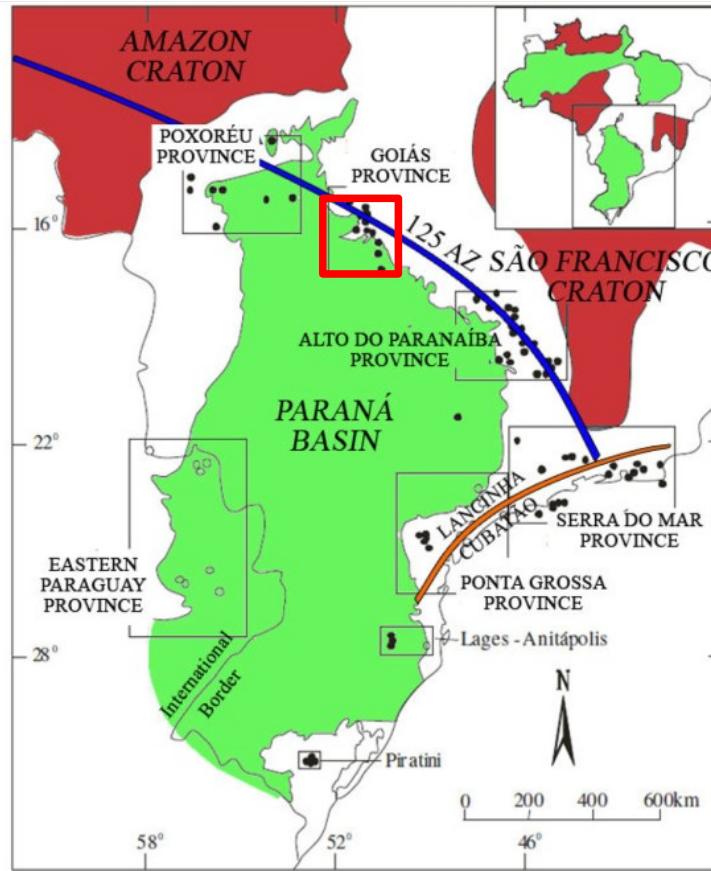
## 4. Dados magnéticos de Montes Claros de Goiás, GO, Brasil

# Sobre a Província Alcalina de Goiás (PAGO)



A Província Alcalina de Goiás (PAGO), localizada na porção norte da região que margeia a Bacia do Paraná, é resultado de um intenso magmatismo alcalino na região no final do Cretáceo. A PAGO é composta por corpos plutônicos máficos e ultramáficos a Norte, intrusões alcalinas subvulcânicas na região Central e a sul por fluxos de lava extrusivos.

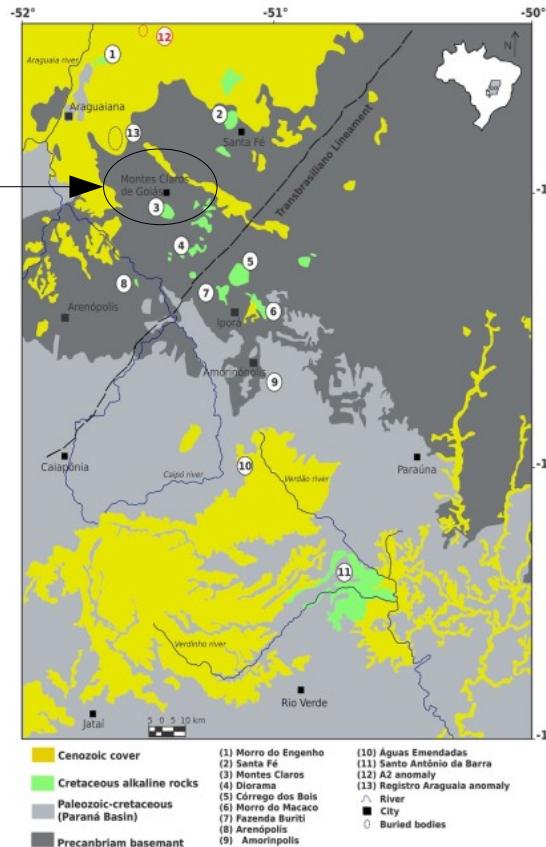
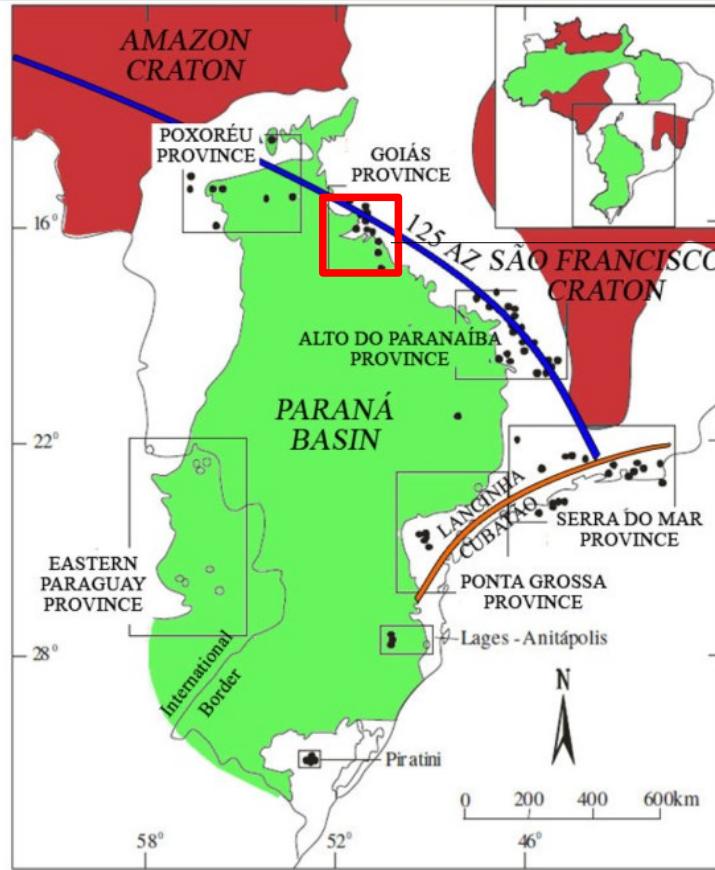
# Sobre a Província Alcalina de Goiás (PAGO)



A Província Alcalina de Goiás (PAGO), localizada na porção norte da região que margeia a Bacia do Paraná, é resultado de um intenso magmatismo alcalino na região no final do Cretáceo. A PAGO é composta por corpos plutônicos máficos e ultramáficos a Norte, intrusões alcalinas subvulcânicas na região Central e a sul por fluxos de lava extrusivos.

Formada, principalmente, pelos complexos: Morro do Engenho, Santa Fé, Montes Claros, Diorama, Córrego dos bois, Morro do Macaco, Fazenda Buriti, Arenópolis, Amorinópolis, Águas Emendadas, Santo Antônio da Barra, Registro do Araguaia, Anomalia A2.

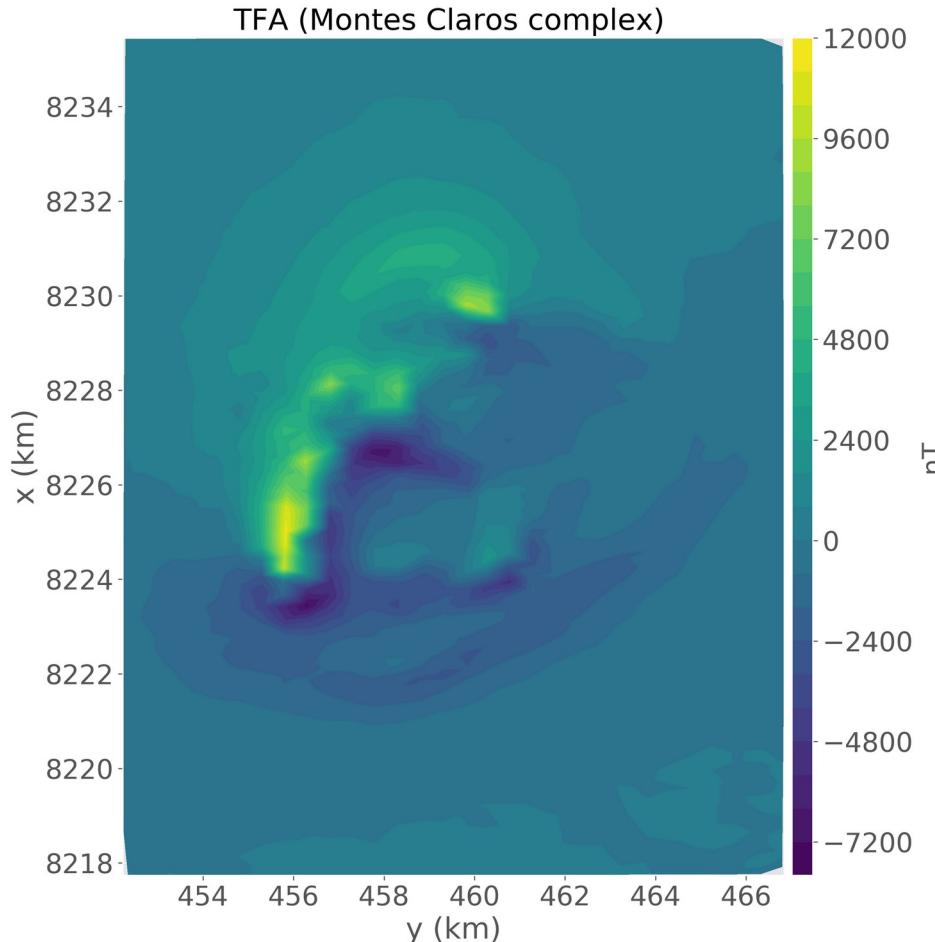
# Sobre a Província Alcalina de Goiás (PAGO)



A Província Alcalina de Goiás (PAGO), localizada na porção norte da região que margeia a Bacia do Paraná, é resultado de um intenso magmatismo alcalino na região no final do Cretáceo. A PAGO é composta por corpos plutônicos máficos e ultramáficos a Norte, intrusões alcalinas subvulcânicas na região Central e a sul por fluxos de lava extrusivos.

Formada, principalmente, pelos complexos: Morro do Engenho, Santa Fé, **Montes Claros**, Diorama, Córrego dos bois, Morro do Macaco, Fazenda Buriti, Arenópolis, Amorinópolis, Águas Emendadas, Santo Antônio da Barra, Registro do Araguaia, Anomalia A2.

## Os dados de Anomalia de Campo Total



Os dados magnéticos públicos de aerolevantamentos que foram obtidos em 2004 e disponibilizados pela série 1000 da CPRM .

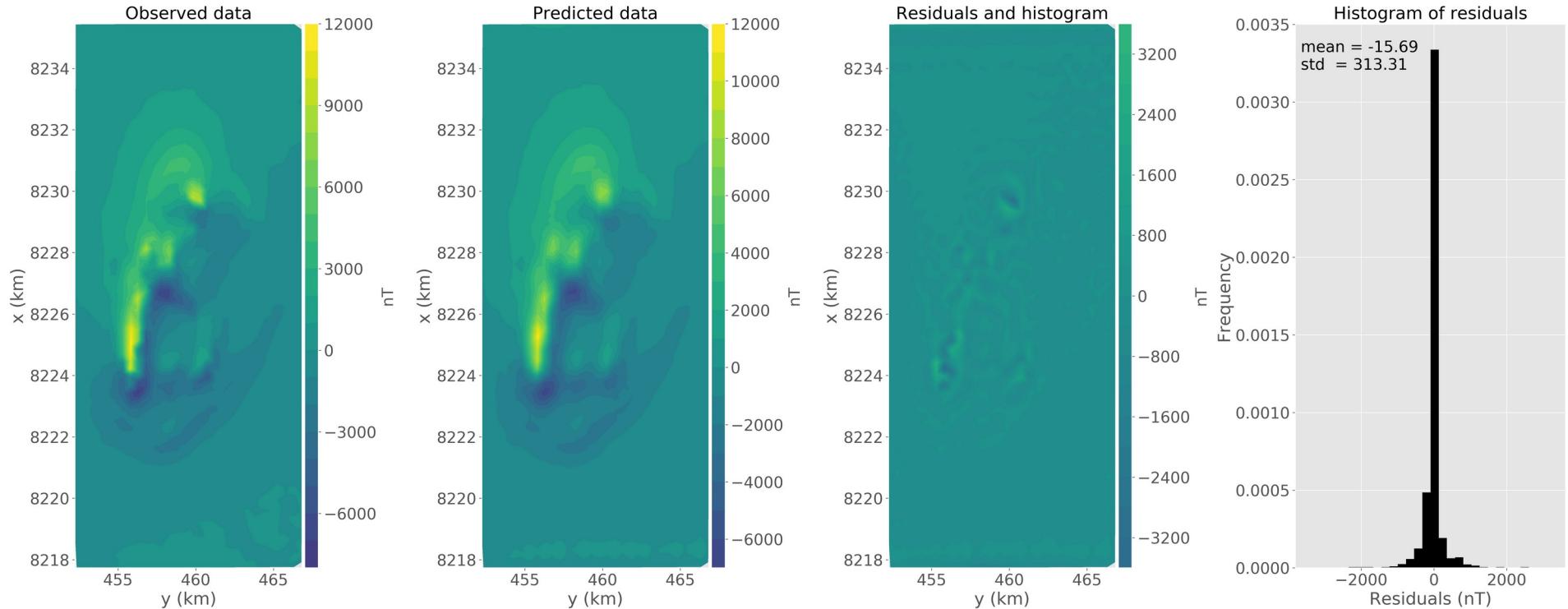
A região é marcada por anomalias de alta amplitude, o que indicam uma marcante presença de componente remanente na magnetização.

**Direção do Campo principal  
(na época do levantamento)**

$$\hat{\mathbf{u}} = (-19, 5^\circ, -18, 5^\circ)$$

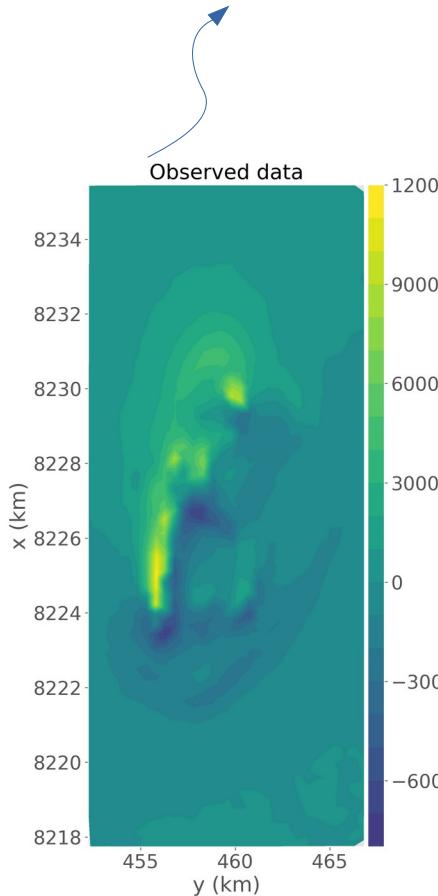
(Dutra et al, 2014; Oliveira Jr et al, 2015; Zhang et al, 2018; Gonzalez et al, 2022)

# Ajuste dos dados

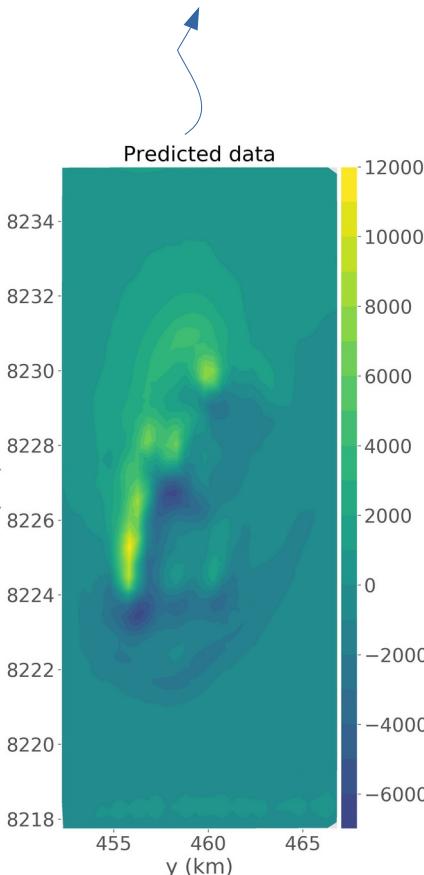


# Ajuste dos dados

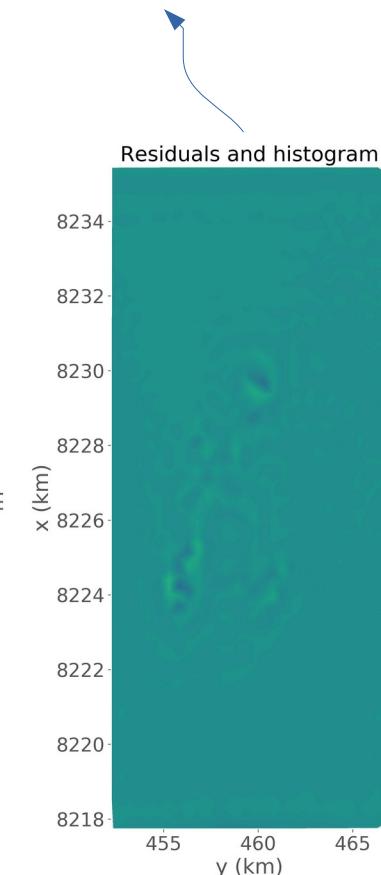
Dado magnético do aerolevantamento



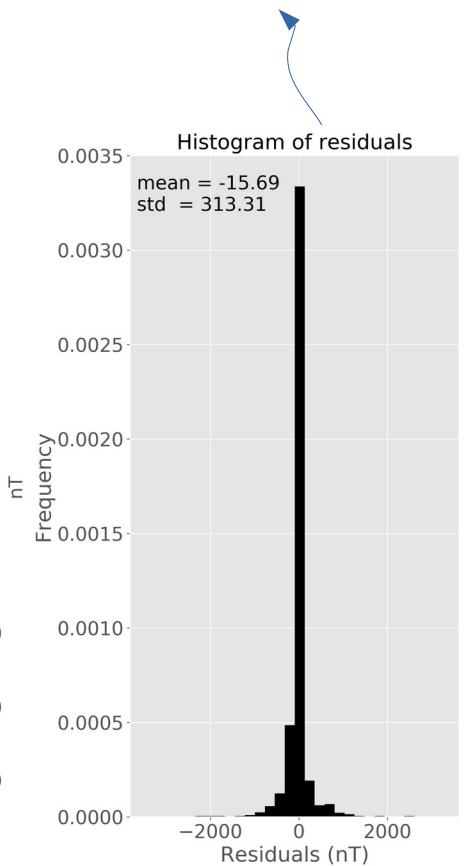
Dado gerado pela Camada Equivalente



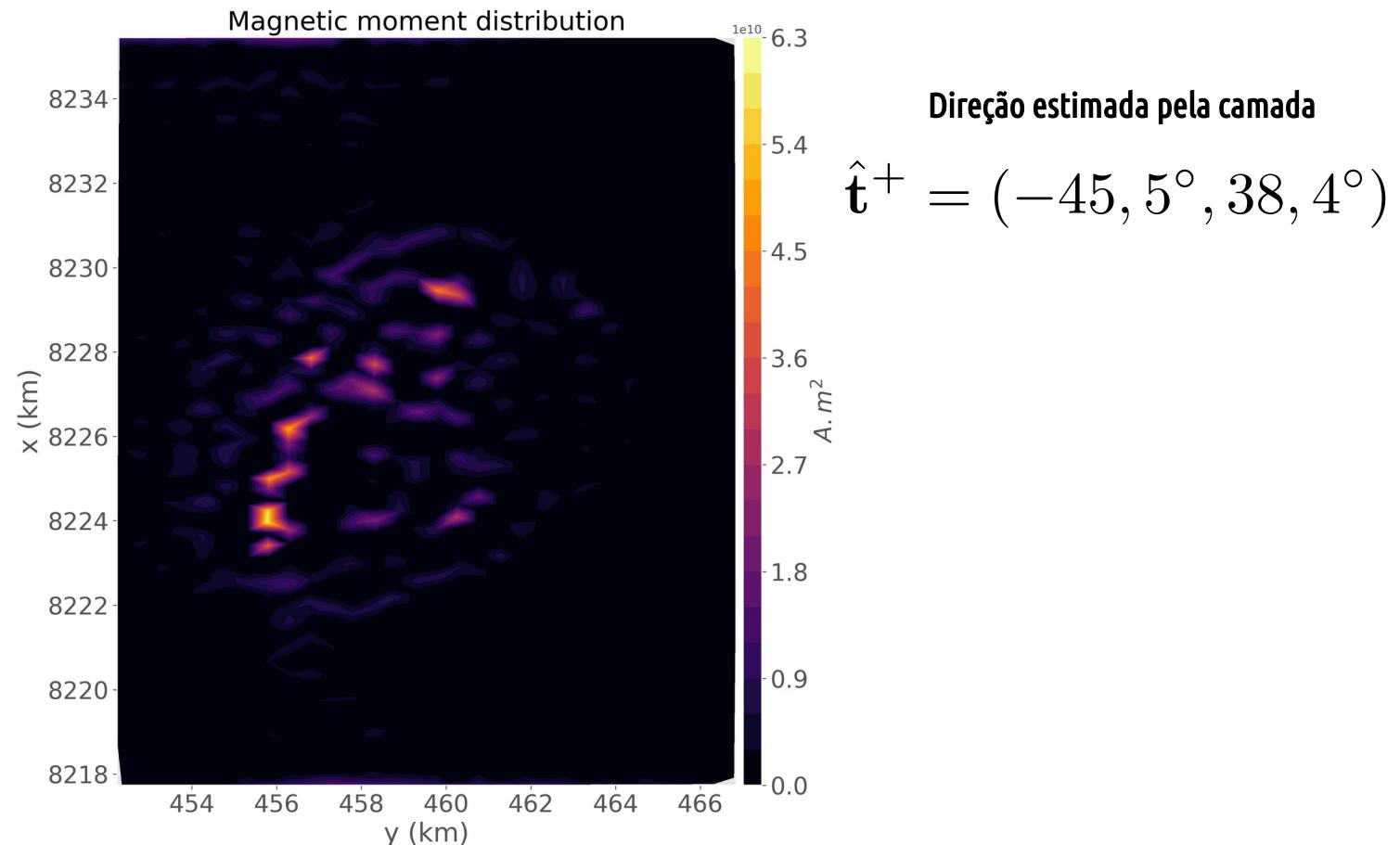
Diferença entre os dados do modelo e da Camada



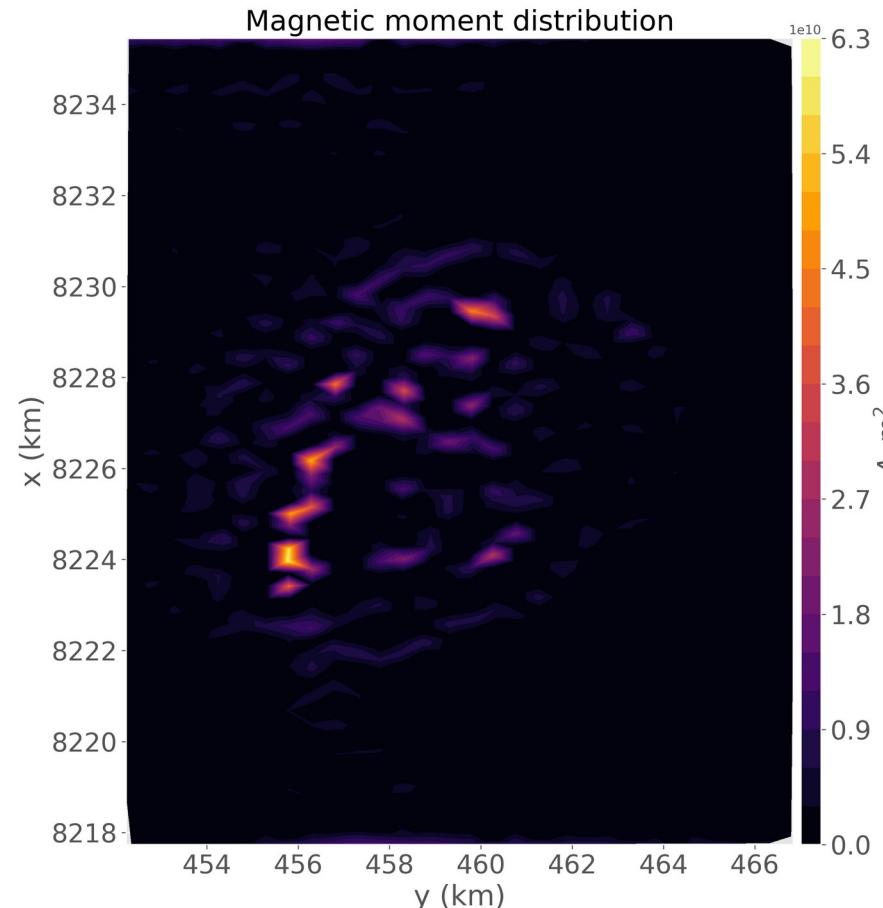
Mostra um bom ajuste do dados, o que quer dizer que a camada foi eficiente em recuperar o campo observado!



## Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada



## Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada



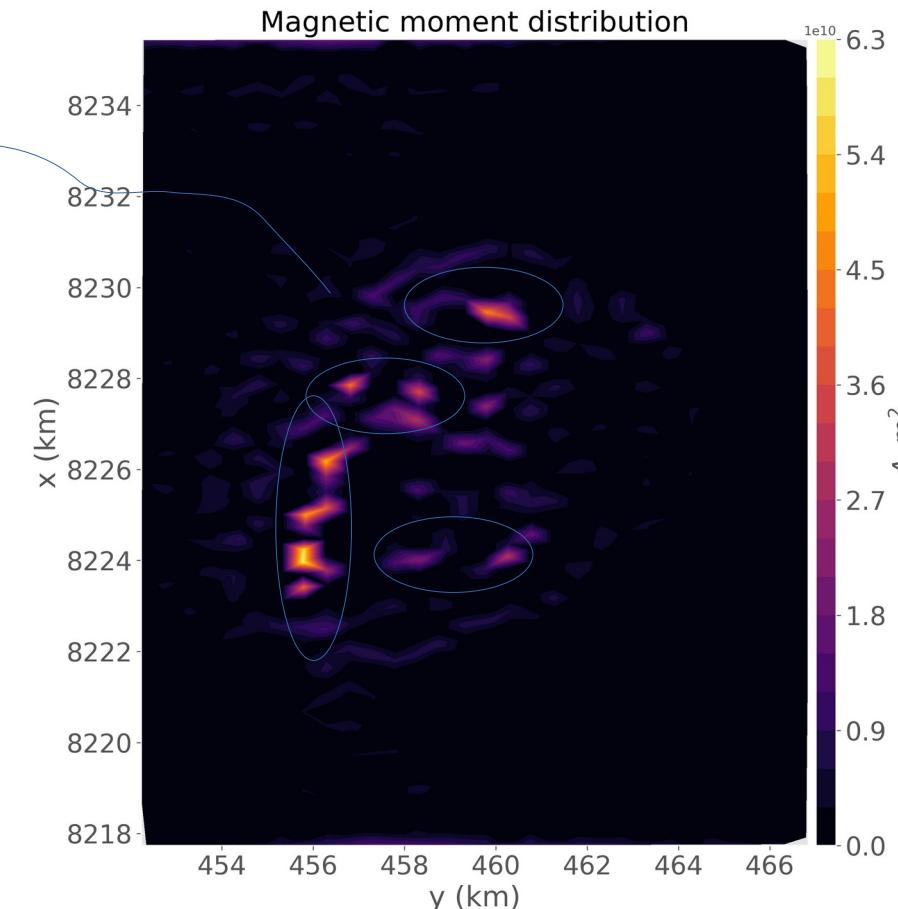
Direção estimada pela camada

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-45, 5^\circ, 38, 4^\circ)$$

Direção estimada que está de acordo com trabalhos anteriores na mesma região (Dutra et al, 2014; Zhang et al, 2018)

## Distribuição de momentos e direção de magnetização estimada

Distribuição de momentos magnéticos do que podem ser as fontes magnéticas (as rochas ígneas da região de Montes Claros de Goiás).

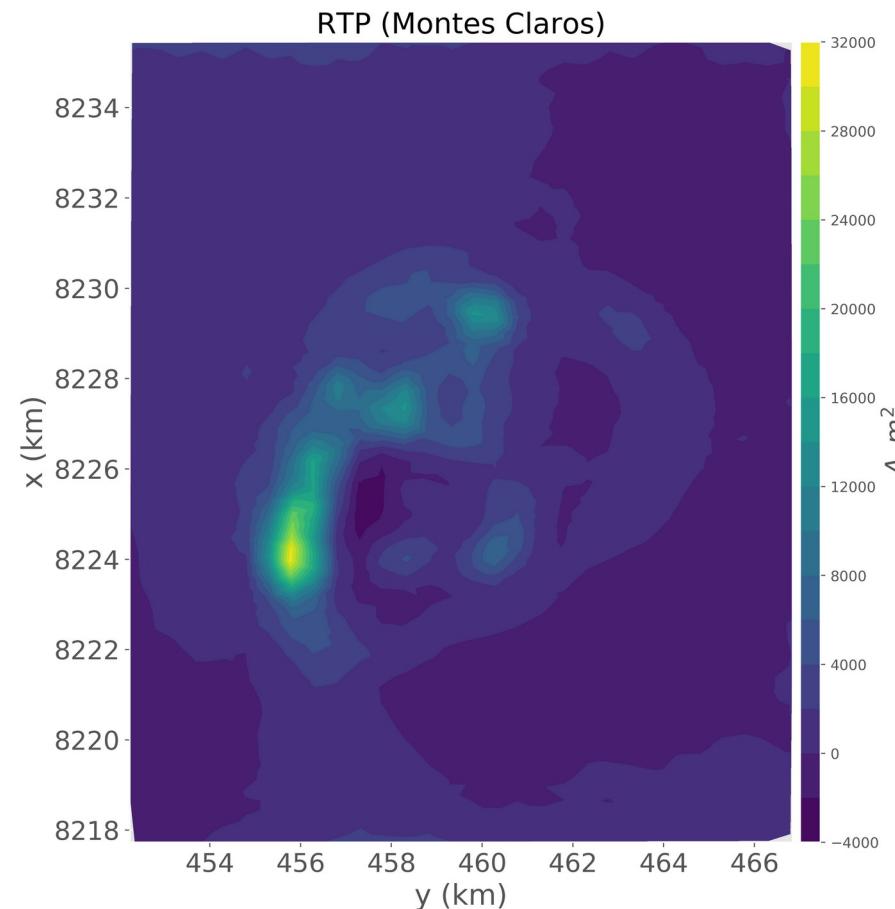


Direção estimada pela camada

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-45, 5^\circ, 38, 4^\circ)$$

Direção estimada que está de acordo com trabalhos anteriores na mesma região (Dutra et al., 2014; Zhang et al., 2018)

## Campo reduzido ao polo (RTP)



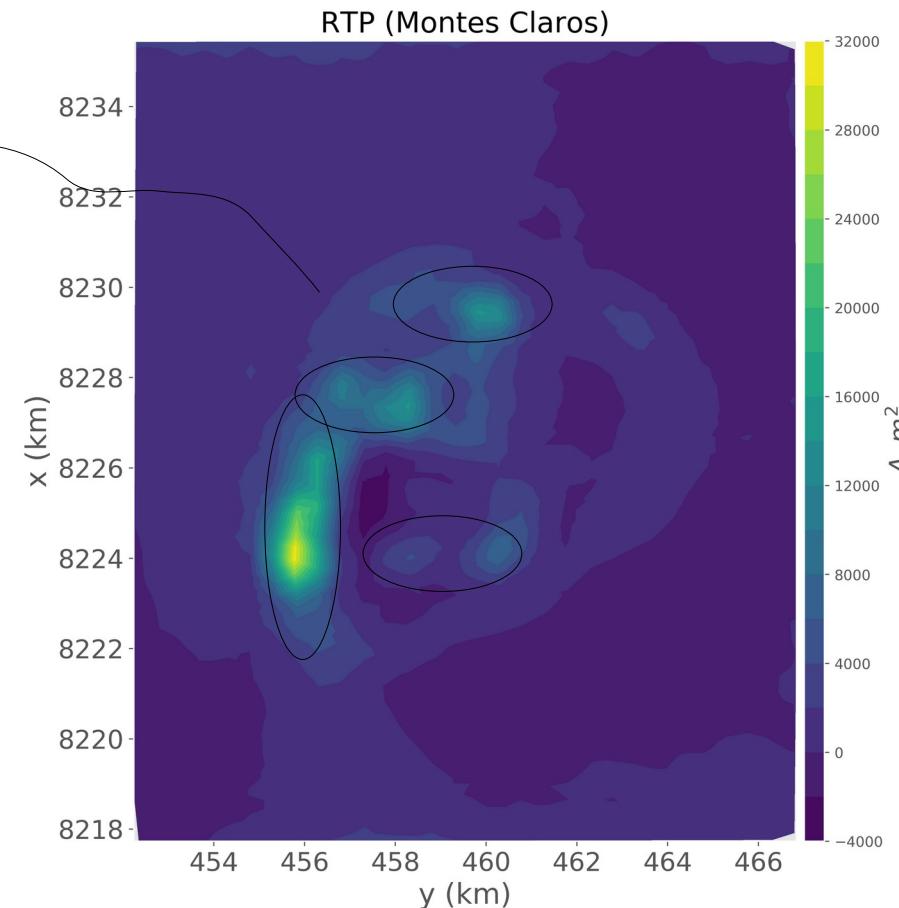
Direção estimada pela camada

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-45, 5^\circ, 38, 4^\circ)$$

Direção estimada que está de acordo com  
trabalhos anteriores na mesma região  
(Dutra et al, 2014; Zhang et al, 2018)

## Campo reduzido ao polo (RTP)

Campo reduzido ao polo  
que concentra o campo  
acima das fontes



Direção estimada pela camada

$$\hat{\mathbf{t}}^+ = (-45, 5^\circ, 38, 4^\circ)$$

Direção estimada que está de acordo com  
trabalhos anteriores na mesma região  
(Dutra et al., 2014; Zhang et al., 2018)

# Considerações finais

## Considerações finais

- A técnica da Camada é uma potencial metodologia para fornecer a posição horizontal, bem como alguma propriedade física, das fontes magnéticas;
- Sobre a técnica da camada equivalente, ainda **existe MUITO** o que se desenvolver, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento teórico como prático;
- O dados magnéticos podem contribuir como um complemento para outros métodos geofísicos (interpretação multifísica);
- A geração de modelos faz com que tenhamos uma melhor interpretação da subsuperfície, bem como entender como os dados geofísicos se comportariam dado um cenário;
- A modelagem numérica se torna um passo importante para testar tais metodologias.

## Considerações finais

- A técnica da Camada é uma potencial metodologia para fornecer a posição horizontal, bem como alguma propriedade física, das fontes magnéticas;
- Sobre a técnica da camada equivalente, ainda existe MUITO o que se desenvolver, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento teórico como prático;
- Os dados magnéticos podem contribuir como um complemento para outros métodos geofísicos (interpretação multifísica);
- A geração de modelos faz com que tenhamos uma melhor interpretação da subsuperfície, bem como entender como os dados geofísicos se comportariam dado um cenário;
- A modelagem numérica se torna um passo importante para testar tais metodologias.

## Considerações finais

- A técnica da Camada é uma potencial metodologia para fornecer a posição horizontal, bem como alguma propriedade física, das fontes magnéticas;
- Sobre a técnica da camada equivalente, ainda **existe MUITO** o que se desenvolver, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento teórico como prático;
- O dados magnéticos podem contribuir como um complemento para outros métodos geofísicos (interpretação multifísica);
- A geração de modelos faz com que tenhamos uma melhor interpretação da subsuperfície, bem como entender como os dados geofísicos se comportariam dado um cenário;
- A modelagem numérica se torna um passo importante para testar tais metodologias.

## Considerações finais

- A técnica da Camada é uma potencial metodologia para fornecer a posição horizontal, bem como alguma propriedade física, das fontes magnéticas;
- Sobre a técnica da camada equivalente, ainda **existe MUITO** o que se desenvolver, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento teórico como prático;
- O dados magnéticos podem contribuir como um complemento para outros métodos geofísicos (interpretação multifísica);**
- A geração de modelos faz com que tenhamos uma melhor interpretação da subsuperfície, bem como entender como os dados geofísicos se comportariam dado um cenário;
- A modelagem numérica se torna um passo importante para testar tais metodologias.

## Considerações finais

- A técnica da Camada é uma potencial metodologia para fornecer a posição horizontal, bem como alguma propriedade física, das fontes magnéticas;
- Sobre a técnica da camada equivalente, ainda **existe MUITO** o que se desenvolver, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento teórico como prático;
- O dados magnéticos podem contribuir como um complemento para outros métodos geofísicos (interpretação multifísica);
- A geração de modelos faz com que tenhamos uma melhor interpretação da subsuperfície, bem como entender como os dados geofísicos se comportariam dado um cenário;
- A modelagem numérica se torna um passo importante para testar tais metodologias.

## **Considerações finais**

- A técnica da Camada é uma potencial metodologia para fornecer a posição horizontal, bem como alguma propriedade física, das fontes magnéticas;
- Sobre a técnica da camada equivalente, ainda **existe MUITO** o que se desenvolver, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento teórico como prático;
- O dados magnéticos podem contribuir como um complemento para outros métodos geofísicos (interpretação multifísica);
- A geração de modelos faz com que tenhamos uma melhor interpretação da subsuperfície, bem como entender como os dados geofísicos se comportariam dado um cenário;
- **A modelagem numérica se torna um passo importante para testar tais metodologias.**

# Por fim...



[github.com/andrelreis/apresentacao-SAGEO](https://github.com/andrelreis/apresentacao-SAGEO)

SCAN ME

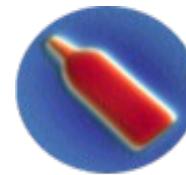


[github.com/pinga-lab/eqlayer-magnetization-direction](https://github.com/pinga-lab/eqlayer-magnetization-direction)

SCAN ME



[pinga-lab.org](http://pinga-lab.org)



# PINGA

Grupo de problemas inversos em geofísica

A research group for inverse problems in geophysics  
[pinga-lab.org](http://pinga-lab.org)

SCAN ME



Meus contatos

E-mails : [reisandreluis@gmail.com](mailto:reisandreluis@gmail.com) / [andre.reis@uerj.br](mailto:andre.reis@uerj.br)

Sala: 2029-A

Obrigado pela atenção!