

## **BACTÉRIAS MAGNÉTICAS MAGNETIC BACTERIA**

**Thiago Leão Do Nascimento e Carlos César Somenzi**

Trabalho realizado no Centro Universitário Faculdades Metropolitanas Unidas, Núcleo de ciências biológicas e da saúde, Curso de Biomedicina, Avenida Santo Amaro, 1239, Vila Nova Conceição, São Paulo - SP, CEP: 04505-001, Brasil.

### **RESUMO**

As bactérias magnetotáticas são um grupo de bactérias gram-negativas, capazes de responder a campos magnéticos, devido à presença de nano-partículas ricas em ferro e envoltos por membrana em seu citoplasma, chamadas de magnetossomos. Os magnetossomos são considerados organelas responsáveis pela orientação das bactérias magnetotáticas ao longo das linhas do campo geomagnético. Estes estão geralmente organizados em cadeias ou segmentos, por isso, são dipolos magnéticos, funcionando como uma bússola intracelular. Os cristais magnéticos que formam os magnetossomos podem ser de óxido de ferro, magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ou sulfeto de ferro, greigita ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ). As bactérias magnetotáticas já foram relatadas em diversos lugares do mundo, pois elas podem ser facilmente isoladas e visualizadas com utilização do campo magnético. Todos ambientes onde se encontram bactérias magnetotáticas são mesofílicos e de pH próximo ao neutro. Os genes relacionados à formação do magnetossomo estão organizados em uma região genômica instável denominada ilha do magnetossomo, que pode ser transferida entre espécies por transferência lateral de genes. As bactérias magnetotáticas apresentam grande diversidade morfológica e não são todas relacionadas filogeneticamente.

Palavras-chave: Bactérias magnéticas; Magnetossomos; Nano-partículas; Geomagnetismo; Ferro.

### **Abstract**

The bacterial cells are a group of Gram-negative bacteria capable of responding to magnetic fields due to the presence of nano-particles rich in iron and wrapped in their cytoplasmic membrane, called magnetosomes. Magnetosomes are considered organelles responsible for the orientation of magnetotactic bacteria along the lines of the geomagnetic field. These are usually arranged in chains or segments, so are magnetic dipoles, functioning as a compass intracellular. The crystals that form the magnetic magnetosomes can be iron oxide, magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) or iron sulfide, greigite ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ). The bacterial cells have been reported in several parts of the world, because they can be easily isolated and visualized using magnetic field. All environments where they are magnetotactic bacteria are mesophilic and pH near neutral. The formation of related genes magnetossomo are arranged in a genomic region called unstable island magnetossomo, which can be moved between species for lateral gene transfer. The bacterial exhibit great morphological diversity and are not all related phylogenetically.

Keywords: Magnetic bacteria; Magnetosomes; Nano-particles; Geomagnetism; Iron.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Objetivo

Buscar compreender o mecanismo de ação das bactérias magnéticas, nano-partículas de magnetossomos. Descrevendo as principais características das bactérias magnéticas, sua morfologia, fisiologia e interação com o campo geomagnético da terra.

### 1.2. História das bactérias magnéticas

As Bactérias magnéticas foram primeiramente reportadas em 1963 por Salvatore Bellini em uma publicação desconhecida no instituto de microbiologia da universidade de Paiva na Itália. Ele observou microscopicamente essas bactérias que nadavam constantemente em direção ao pólo norte, portanto ele chamou-as de bactérias magnetossensíveis, acreditava que a célula dessas bactérias tinha uma bússola interna. As bactérias foram redescobertas por Richard Blakmore em 1974 e descrita na ciência em 1975 (1).

### 1.3. Bactérias Magnéticas

As bactérias magnetotáticas são um grupo de bactérias gram-negativas com grande diversidade morfológica e filogenética que apresentam duas características muito específicas: elas biomineralizam cristais magnéticos chamados de magnetossomos e podem responder passivamente a um campo magnético (2). As bactérias magnetotáticas produzem cristais magnéticos nanométricos envoltos por uma membrana biológica arranjados em uma ou mais cadeias chamados de magnetossomos. As bactérias magnéticas apresentam um tipo de tatismo denominado magnetotactismo ou magnetotaxia. A magnetotaxia é um dos mecanismos de resposta de alguns seres vivos ao campo geomagnético. Essa resposta está associada à existência de sensores magnéticos nesses organismos vivos, ou seja, materiais magnéticos. Esses sensores interagem com campos magnéticos de intensidade variável (3). Os principais materiais magnéticos conhecidos como magnetossomos encontrado nas bactérias magnéticas são a magnetita  $Fe_3O_4$  ou óxido de ferro e a greigita

Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub> ou sulfato de ferro. Esse material é resultante da biomineralização de nutrientes nesses seres (4). Os magnetossomos são considerados organelas responsáveis pela orientação das bactérias magnetotáticas ao longo das linhas do campo geomagnético (5). Estes estão geralmente organizados em cadeias ou segmentos, por isso, são dipolos magnéticos, funcionando como uma bússola intracelular (2). Cada magnetossomo é formado por um cristal magnético envolto por membrana lipoprotéica cuja composição difere da membrana celular (3).

#### 1.4. Orientações Magnéticas

Uma variedade de animais, quando estão em movimento, tem sua orientação de alguma forma afetada pelo campo geomagnético. As bactérias magnetotáticas são capazes de responder a campos magnéticos conhecido como tactismos, devido à presença de nano-partículas ricas em ferro em seu citoplasma chamadas de magnetossomos (4). O comportamento magnetotático apresentado por essas bactérias é uma orientação passiva, isto é, elas não são atraídas ou repelidas pelo campo magnético, mas sim apenas orientadas e se locomovem devido à propulsão flagelar (6). A disposição dos flagelos, no entanto, varia de acordo com a espécie de bactéria magnetotática, uma vez que estas possuem morfologias distintas. Aliás, não só a morfologia desse grupo de bactérias apresenta grande variedade como também a filogenia e fisiologia (7).

#### 1.5. Diversidades das Bactérias magnéticas

As bactérias magnetotáticas já foram relatadas em diversos lugares do mundo, pois elas podem ser facilmente isoladas e visualizadas com utilização do campo magnético. Todos ambientes onde se encontram bactérias magnetotáticas são mesofílicos e de pH próximo ao neutro (6). A diversidade desse grupo de procariotos é caracterizada pelo grande número de morfotipos, incluindo cocos, bacilos, vibriões, espirilos e formas multicelulares, distribuídos em diversos grupos não relacionados filogeneticamente, que podem ser visualizadas na figura II (6). O tipo mais abundante no ambiente, especialmente

em sedimentos, são células cocóides com dois tufo de flagelos localizados em um hemisfério da célula (8).

#### 1.6. Características dos magnetossomos e sua formação

A biomineralização é o processo de formação de minerais em sistemas biológicos. A produção do mineral pode ocorrer através de dois tipos de processos, biologicamente induzido ou controlado. O primeiro é aquele em que o organismo não determina a direção do crescimento, nem o tamanho do mineral formado, tendo seu papel limitado a ser um suporte ou catalisador do aumento de substâncias necessárias para a formação do cristal. No caso da biomineralização biologicamente controlada, o organismo determina o mineral a ser formado, a direção do crescimento e o tamanho, que é o caso da síntese dos magnetossomos por bactérias magnetotáticas (9). Os magnetossomos são constituídos de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ou greigita ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) (6). O tamanho dos magnetossomos varia de 35 a 250 nm (6). O cristal magnético dos magnetossomos possui diferentes formas dependendo da espécie de bactéria, podendo ser cubo-octaédricos, prismáticos ou em forma de ponta de lança quando compostos de magnetita (10) ou, em forma de paralelepípedos ou cubo-octaédros com bordas irregulares quando constituídos de greigita (10). A morfologia dos magnetossomos é considerada espécie-específica, apesar de essa característica ainda não ter sido provada em cultura, figura I (11). Em geral os cristais de magnetita são cristalograficamente perfeitos e possuem magnetização permanente. Essas características fazem com que os magnetossomos tenham grande potencial biotecnológico, uma vez que são facilmente dispersos em soluções aquosas, por serem envoltos por membrana, e de fácil recuperação através do uso de um campo magnético (9). A formação dos magnetossomos não é totalmente entendida. Acredita-se que esse processo envolva as seguintes etapas: formação de uma vesícula, captura do ferro, transporte do ferro para a vesícula e mineralização controlada (11).

### 1.7. Aplicações biotecnológicas

Os magnetossomos reúnem várias características que os tornam excelentes candidatos para aplicações biotecnológicas. A funcionalização dos magnetossomos é possível tanto pela modificação química dos cristais isolados ou pela engenharia genética das proteínas de membrana do magnetossomo. A modificação genética é mais eficiente, pois pode incorporar de maneira específica uma grande variedade de funções biológicas como fluoróforos, enzimas, proteínas (8). Assim, as bactérias magnetotáticas e os magnetossomos foram testados em várias aplicações, que podem ser divididas em duas categorias: aquelas que envolvem a bactéria magnetotática íntegra e aquelas que usam os magnetossomos isolados (12).

### 1.8. Aplicação das bactérias magnéticas

As bactérias magnetotáticas podem ser usadas em algumas aplicações na área de bioremediação, separação de células, carreadoras de moléculas e ainda podem identificar estruturas com domínios magnéticos de modo não destrutivo (8). A capacidade de orientação das bactérias magnetotáticas em um campo magnético permite a identificação de estruturas magnéticas de modo não destrutivo, pois elas podem nadar ativamente em direção a campos magnéticos emitidos por diferentes materiais. Elas foram usadas para determinar o pólo magnético de meteoritos e rochas contendo minerais magnéticos (13).

### 1.9. Aplicação dos magnetossomos

Algumas aplicações para os magnetossomos têm sido desenvolvidas, como contraste em ressonância magnética nuclear, separação de células e carreadores de medicamentos (13).

## **METODOLOGIA**

Trata-se de uma revisão bibliográfica, realizada a partir de dados obtidos através de pesquisas em artigos científicos e livros.

## DISCUSSÃO

Tendo em vista as características das bactérias magnéticas que diferem das de mais bactérias, pelo fato de biomineralizar cristais magnéticos e interagir com o campo geomagnético, as bactérias magnéticas mostraram um grande potencial biotecnológico que pode ser utilizado em diversas áreas e para diversos fins, sendo sem dúvida um grande achado para ciência. Essas bactérias magnéticas representam uma grande diversidade de procariotos, inseridas no supra-reino archeobactéria, possuindo uma grande variedade morfológica e filogenética.

## CONCLUSÃO

As bactérias magnéticas apresentam características incomuns, quando comparadas as demais bactérias pelo fato de biomineralizar cristais magnéticos que lhes conferem a capacidade de se locomover pelas linhas do campo geomagnético. As bactérias magnéticas possuem um grande potencial biotecnológico.

## REFERÊNCIAS

1. Bazylinski DA; Frankel RB. Magnetosome formation in prokaryotes. **nature rev. microbiol**, 2, 217-230, 2003.
2. Spring S; Bazylinski (2000) DA. Magnetotactic bacteria. **In: The Prokaryotes**.
3. Balkwill DL; Maratea D; Blakemore RP. Ultrastructure of a magnetotactic spirillum. **J. Bacteriol**, 141, 1399-1408, 1980.
4. Blakemore; RP. Magnetotactic bacteria. **annu. rev. microbiol**, 36, 217-238, 1975.
5. Bazylinski DA; Frankel RB. Magnetosome formation in prokaryotes. **Nature Rev. Microbiol**, 2, 217-230, 2004.

6. Amann R; Peplies J; Schuler D. Diversity and Taxonomy of Magnetotactic Bacteria. **Microbiol. Monogr**, D. Schüler: Magnetoreception and Magnetosomes in Bacteria, DOI 10.1007/7171\_037, 2007.
7. Bazylinski DA; Frankel RB; Heywood BR; Mann S; King JW; Donaghay PL; Hanson AK. Controlled biomineralization of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) and greigite (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) in a magnetotactic bacterium. **Appl. Environ. Microbiol**, 61, 3232-3239, 1995.
8. Schüler D; Frankel; RB. Bacterial magnetosomes: microbiology, biomineralization and biotechnological applications. **Appl. Microbiol. Biotechnol**, 52, 464-473, 1999.
9. Arakaki A; Nakazawa H; Nemoto M; Mori T; Matsunaga, T. Formation of magnetite by bacteria and its application. **J. R. Soc. Interface.**, 5(26), 977-999, 2008.
10. Abreu F; Martins JL; Silveira TS; Keim C; Lins de Barros, HGP; Gueiros-filho FJ; Lins U. 'Candidatus Magnetoglobus multicellularis', a multicellular magnetotactic prokaryote from a hypersaline environment. **Int. J. Syst. Evol. Micr**, 57, 1318-1322, 2007.
11. Sakaguchi T; Burgess JG; Matsunaga T. Magnetite formation by a sulphate-reducing bacterium. **Nature**, 365, 47-49, 1993.
12. Lefevre CT; Menguy N; Abreu F; Lins U; Pósfai M; Prozorov T; Pignol D; Frankel RB; Bazylinski DA. A cultured greigite-producing magnetotactic bacterium in a novel group of sulfate-reducing bacteria. **Science**, 334(6063), 1720-1723, 2011.
13. Durán REJ; geomagnetismo, biomagnetismo e radiação eletromagnética. in: **Biofísica fundamentos e aplicações**. são paulo: 2003, ca.9,p.187-201

## ANEXOS

### ANEXO I

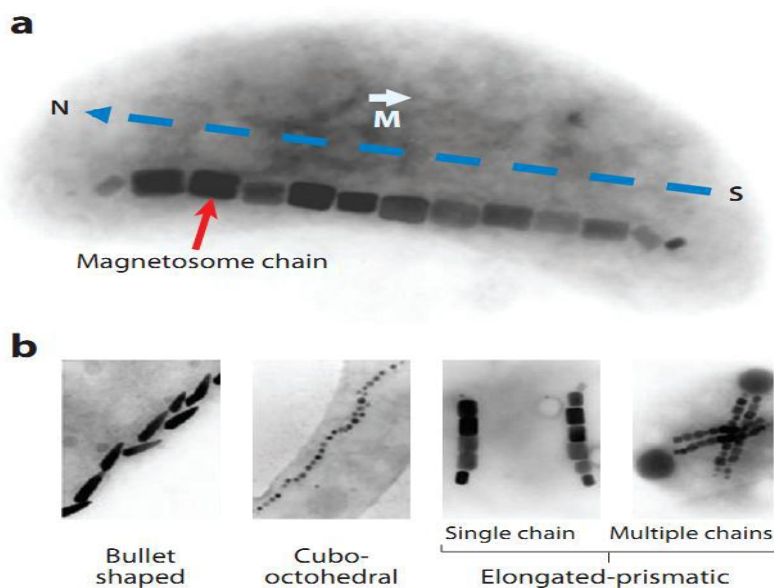


Figura 1 (a) Microscopia eletrônica de transmissão de bactéria magnetotática. A seta mostra a cadeia de magnetossomos que fornece o momento do dipolo magnético que orienta a célula em campos magnéticos ambientes. N e S representam o pólo sul e norte do dipolo magnético, respectivamente. (b) Diversidade de morfologias de magnetossomos achada em diferentes bactérias magnéticas. Retirada de JOGLER, SCHÜLER, 2009.



## ANEXO II

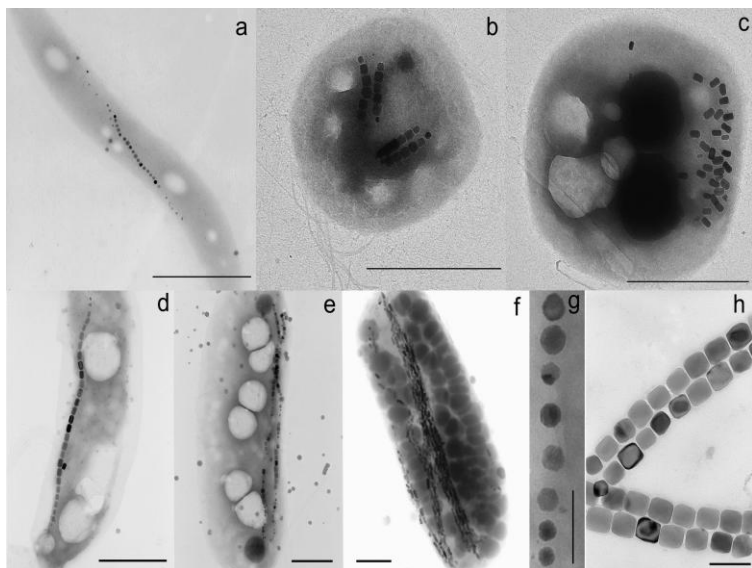


Figura 2: Representação da diversidade morfológica das bactérias magnéticas. Retirada de Amann R, Peplies J, Schuler D, 2007.