

## CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

Neste experimento mediremos a componente horizontal do campo magnético da Terra. Para isso utilizaremos um par de bobinas de Helmholtz de forma a gerar um segundo campo magnético perpendicular ao campo da Terra. Uma bússola nos indicará a orientação do campo magnético resultante. Por decomposição de vetores poderemos estimar a intensidade da componente horizontal do campo magnético da Terra em nosso laboratório.

### Material

- Uma bússola
- Um par de bobinas de Helmholtz (PHYWE 06960.00)
- Uma fonte regulada de corrente CC (0 – 10 A)
- Um resistor de 1 k $\Omega$ , 2 W
- Um quadro de conexões elétricas (LEYBOLD 576 75)

- Cabos de conexão elétrica
- Uma régua rígida de 1000 mm.

### Características das bobinas de Helmholtz:

- Diâmetro: 400 mm
- Separação entre as bobinas: 200 mm
- Número de espiras: 154 (em cada uma).

### Introdução

Sabe-se que a agulha de uma bússola se orienta no sentido do campo magnético da Terra. Esse campo é gerado por uma combinação do movimento de rotação e a convecção do núcleo fluido da Terra. As linhas de campo se assemelham às linhas de campo de um dipolo magnético, como mostra a figura 1. Como as linhas de campo de um dipolo são orientadas do polo norte para o polo sul magnético, vemos que de fato, aquilo que se tem como polo norte da Terra está próximo ao sul magnético da Terra. O eixo geográfico norte-sul da Terra é levemente inclinado em relação ao eixo magnético da Terra. Na verdade, a agulha da bússola se alinha com a componente horizontal do vetor campo magnético da Terra, ou seja a componente que tangencia a superfície da Terra numa dada latitude e longitude. Representaremos essa componente como  $\vec{B}_T$  (Fig. 1).

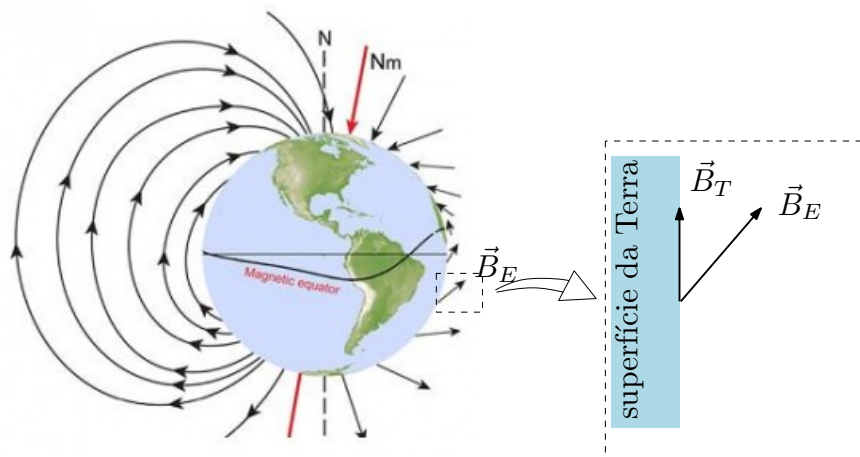


Figura 1: Linhas de campo magnético da Terra. As linhas são aproximadamente simétricas em relação ao eixo de dipolo magnético da Terra, indicado por  $N_m$ . Do lado direito do globo, está representado apenas o vetor campo magnético próximo à superfície. Note que apesar de menos intenso próximo à linha do equador, sua inclinação é maior próxima aos polos. É a componente horizontal  $\vec{B}_T$  desse vetor de campo que orienta a agulha de uma bússola.

A orientação da agulha da bússola poderá ser desviada no entanto se um segundo campo magnético estiver presente. O que ocorre é que a agulha da bússola, que é um dipolo magnético, irá se alinhar ao campo magnético resultante da soma vetorial desses dois campos.

Campo magnético é uma grandeza vetorial. Correntes elétricas são fontes de campo magnético e a orientação do campo será sempre perpendicular à corrente que o gera. O sentido das linhas de campo é dado pela regra

da mão direita. A forma analítica de se obter o vetor campo elétrico  $\vec{B}$  próximo a uma corrente  $I$  é dada pela lei de Biot-Savart:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{d\vec{L} \times \hat{r}}{r^2}$$

onde  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$  é a permeabilidade magnética do vácuo. A unidade SI para medir a intensidade de um campo magnético é o tesla (T).  $1 \text{ T} = 1 \text{ N/A} \cdot \text{m}$ .

Uma espira circular de corrente irá gerar sobre seu eixo, um campo magnético paralelo ao eixo e de intensidade  $B_x = \frac{\mu_0 I R}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$ . Um arranjo de bobinas de Helmholtz é composto de um par de bobinas circulares de raio  $R$  separados por uma distância  $R$  de forma que seus eixos coincidam. Com isso cria-se um campo  $\vec{B}_H$  razoavelmente uniforme na região central próxima ao ponto médio entre as bobinas, orientado na direção do eixo das bobinas, como ilustrado na Fig. 2. Vocês deverão ser capazes de mostrar que naquele ponto, a intensidade do campo  $\vec{B}_H$  vale

$$B_H = \frac{\mu_0 N I}{R} \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \quad (1)$$

Em nosso experimento, utilizaremos um par de bobinas de Helmholtz de forma a criar um campo magnético  $\vec{B}_H$  horizontal e perpendicular à componente horizontal do campo magnético da Terra  $\vec{B}_T$ . Uma bússola posicionada no ponto médio entre as bobinas de Helmholtz, irá defletir no sentido do campo resultante  $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$ , formando um ângulo  $\theta$  com a direção norte (direção do campo da Terra), como ilustrado na Fig. 3. Há uma relação trigonométrica entre as intensidades destes dois campos. Você é capaz de estabelecê-la?

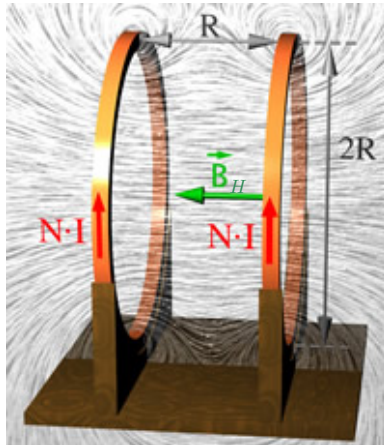


Figura 2: Um par de bobinas de Helmholtz de  $N$  espiras percorridas por uma corrente  $I$ . O desenho mostra claramente que na região média entre as bobinas, o campo é razoavelmente uniforme. A orientação do campo no eixo está indicada pelo vetor  $\vec{B}_H$ .

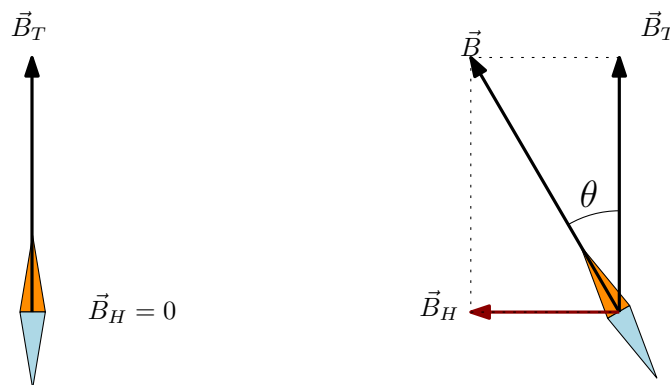


Figura 3: Orientação dos vetores de campo. **Esquerda:** as bobinas de Helmholtz não estão sendo percorridas por corrente, logo  $\vec{B}_H$  é nulo e o agulha da bússola se alinha com a componente  $\vec{B}_T$  do campo da Terra. **Direita:** Com uma corrente percorrendo as bobinas, um campo  $\vec{B}_H$  é gerado defletindo a agulha da bússola na direção do vetor campo resultante  $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$ .

## Procedimento

A montagem experimental será descrita em duas etapas. Uma etapa de posicionamento e alinhamento das bobinas de Helmholtz e da bússola e uma segunda etapa de montagem do circuito. Ao final sua montagem deverá se parecer com a da figura 4. Com a montagem pronta será feita a coleta de dados para posterior análise.

### Posicionamento das bobinas e da bússola

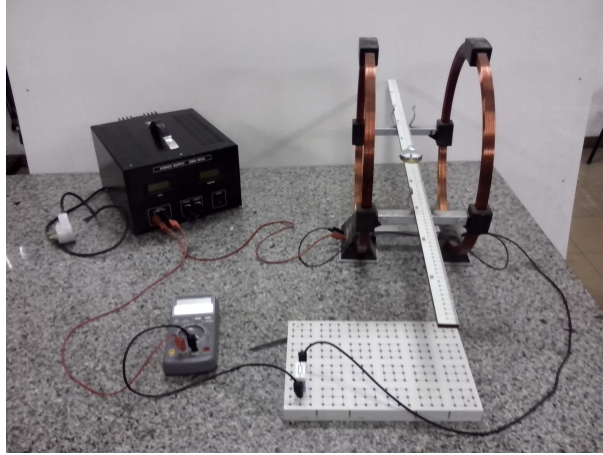


Figura 4: Foto da montagem do experimento.

1. Inicialmente posicione a régua sobre os suportes horizontais que unem a as bobinas de Helmholtz, de forma que esta fique centralizada. Utilize as braçadeiras do suporte e a própria escala da régua como guias.
2. Posicione a bússola sobre a régua de forma que ela se localize no ponto médio entre as duas bobinas. Você pode determinar a posição central entre as bobinas utilizando a própria escala da régua.
3. Gire a bússola de forma que o seu eixo ( $0 - 180^\circ$ ) fique alinhado ao comprimento da régua e perpendicular ao eixo das bobinas. Essa etapa deve ser feita com cuidado.
4. Agora, sem mexer no alinhamento da bússola, destrave-a. Sua agulha irá se orientar na direção do campo magnético  $\vec{B}_T$  da Terra, ou seja, apontando para o norte.
5. Cuidadosamente gire o arranjo das bobinas de forma que o eixo das bobinas fique perpendicular ao eixo norte-sul.

### Montagem do circuito

Primeiramente certifique-se de que a fonte encontra-se desligada e desconectada da rede elétrica.

A Fig. 5 representa a montagem do circuito.  $L_1$  e  $L_2$  representam as bobinas de Helmholtz. Cada uma delas traz em sua base dois terminais numerados como 1 e 2. No diagrama da esquerda na Fig 5, vemos o circuito aberto sem conectar as bobinas. No centro e à direita vemos as formas possíveis de conectar as bobinas ao circuito. As opções de conexão entre as bobinas são entre terminais de mesmo número: 1-1 ou 2-2. Outras combinações farão com que a corrente nas bobinas circulem em sentidos opostos, com uma cancelando o campo da outra, gerando um campo de Helmholtz  $\vec{B}_H$  nulo sobre nossa bússola.

### Gerando campo com as bobinas de Helmholtz

Agora geraremos um campo magnético  $\vec{B}_H$  fazendo circular uma corrente  $I$  nas bobinas de Helmholtz.

1. Escolha uma das montagens viáveis descritas na Fig. 5, monte-a e peça para seu professor conferir a montagem do circuito, antes de conectar a fonte à rede elétrica.
2. Zere os botões de corrente e de tensão da fonte e, em seguida ligue a fonte.
3. Com o botão de corrente zerado, gire o botão de tensão lentamente até o máximo.

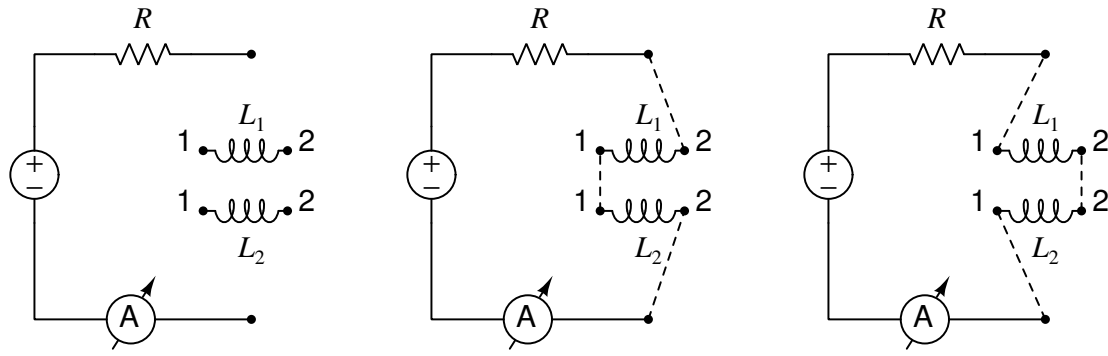


Figura 5: Esquema da montagem do circuito.  $L_1$  e  $L_2$  representam as bobinas de Helmholtz. As opções de conexão entre as bobinas são entre terminais de mesmo número: 1-1 ou 2-2.

4. Gire levemente o botão da corrente e observe o ângulo  $\theta$  da deflexão da agulha da bússola. Essa é a direção do campo resultante  $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H$ . Anote o valor da corrente  $I$  de campo e do ângulo  $\theta$  na tabela da folha de resultados. (Dica: você pode usar a câmera de seu celular posicionada logo acima da bússola para melhor ler o ângulo de deflexão).
5. Variando a corrente de campo, anote os valores de corrente de campo e ângulo de deflexão e preencha a tabela, cuidando para não ultrapassar o limite de 100 mA de corrente nas bobinas.
6. Numa folha separada construa um gráfico da intensidade do campo da bobina de Helmholtz  $B_H$  em  $\mu\text{T}$  versus  $\text{tg}\theta$ . O valor de  $B_H$  deve ser obtido da expressão da intensidade do campo magnético gerado por uma corrente  $I$  no ponto médio de um par de bobinas de Helmholtz, Eq.(1). Em seguida trace uma reta que melhor ajusta seus pontos.
7. Zere a corrente e a tensão da fonte, desligue a fonte e inverta a conexão dos cabos na saída da fonte e repita os itens de procedimento de 2 a 6. Dessa forma estaremos invertendo o sentido da corrente e o sentido do campo das bobinas de Helmholtz.

### Análise dos dados experimentais

1. Baseado na relação entre a intensidade da componente horizontal  $B_T$  do campo magnético da Terra, a intensidade  $B_H$  do campo no centro das bobinas de Helmholtz e o ângulo  $\theta$ , proponha uma relação de linearidade entre  $B_H$  e  $\text{tg}\theta$ , da forma  $B_H = a \cdot \text{tg}\theta + b$ . Como os coeficientes  $a$  ou  $b$  se relacionam com o valor do campo magnético da Terra  $B_T$ ?
2. Baseado na sua resposta ao item 1 e nas retas obtidas no procedimento 6, determine o valor da componente horizontal do campo magnético terrestre em nosso laboratório. Obtenha um resultado para cada conjunto de dados separadamente (cada uma das retas) e deles extraia um valor médio para  $B_T$  e estime o erro.
3. Compare seu resultado com o valor esperado para a componente horizontal de campo magnético da Terra em Ouro Preto, que é de  $18,972 \mu\text{T}$ , segundo o National Geophysical Data Center (NOAA). Valores de campo podem ser calculados no site do NOAA (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>) para qualquer localização na Terra.

Data: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Subturma: \_\_\_\_\_

## Folha de Resultados

Componentes do Grupo:

nome: \_\_\_\_\_  
 nome: \_\_\_\_\_  
 nome: \_\_\_\_\_  
 nome: \_\_\_\_\_  
 nome: \_\_\_\_\_

Tabela 1: Tabelas de dados. Use cada tabela para um conjunto de dados.

$I$ (mA)	$\theta$ (°)	$B_H$ (μT)	$\text{tg}\theta$

$I$ (mA)	$\theta$ (°)	$B_H$ (μT)	$\text{tg}\theta$

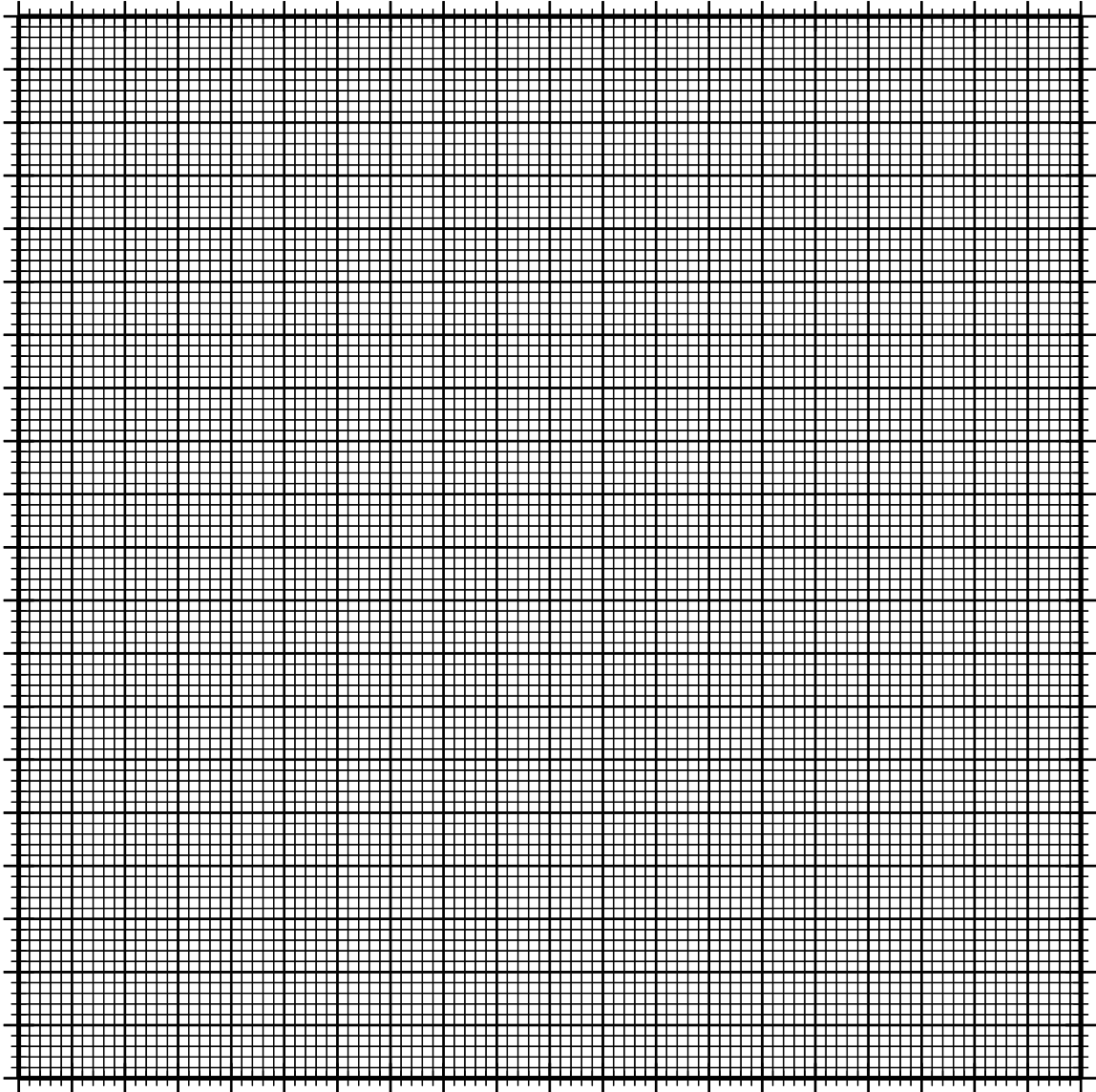


Figura 6: Desenhe aqui os pontos experimentais do seu experimento de acordo com a tabela 1 e trace a melhor reta de ajuste para seus pontos. Marque cada conjunto de pontos com uma cor ou símbolo diferente.