



# Estudo da correlação entre as energias cinética e magnética em procariontes magnéticos multicelulares

ALUNA: ANA LUIZA ARAUJO CARVALHO

ORIENTADOR: DANIEL ACOSTA AVALOS

Rio de Janeiro – 2019

# 1. Introdução

## 1.1 Bactérias Magnéticas

São organismos procariotos sensíveis ao campo magnético devido à presença da organela magnetossoma: uma cadeia de nanopartículas magnéticas (magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ou greigita ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ )) envolvidas por uma membrana protéica. Isso confere a orientação espacial durante o nado.

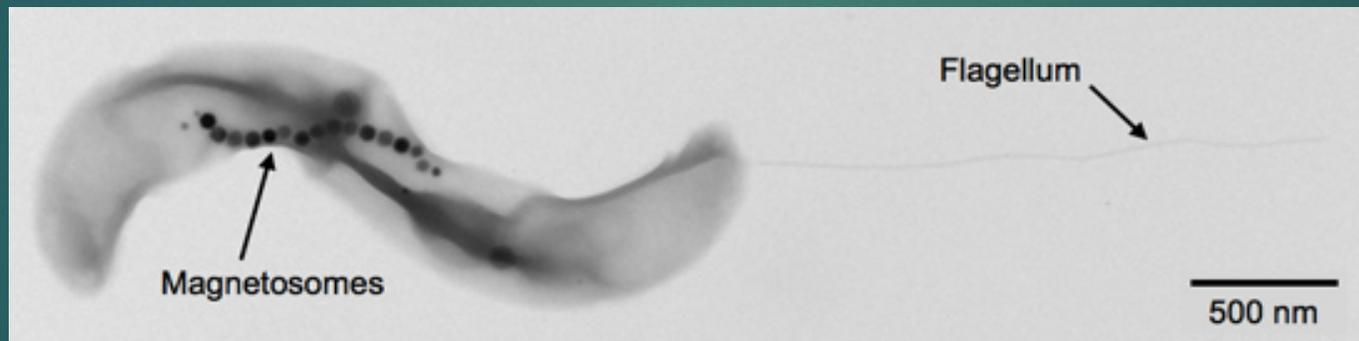


Figura 1: Cadeia de nanocristais no interior da bactéria magnética. Imagem obtida por Microscopia Eletrônica de Transmissão.

## 1.2 – Candidatus Magnetoecoccus multicellularis

São organismos flagelados compostos por várias bactérias magnéticas, sendo seu interior “oco”;

São orientadas magneticamente

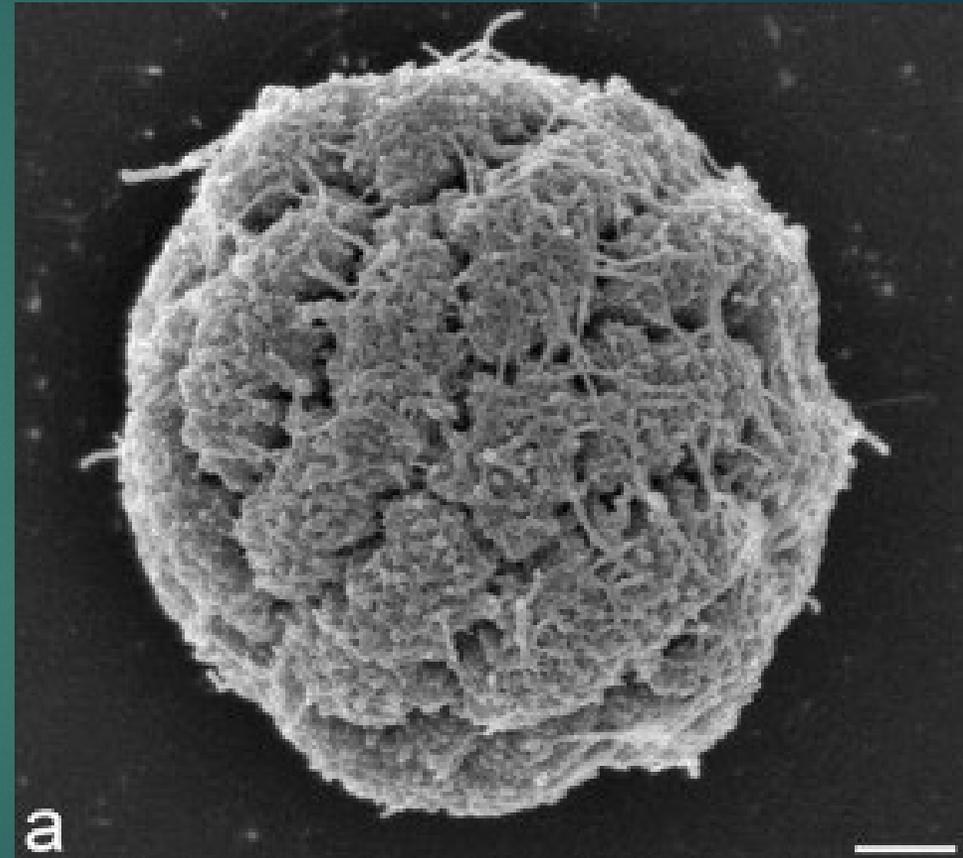


Figura 2: CMm obtida através de Microscopia eletrônica.

### 1.3 Bactérias Magnéticas - Trajetória

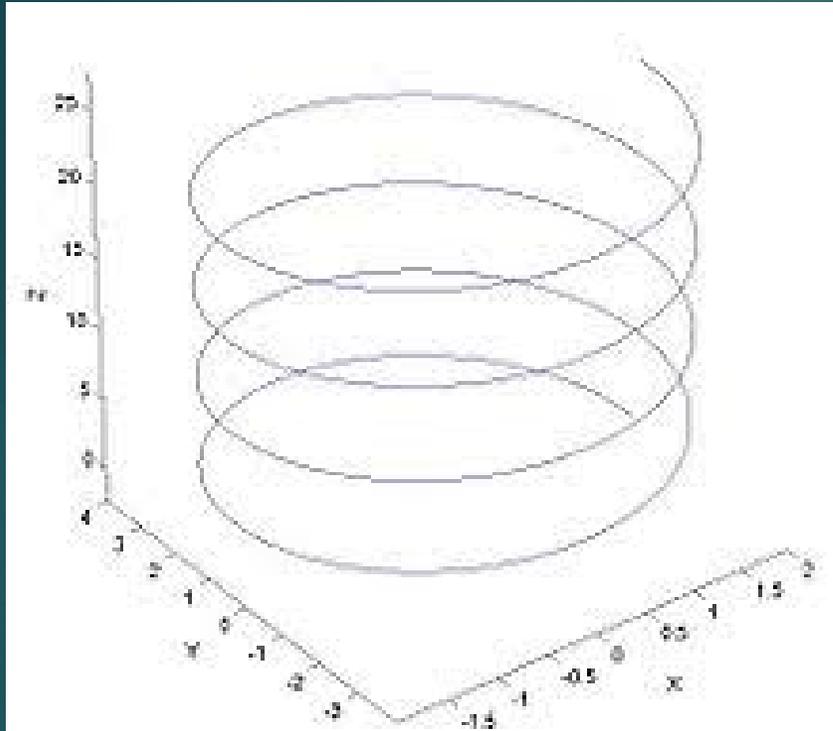


Figura 3: Trajetória em hélice onde o eixo está alinhado por um campo magnético externo

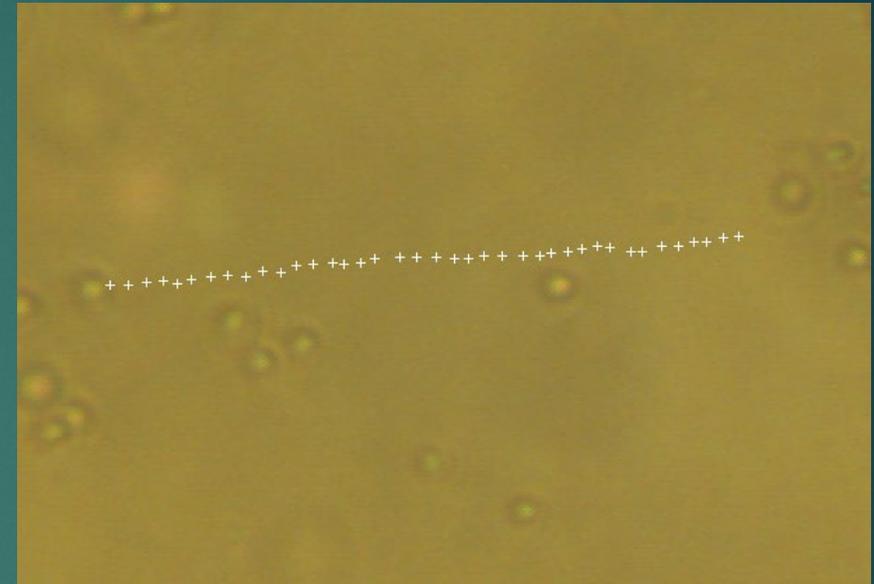


Figura 4: Trajetória da bactéria obtida com o programa ImageJ

## 2. Objetivo

Analisar a cinemática do movimento das bactérias magnéticas encontradas na lagoa de Araruama – Araruama – Rio de Janeiro, comparando com a energia magnética, obtidos através dos parâmetros da trajetória do movimento, na presença de campos magnéticos com intensidades diferentes.

# 3. Metodologia



Figura 5: Aquários contendo a água da lagoa de Araruama



Figura 6: Instrumento concentrador de bactérias magnéticas.

# 3. Metodologia



Figura 7: Microscópio invertido com uma câmera acoplada para as filmagens



Figura 8: Fonte de alimentação do par de bobinas.

Figura 9: Bobinas em torno da lâmina de vidro que permitem a mudança na direção do campo magnético



# 3. Metodologia

## 3.1 Parâmetros da Trajetória

Etapas da análise:

1. Obtenção das coordenadas da trajetória e dos raios das CMm – ImageJ
2. Análise das coordenadas para obtenção dos parâmetros – Origin:
  - Velocidade de Translação
  - Raio da trajetória cilíndrica
  - Frequência da trajetória cilíndrica
  - Tempo da Volta em U
3. Análises Estatísticas - InStat

# 4. Resultados

## 4.1 Obtenção do tempo da volta em u

- ▶ A partir do gráfico derivado das coordenadas x das bactérias, podemos obter o tempo da volta em u;

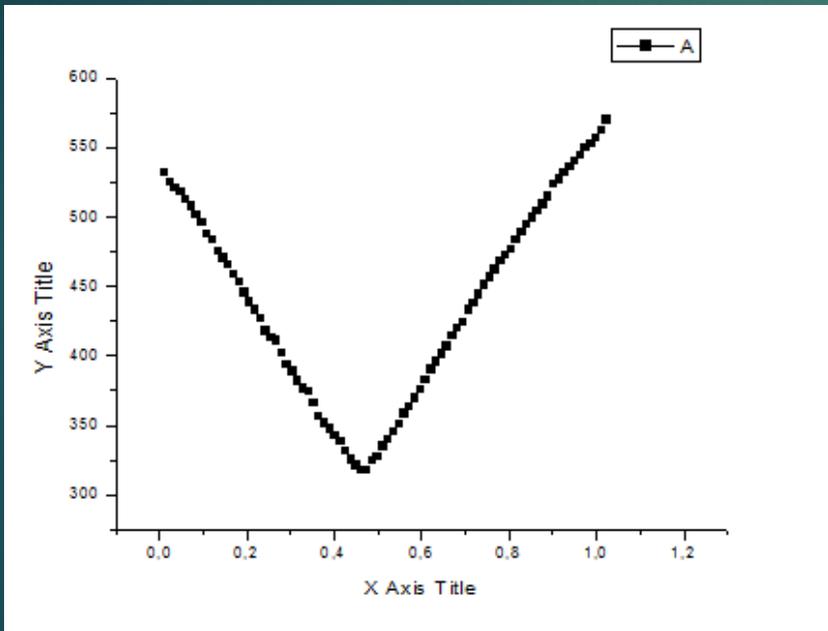


Figura 10: Gráfico das coordenadas x da trajetória

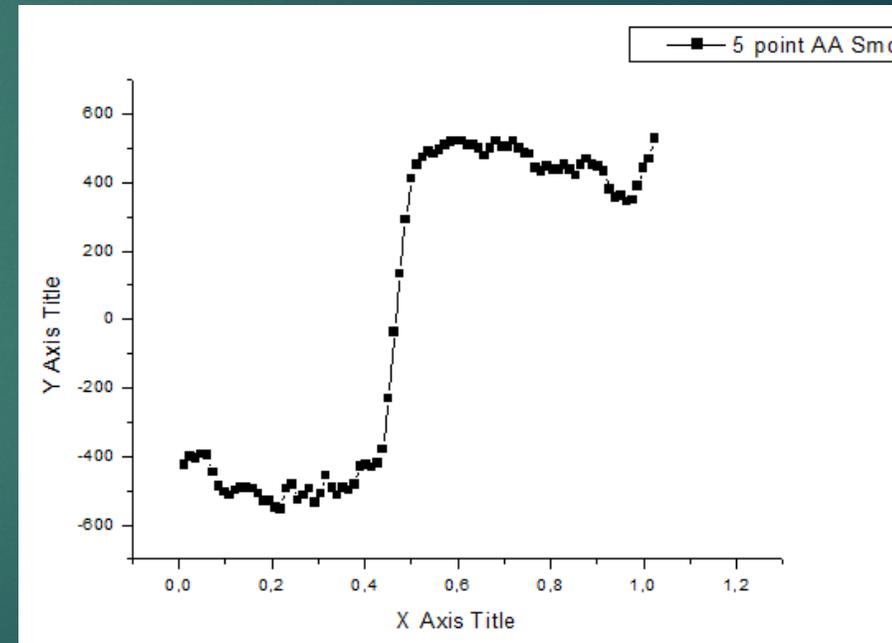


Figura 11: Derivada do gráfico da volta em u para obtenção do tempo

# 4. Resultados

## 4.2 Análises dos parâmetros da trajetória

- ▶ Após da análise do gráfico das coordenadas x, apenas uma parte é analisada para que se possa obter uma trajetória retilínea
- ▶ Então, as coordenadas x e y foram graficadas em função do tempo, obtendo as coordenadas x e y da hélice cilíndrica.

Figura 12:  
Gráfico da  
coordenada x  
que apresenta  
um  
comportamento  
linear

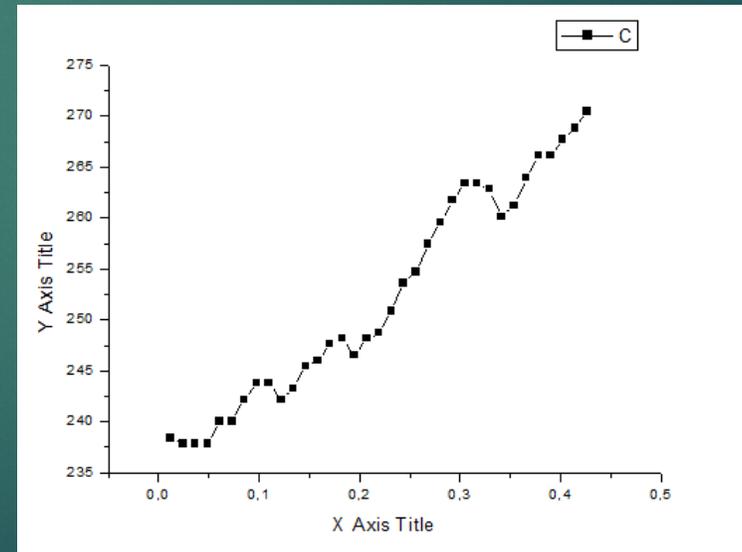
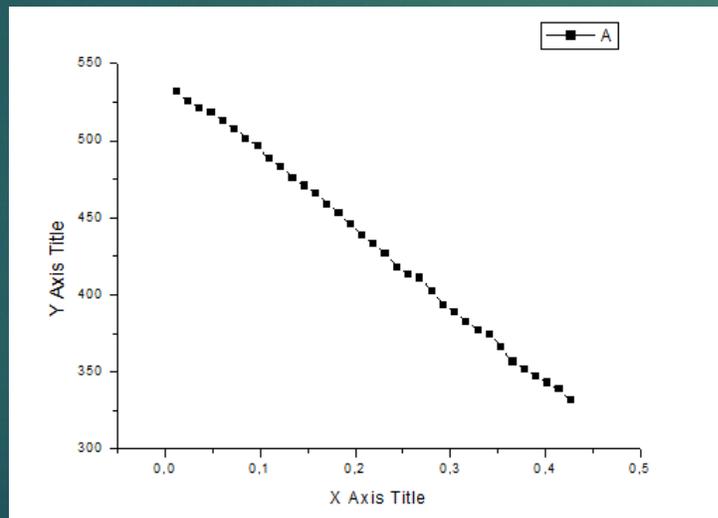


Figura 13:  
Gráfico da  
coordenada y  
que apresenta  
um  
comportament  
o curvilíneo

# 4. Resultados

## 4.3 Análise da Velocidade do Movimento

- ▶ Para a obtenção das componentes  $V_x$  e  $V_y$ , foi feito um ajuste linear nos gráficos de posição em função do tempo:

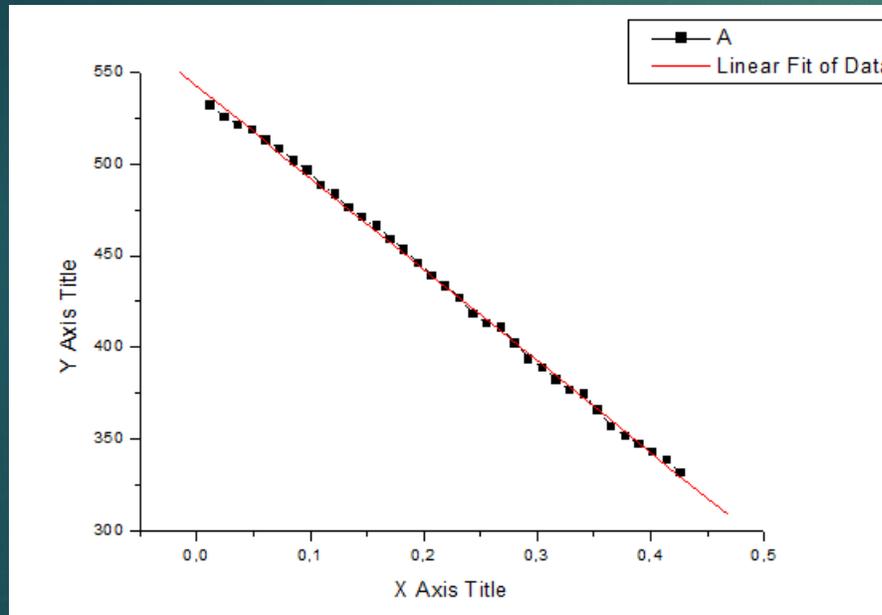


Figura 14: Ajuste linear aplicado no gráfico das coordenadas de x

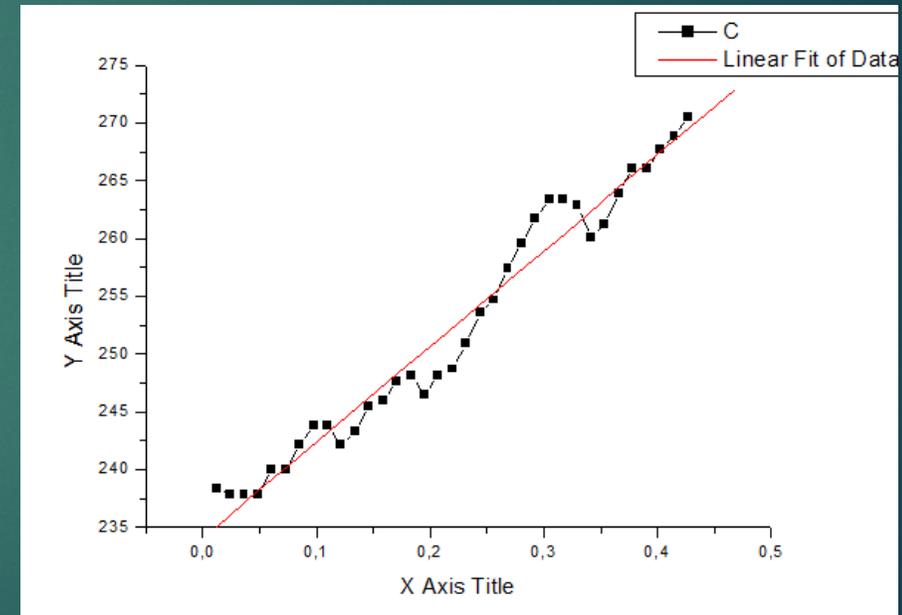


Figura 15: Ajuste linear aplicado no gráfico das coordenadas de y

# 4. Resultados

## 4.4 Análise da Frequência e Raio do Movimento

A partir dos dados do ajuste linear das coordenadas de  $y$ , pode-se obter o gráfico relacionando  $y$  e a velocidade de quadros por segundo, do qual extraímos a frequência e o raio da trajetória

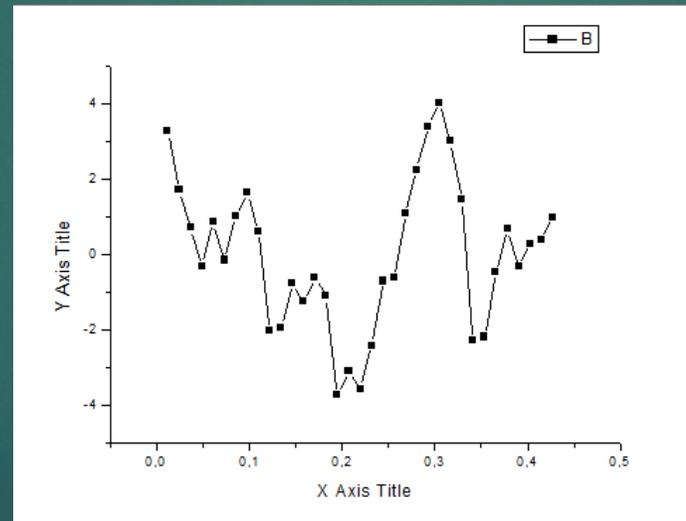


Figura 16: Gráfico relacionando  $y$  e a velocidade de quadros

# 4. Resultados

## 4.4 Análise da Frequência e Raio do Movimento

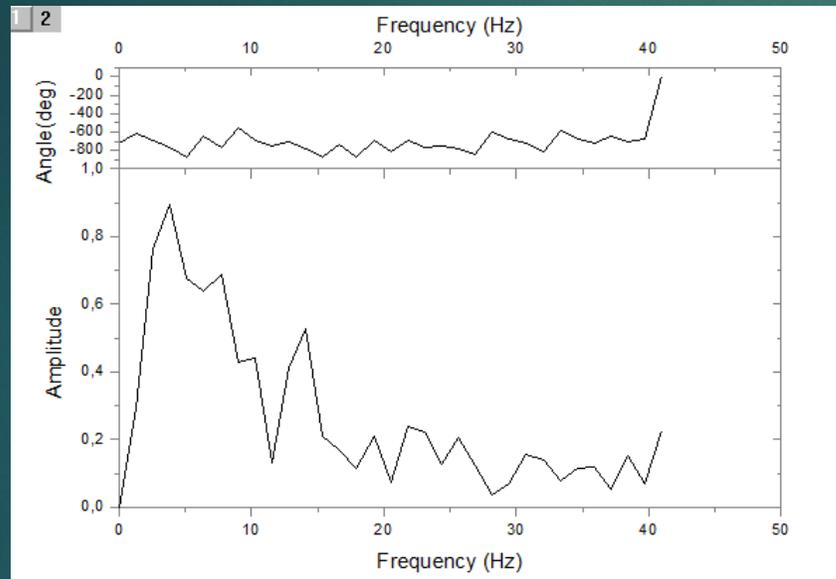


Figura 17: Gráfico obtido através da aplicação da transformação de Fourier sobre o gráfico anterior

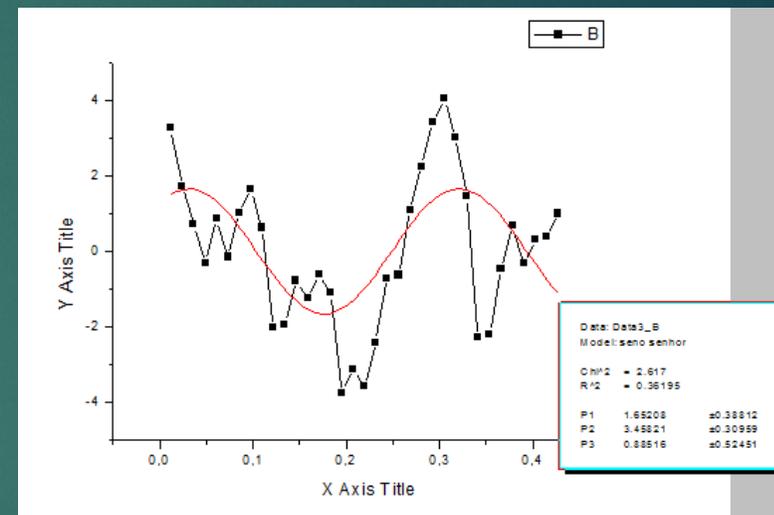


Figura 18: Ajuste não-linear usando uma função senoidal

# 5. Discussão

- ▶  $K_{\dagger} = K_{\text{trans}} + K_{\text{rot}} = \frac{1}{2} * m * V^2 + \frac{1}{2} * I * \omega^2 = \frac{1}{2} * m * (V_{\text{ax}}^2 + \omega^2 r_{\text{traj}}^2) + \frac{1}{2} * (4/5 * m * R^2 + m * r_{\text{traj}}^2) * \omega^2$
- ▶  $\mu = E_{\text{mag}} = M * B$
- ▶  $T_U = \frac{(4 * \pi * \eta * R^3)}{M * B} * \ln\left(\frac{2 * M * B}{k * T}\right)$

# 5. Discussão

$kT$  = Energia Termica =  $4,14 \times 10^{-21}$  J na temperatura ambiente ( $T = 300K$ )

B (Oe)	$K_T$ ( $\times 10^{-22}$ J)	$E_{mag}$ ( $\times 10^{-18}$ J)	$K_T / kT$	$E_{mag} / kT$ ( $\times 10^3$ )	N
2	$5,9 \pm 0,6$	$8,1 \pm 0,7$	$0,14 \pm 0,01$	$1,9 \pm 0,7$	50
4	$6,2 \pm 0,6$	$8,0 \pm 0,7$	$0,15 \pm 0,01$	$1,9 \pm 0,7$	50
6	$7,5 \pm 0,7$	$8,3 \pm 0,5$	$0,18 \pm 0,02$	$2,0 \pm 0,5$	50
8	$8,7 \pm 0,6$	$10,8 \pm 0,7$	$0,21 \pm 0,01$	$2,6 \pm 0,7$	50
10	$6,8 \pm 0,5$	$10,4 \pm 0,7$	$0,16 \pm 0,01$	$2,5 \pm 0,7$	50
15	$11 \pm 1$	$18,1 \pm 1,3$	$0,27 \pm 0,02$	$4,4 \pm 1,3$	50

Tabela 1: Relação das energias cinética e magnética com a energia térmica

# 5. Discussão

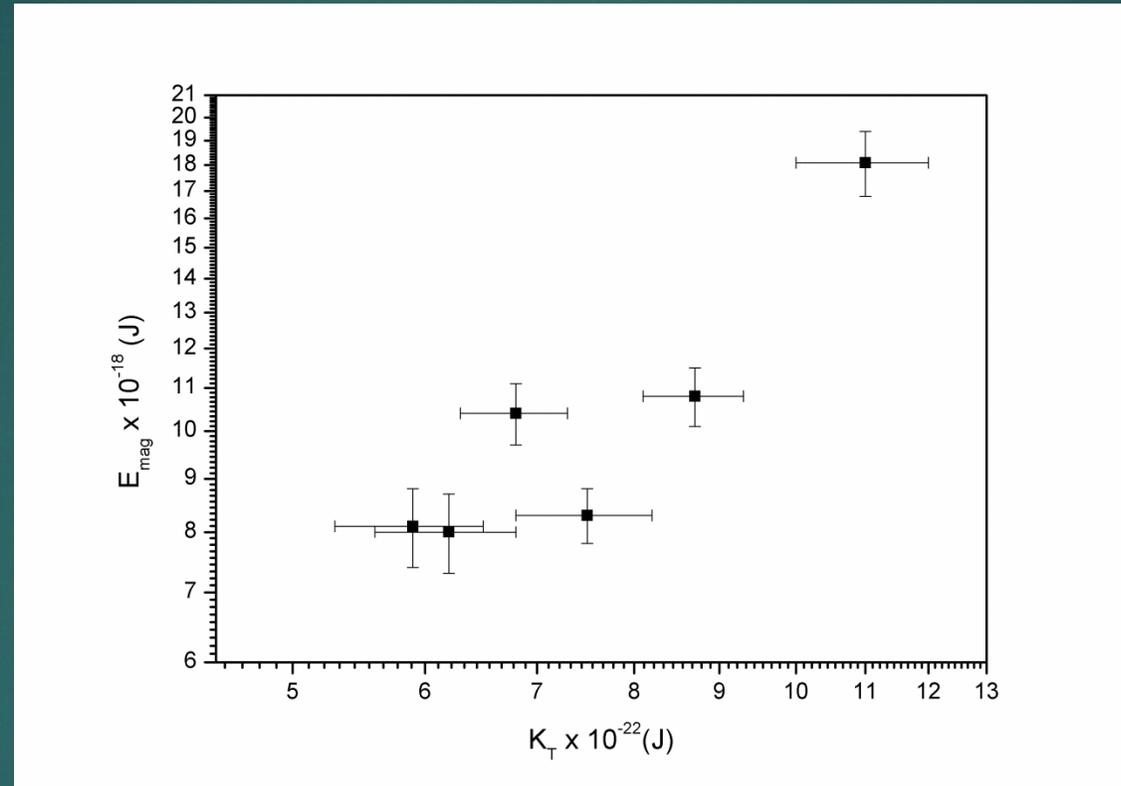


Figura 19: Gráfico relacionando as energias cinética e magnética

# 6. Conclusão

- ▶ Existe uma tendência de que para maiores energias magnéticas a energia cinética também aumenta.
- ▶ No campo magnético DC de 10Oe houve uma queda das energias magnética e cinética.
- ▶ Com o aumento do campo magnético DC, há também um aumento da energia térmica da bactéria.

Muito obrigada pela atenção!