



Centro Brasileiro de
Pesquisas Físicas



MÓDULO 6

ESTUDO DO MOVIMENTO DE BACTÉRIAS MAGNÉTICAS

ANA GABRIELA, HENRIQUE, KAREN, KATTERINE, LIS, VÍTOR
PROFESSOR DANIEL

SENSIBILIDADE MAGNÉTICA



MAGNETOSENSIBILIDADE

Organismos respondem a presença de campo magnético, alterando seu comportamento.



MAGNETORECEPÇÃO

Organismos detectam o campo geomagnético e usam essa informação vetorial em sua orientação espacial.



MAGNETOTAXIA

Organismos se comportam como dipolos magnéticos e se alinham com as linhas do campo magnético terrestre.



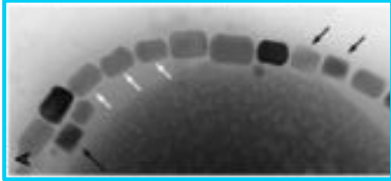
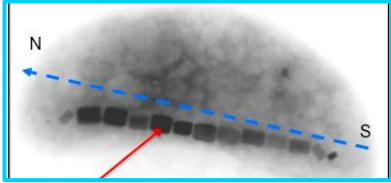
Muitos organismos apresentam sensibilidade geomagnética!

BACTÉRIAS MAGNÉTICAS

Magnetossomos

São organelas formadas por nanopartículas magnéticas de Magnetita ou Greigita presas ao citoesqueleto.

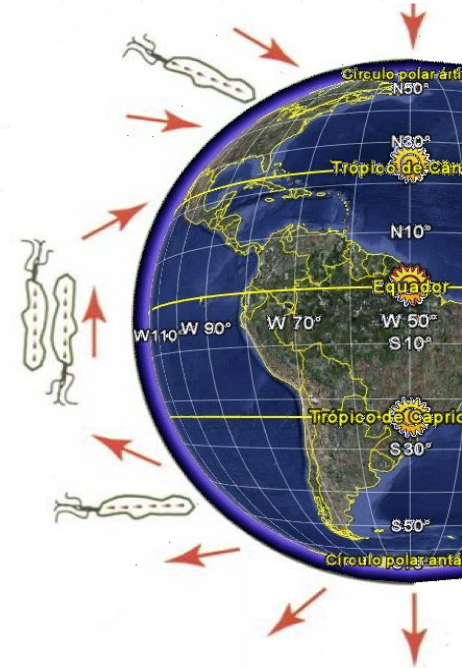
Têm comprimento de 30 a 120 nm, formando monodomínio magnético estável.



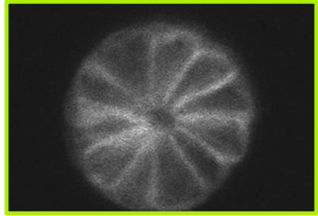
Sentidos

Organismos do **hemisfério Norte** se movem no **sentido norte**, enquanto organismos do **hemisfério Sul** se movem no **sentido sul**.

Modelo
Magneto-aerotático



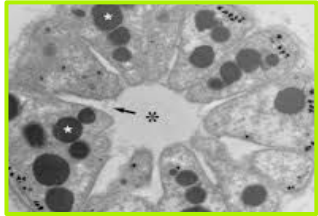
PROCARIOTO MULTICELULAR MAGNETOTÁTICO (MMPs)



Tamanho

Organismos complexos de 5 μ m de diâmetro formado por uma dezena de bactérias magnetotáticas.

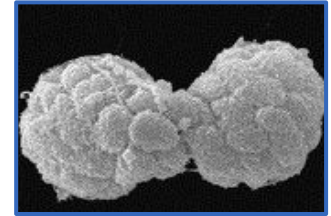
Vivem necessariamente unidos e formam um interior oco.



Ciclo de vida

Eles são quimiotróficos, vivem em águas salinas de baixa concentração de O_2 .

Para reproduzir, as bactérias se duplicam individualmente e então se segregam formando dois MMPs.



MOBILIDADE DE UM ORGANISMO MAGNETOTÁTICO

MOVIMENTO LIVRE



FUGA



Fonte: Keim, 2018.

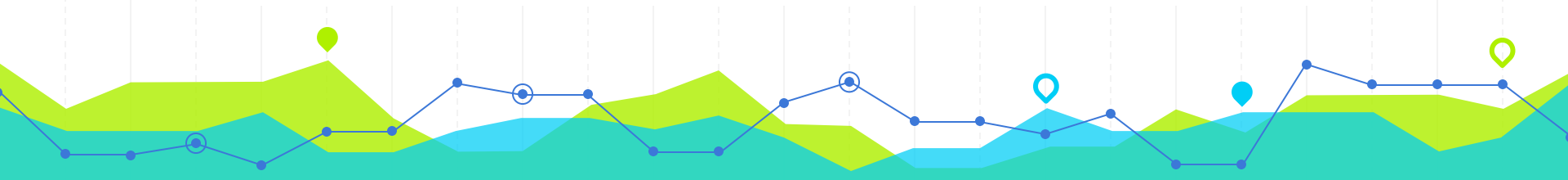


Observation of Magnetoreceptive Behavior in a Multicellular Magnetotactic Prokaryote in Higher than Geomagnetic Fields

Michael Greenberg, Karl Canter, Inga Mahler, and Adam Tornheim

Department of Physics, Brandeis University, Waltham, Massachusetts 02454

ABSTRACT The magnetotactic multicellular prokaryote (MMP), a motile aggregate of bacterial cells, is known to exhibit an unusual “ping-pong” motility in magnetic fields greater than the earth’s field. This motility is characterized by rapid excursions, opposite the direction of an applied magnetic field, and slower returns along the direction of the magnetic field. We have carried out detailed observations of the time and spatial dependence of the ping-pong motility and find 1), the outward and return excursions exhibit a uniform deceleration and acceleration, respectively; 2), the probability per unit time of an MMP undergoing a ping-pong excursion increases monotonically with the field strength; and 3), the outward excursions exhibit a very unusual distance distribution which is dependent on the magnetic field strength. At any given field strength, a characteristic distance is observed, below which very few excursions occur. Beyond this distance, there is a rapid increase in the number of excursions with an exponentially decaying distribution. These observations cannot be explained by conventional magnetotaxis, i.e., a physical directing torque on the organism, and suggest a magnetoreceptive capability of the MMP.



PERGUNTAS & OBJETIVOS

Cinemática

Descrever a aceleração do movimento de fuga



Probabilidade

Calcular a frequência em que as MMPs fogem



MOVIMENTO DE FUGA



Intensidade do campo

Verificar como a taxa de fuga varia com a intensidade do campo



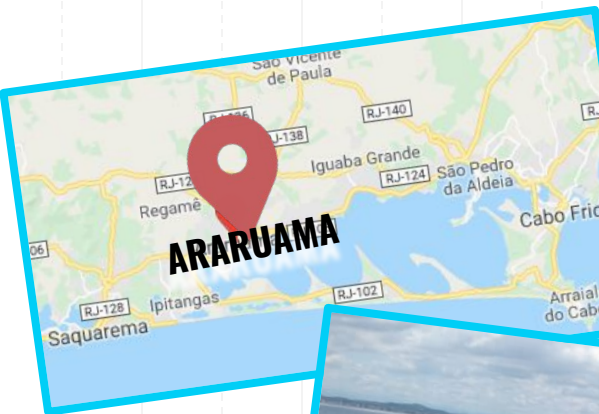
Classificação

Checar se o termo *Magnetorecepção* é, de fato, o mais apropriado

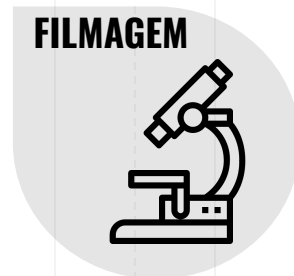
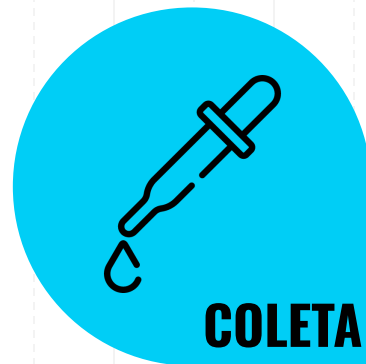


METODOLOGIA

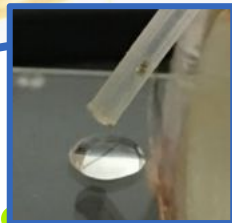
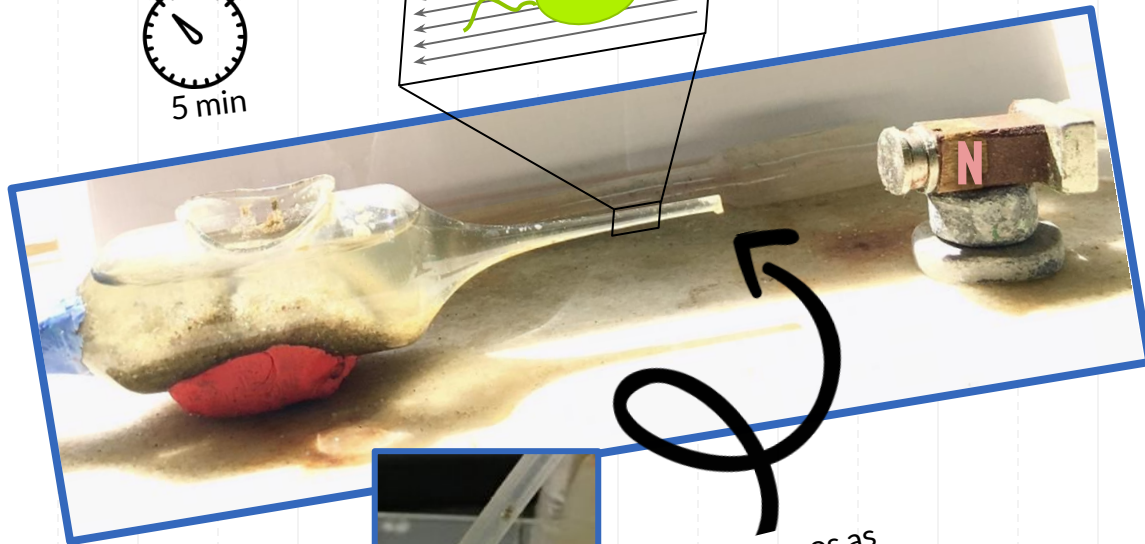
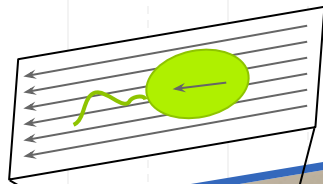
METODOLOGIA



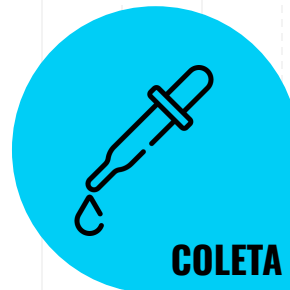
Obrigado,
motoristas!



METODOLOGIA



Analisamos as
gotas da ponta!



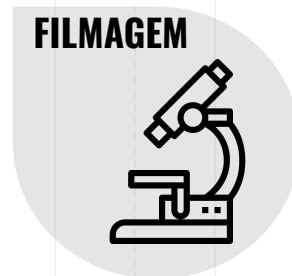
COLETA




ANÁLISE



ACÚMULO



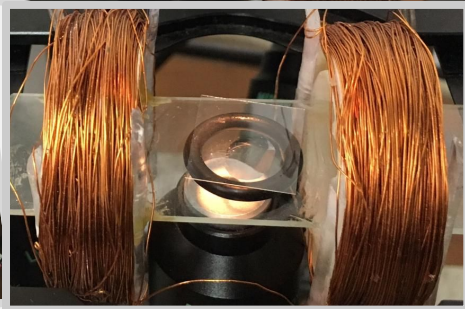
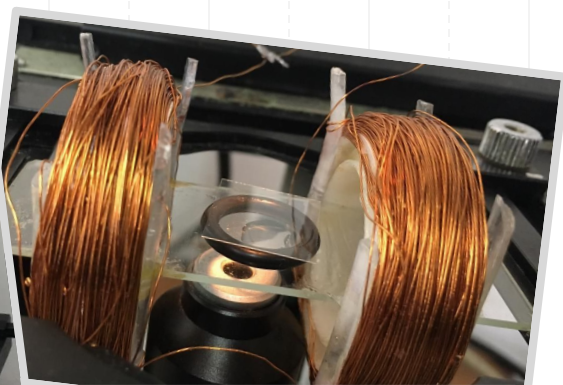
FILMAGEM


 1, 2, 4, 6, 8 e 10 Oe

METODOLOGIA




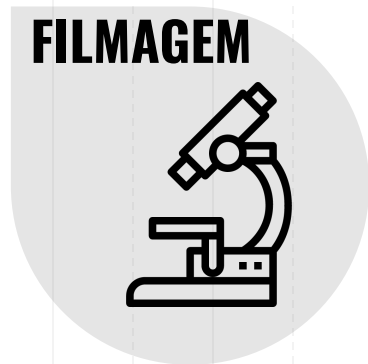
Microscópio
óptico invertido



 10x

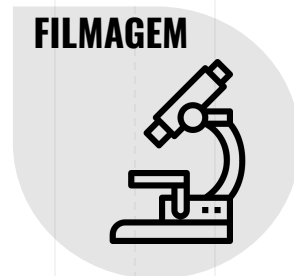
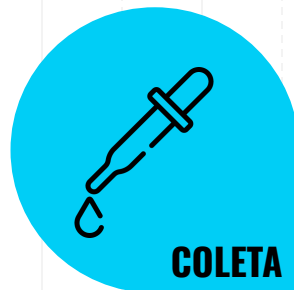
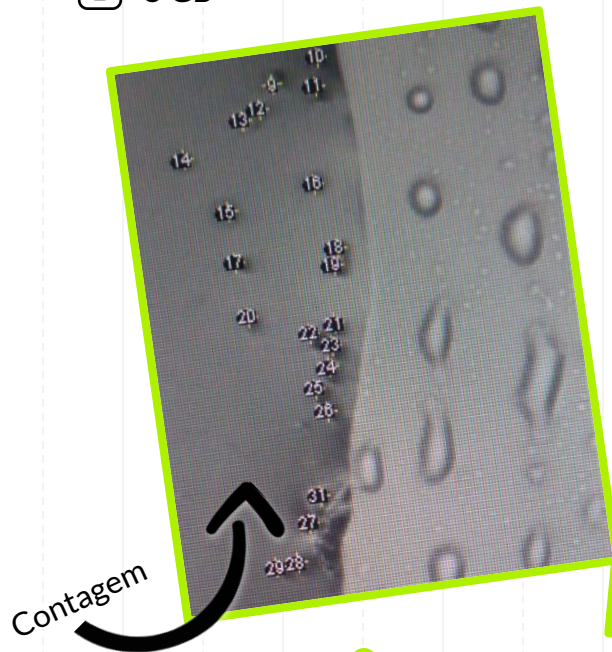
 60 s

 21/s



METODOLOGIA

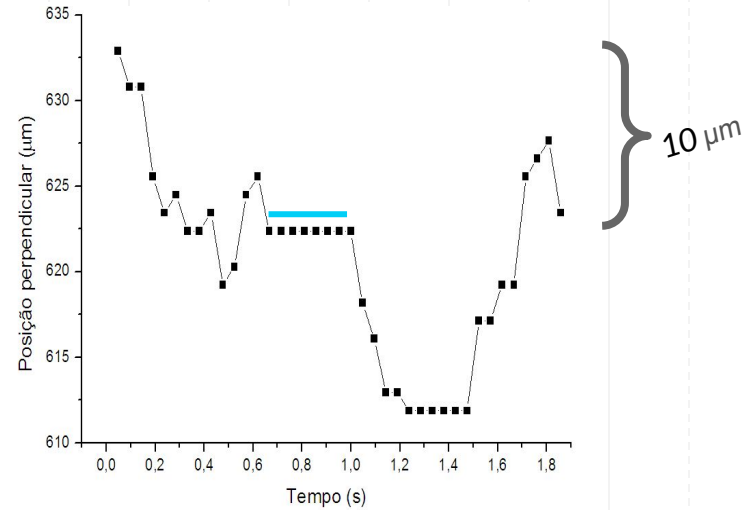
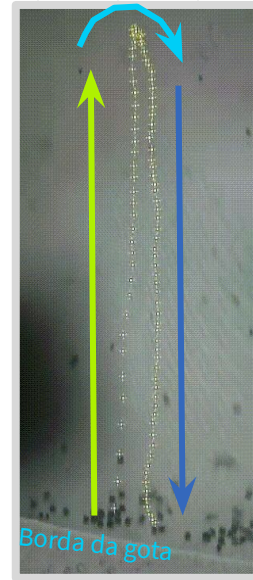
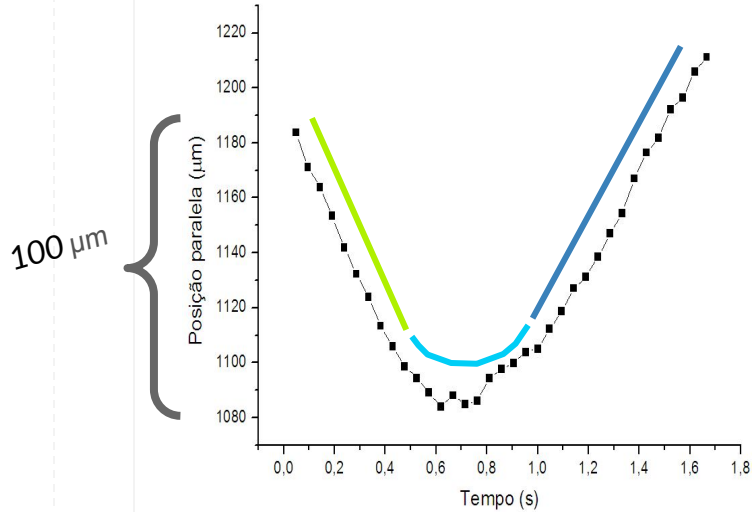
5 GB



Resultados

& Discussões

CINEMÁTICA DA FUGA

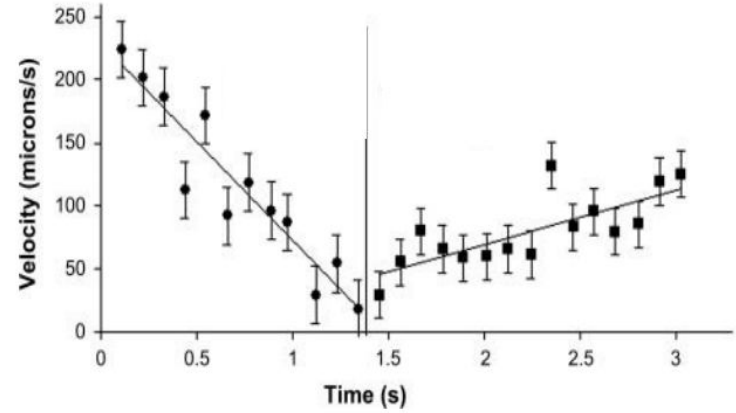
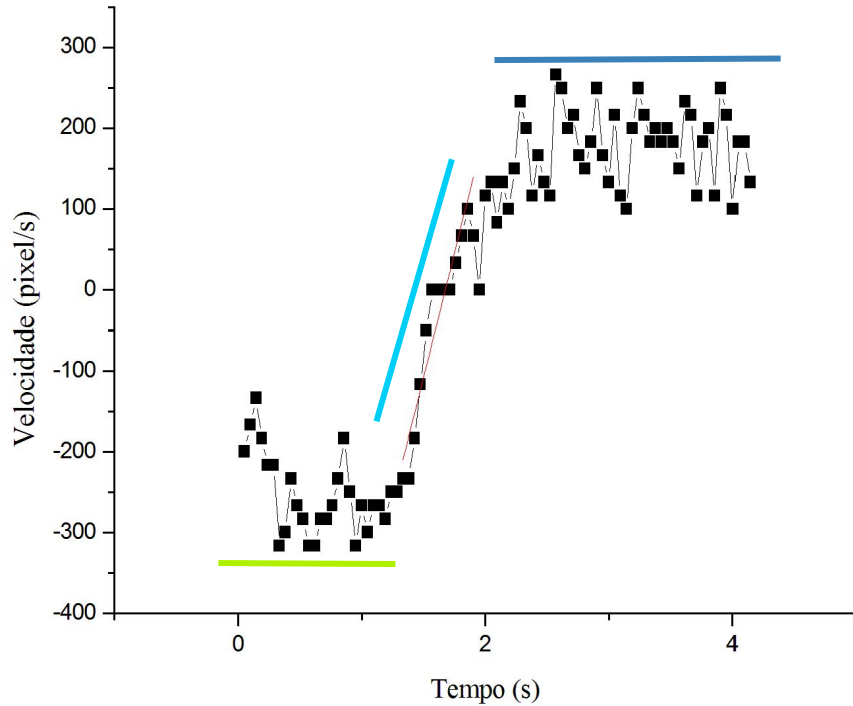


**Movimento de afastamento
estratificado na direção do
campo com velocidade
constante**

**Aceleração e mudança do
sentido da velocidade**

**Movimento de
reaproximação a superfície
helicoidal com velocidade
paralela constante**

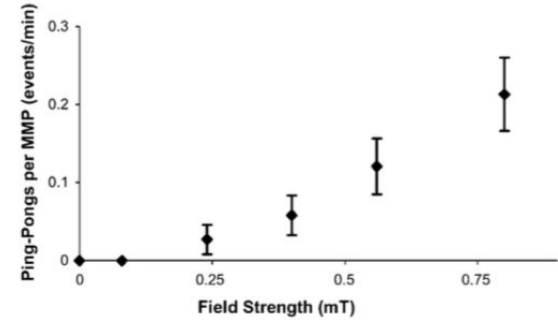
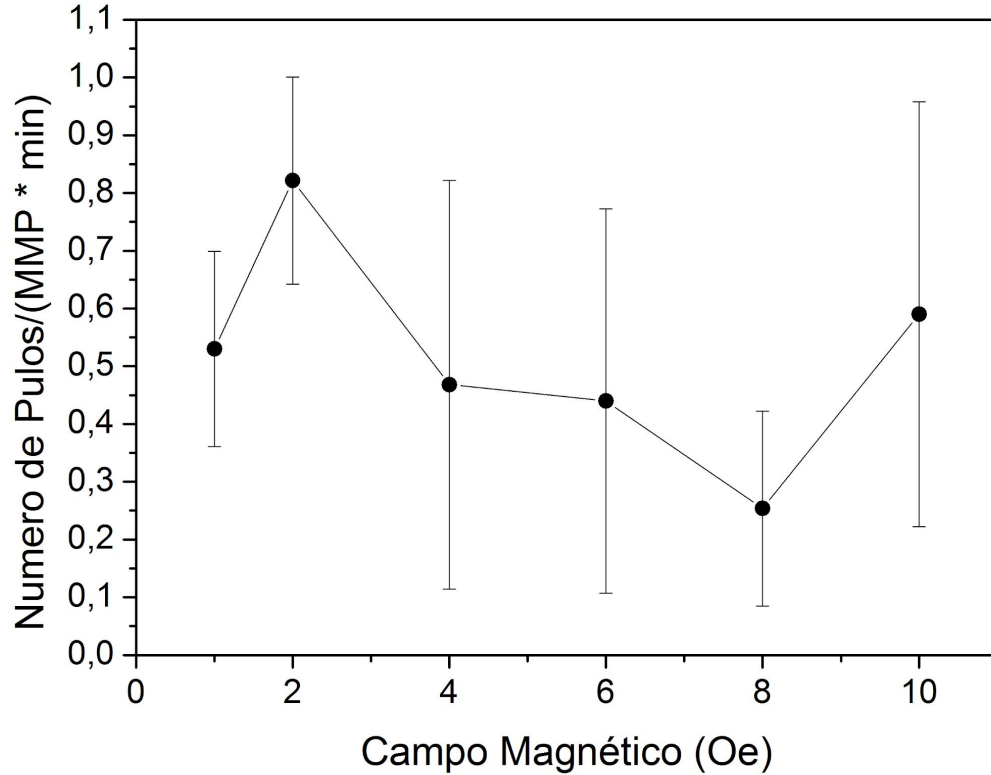
ANÁLISE DA VELOCIDADE



Fonte: Greenberg, 2005.

**Ida e volta em MRU. A
aceleração atua no curto
período de retorno.**

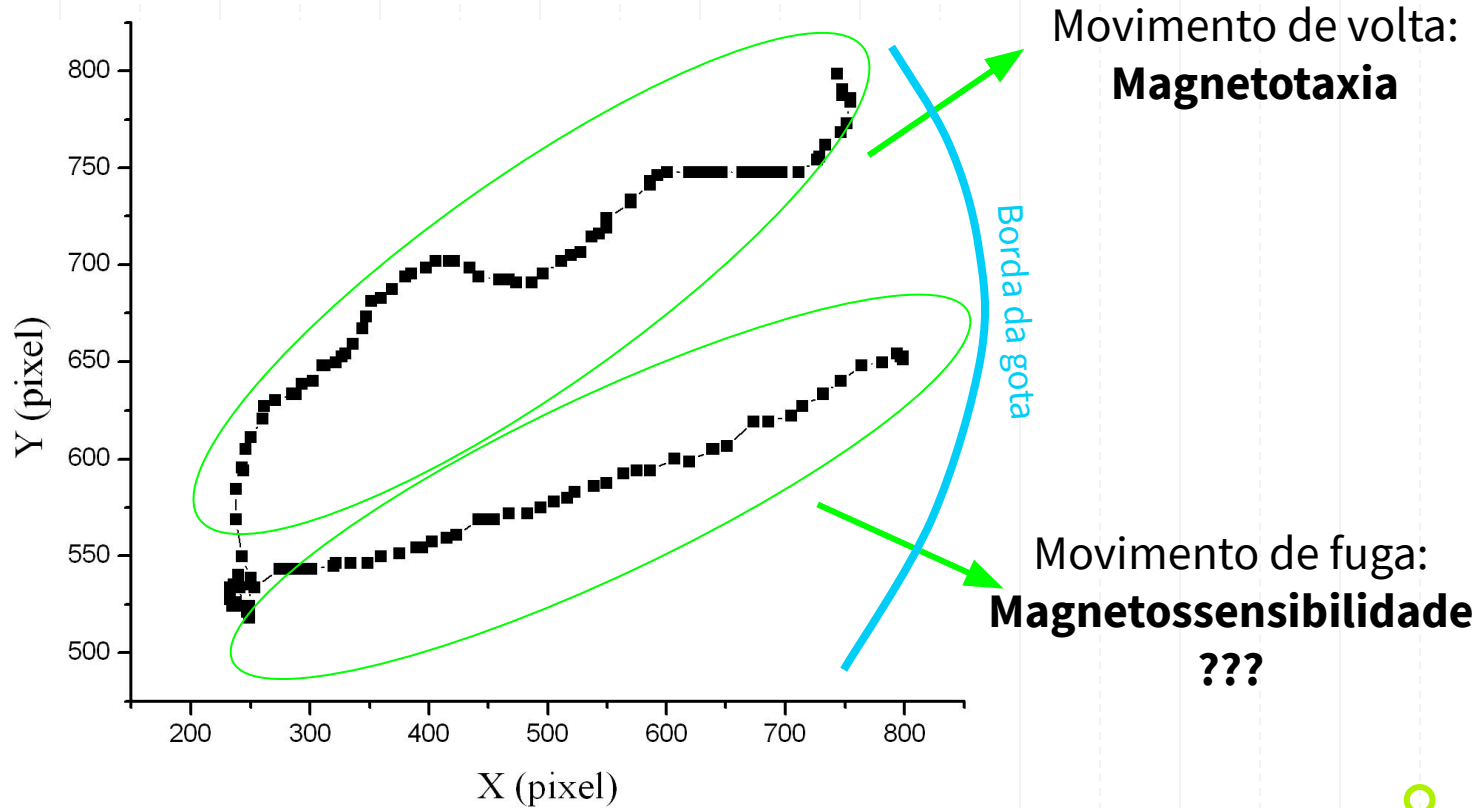
TAXAS DE MOVIMENTO DE FUGA



Fonte: Greenberg, 2005.

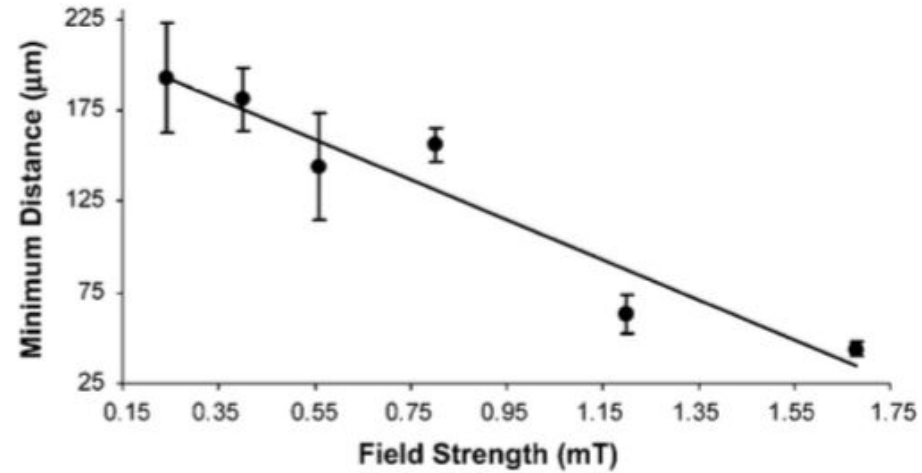
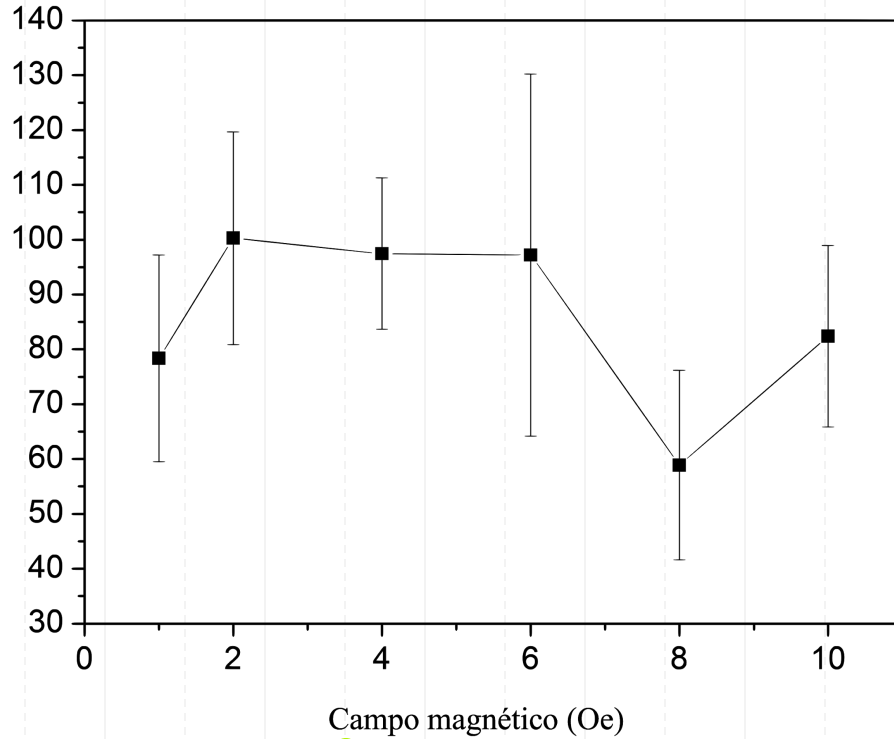
As taxas de fuga não correlacionam com a intensidade do campo.

ANÁLISE DO DESLOCAMENTO



ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM FUNÇÃO DO CAMPO

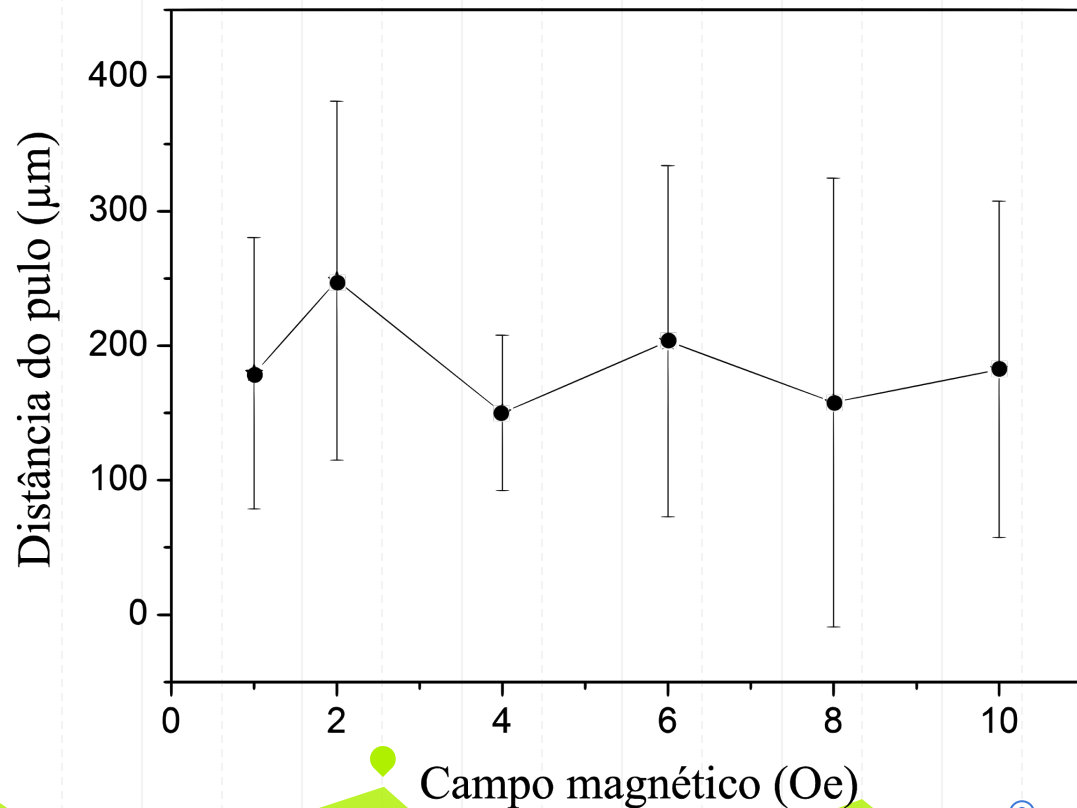
Média dos 10 menores valores da distância do pulo (μm)



Fonte: Greenberg, 2005.

As distâncias dos pulos não mostraram ter dependência com a variação do campo.

ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM FUNÇÃO DO CAMPO



Teste ANOVA
não-paramétrico:
 $p\text{-valor} > 0,05$

REVISÃO & CONCLUSÕES



Sensibilidade magnética

Magnetotaxia e magnetorecepção são mecanismos de alguns organismos para localização e mobilidade.



Bactérias magnéticas & MMPs

São organismos presentes em águas salinas que produzem magnetossomos que alinham passivamente ao campo magnético.



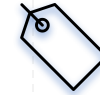
Movimento de fuga

Verificamos que a cinemática do mov. de fuga é quasi-unidimens., na direção do campo magnético, e que a aceleração aparece apenas por um curto momento.



Taxa de fuga

Nossos resultados mostram que taxa de eventos de fuga não correlacionam com a intensidade do campo.



Classificação

Não percebemos dependência desse comportamento com o campo magnético. Portanto não encontramos evidências de magnetorecepção.



Perspectivas

É necessário explorar ainda as causas do mov. de fuga. Para tanto, seria interessante verificar sua correlação com a densidade de MMPs por área.



*Então, se ímãs pequenos formaram
a base do nosso Sexto Sentido
longamente perdido (o da direção),
quais outros sentidos teríamos
perdido assim que viramos ‘civilizados’?*

OBRIGADO

EM ESPECIAL, AOS ORGANIZADORES
E AO PROFESSORES DANIEL & HENRIQUE LINS.

Alguma pergunta?