

Interação do Campo Magnético da Terra com os Seres Vivos: História da sua Descoberta

Henrique G.P. Lins de Barros

MAST/MCT, R. General Bruce 586, 20921-030

Darci M. S. Esquivel

CBPF/MCT, R. Xavier Sigaud 150, 22290-180, Rio

Recebido em 14 de Dezembro, 1999. Aceito em 27 de Abril, 2000

Alguns aspectos da história da descoberta da interação do campo magnético da Terra com os seres vivos são apresentados, mostrando o que a ciência tem feito para o desenvolvimento desta área.

Some historical aspects of the discovery of the geomagnetic field-living beings interaction are presented showing the modern science has in this area.

A força magnética é anímica ou imita uma alma; em muitos aspectos ela ultrapassa a alma humana uma vez que esta está unida a um corpo orgânico.

De Magnete

Livro V cap. 12

W. Gilbert (1600)

O estudo do magnetismo e suas influências em seres vivos tem uma história. Uma história com dois aspectos, um fatural, em que diversos pensadores estão presentes[1] e outro, da evolução do conceito de magnetismo [2]. Desde as primeiras observações de rochas magnéticas, provavelmente há cerca de 3000 anos, quando se encontrou os primeiros minerais magnéticos na Magnésia, que os efeitos produzidos por estes minerais despertam a curiosidade e o interesse. Suas propriedades macroscópicas são tão estranhas ao senso comum que os coloca em uma categoria à parte de todas as outras substâncias. De fato, o ímã é capaz de atrair o ferro de forma tão intensa que não se pode negar a existência de uma força de ação à distância. Na presença de um ímã, o ferro, se torna magnetizado, sem que haja perdas de ação do metal inicial. Além disso, dois ímãs podem se atrair ou se repelir à distância e os efeitos de força ultrapassam qualquer obstáculo conhecido. Estas são propriedades conhecidas da experiência cotidiana e de fácil reprodução e características de um campo de forças que só foi compreendido, parcialmente, 3000 anos depois de suas primeiras observações. O campo de forças gerado por um ímã é o único exemplo macroscópico claro de uma força de ação a distância. O campo gravitacional, por exemplo, só se manifesta claramente quando se olha a atração, e somente a atração,

produzida pela Terra. Não surgem, para o experimenter ou observador cotidiano, atrações gravitacionais entre pequenos objetos. E jamais ocorre a repulsão gravitacional. O campo eletrostático, conhecido pelo homem desde vários séculos, só ocorre em situações muito particulares e de pouca duração na escala macroscópica. Mas a ação de campos magnéticos sobre o ser vivo, em geral, e sobre o homem[3], em particular, só começou a ser estudado de forma sistemática e com critérios científicos recentemente.

Estas características que distinguem o ímã de outros metais despertou o interesse de vários pensadores. Platão (c. 427-347 a.C.), quando descreve o diálogo entre Íon e Sócrates sobre a inspiração criadora que transforma o homem em um artista, faz a analogia com o campo produzido por este metal particular [4]. Assim como o poeta recebe de sua Musa a inspiração necessária para criar seus versos e a Musa não perde seu poder de inspirá-lo novamente, o ímã é capaz de induzir, à distância, o seu magnetismo sobre o ferro normal sem perder seu próprio magnetismo. Assim como somente os poetas recebem os fluxos inspiradores de sua Musa, o ferro, e só ele, é capaz de se magnetizar pelo ímã [5]. Esta visão demiúrgica do magnetismo mostra como o campo magnético transcende o plano dos efeitos da mecânica e assume um papel à parte no estudo dos fenômenos naturais.

Aristóteles (384 -322 a.C.) não trata do magnetismo na sua Física, mas faz menção às forças magnéticas no seu Tratado sobre a Alma [6]. Em suas considerações sobre as causas do movimento dos animais, Aristóteles, citando Eurípedes, procura uma analogia entre a ação da Alma e o surgimento de um movimento quando o ferro está próximo de um ímã. Desta maneira o ímã,

ou, numa linguagem moderna, o campo magnético, é a Alma que produz o movimento no ferro.

Lucrécio (c 98 - 55 a.C.) discute o fenômeno da atração do Ferro pela magnetita no livro VI de seu Tratado-Poema "Da Natureza" que reflete as idéias atomistas da época [7]. O ponto essencial da explicação epicurista da força magnética é a de que os átomos do material magnético, por uma propriedade especial, expulsam pelo choque o ar que está entre eles e o corpo a sofrer a atração, fazendo com que logo que o ar desapareça, o corpo precipita-se no vazio, empurrado também pelo ar que existe atrás dele.

Esta posição induz à idéia de que o magnetismo tenha um caráter sobrenatural. Desde as primeiras observações feitas com rochas magnéticas que se pensou que as forças surgidas sobre o ferro pudessem atuar sobre o organismo humano. Vários trabalhos foram realizados no sentido de procurar, no campo magnético, formas de cura para doenças. As características particulares desde campo levaram a se procurar uma analogia entre o magnetismo e o comportamento pessoal. Os fenômenos paranormais, ou simplesmente, fenômenos cujas explicações fogem à compreensão, ainda hoje são considerados, no âmbito de um saber popular, como provenientes de um inexplicável magnetismo pessoal.

O fato de um ímã dividido ao meio produzir dois ímãs foi interpretado como uma evidência de que as partes são idênticas ao todo e levaram à procura de características divinas deste metal. Suas propriedades podem ser transferidas para um ferro que originalmente não apresenta magnetismo, sem que propriedades químicas se alterem; é uma espécie de transmutação, em que somente as propriedades relacionadas com o magnetismo são adquiridas. As idéias de que o ímã poderia ter uma influência sobre a pessoa atinge grande aceitação durante a Idade Média indo fornecer um critério de verdade para o caso de julgamento: como um exemplo podemos citar o curioso critério de prova para o caso de mulheres adúlteras. Se flutuarem quando dormindo sob a ação de um ímã colocado em baixo do travesseiro, a culpa estava provada. Em alguns trechos dos tratados médicos de Hipócrates (460 - 377 a.C.) e Galeno (131 - 201 a.C.) a magnetita é indicada como forma de tratamento de humores e feridas, sob a forma de emplastos, além de estar associada a estados de depressão [8].

Os alquimistas acreditavam que as características magnéticas de uma rocha eram anuladas na presença do ouro e do diamante. A bússola, trazida para a Europa no século XIII, e que passou a ser utilizado como instrumento de navegação marítima, exigia uma explicação que associasse o magnetismo do material da agulha com alguma propriedade planetária. Paracelso (c. 1493-1541), por exemplo, interpretou a orientação da agulha como sendo uma atração magnética produzida pelas estrelas que formam a cauda da constelação da Ursa Maior. Outros supuseram a existência de grandes montanhas magnéticas localizadas próximas aos pólos da

Terra [9].

Esta concepção de magnetismo caracteriza-se como uma concepção do realismo ingênuo. As cargas emocionais do termo ditam várias das propriedades do material importando somente se conhecer os efeitos e não as causas.

Somente em 1600, quando Gilbert publicou o tratado sobre o magnetismo [9], é que se levantou a hipótese de que a Terra se comportava como um grande ímã. O estudo detalhado do magnetismo e das idéias sobre magnetismo terrestre expostas por Gilbert são um exemplo de evolução de conceitos, em que o realismo ingênuo das explicações anteriores passa a ser substituído por uma posição de empirismo claro e racional. Pode-se, após o trabalho de Gilbert, se entender empiricamente o campo magnético e compreender-se as razões da orientação da agulha da bússola e algumas características do campo geomagnético. Os fenômenos magnéticos passam a ser explicados através de uma conduta empírica extremamente cuidadosa e racional. A questão de curas é explicada, em vários casos, pelas propriedades químicas da magnetita, que não sofre corrosão, e não por suas características magnéticas intrínsecas. Entende-se, e Gilbert era um médico de grande experiência na corte inglesa do século XVI, as razões positivas do uso medicinal de um material que não sofre corrosão. Gilbert mostra que a orientação das agulhas de bússola são explicadas através do campo da Terra e sem haver necessidade de se recorrer ao mundo supra-lunar para se entender o fenômeno.

Logo após o trabalho de Gilbert sobre magnetismo Galileu (1564-1642) funda a nova Ciência quando da publicação do Diálogo dos Grandes Sistemas (1632) e do Diálogo das Novas Ciências (1638). O trabalho de Galileu representa a pedra fundamental do novo conceito do que é científico, que irá influenciar todas as teorias de conhecimento posteriores. A revolução científica do século XVIII tem seu ápice na formulação racional de mecânica, feita por Newton (1642-1727), nos Princípios Matemáticos de Filosofia Natural (1686) mas somente com os trabalhos de Coulomb (1736-1806), Gauss (1777-1855), Faraday (1791-1867) é que o magnetismo volta a ser estudado, agora sob o aspecto racional que caracteriza a Ciência do final do Século XVIII.

Os trabalhos em eletricidade e magnetismo mostram a estreita relação entre estes dois campos da Física, e o campo magnético pode ser compreendido dentro de uma visão racionalista, relacionado com as alterações do campo elétrico. Este movimento no sentido de uma maior abstração do conceito de magnetismo faz com que este perca suas características intuitivas e ganhe um poder operacional até então desconhecido. A perda do intuitivo em um conceito leva a um afastamento do concreto e ao desenvolvimento de noções abstratas. Constitui um ponto necessário para a formulação racional do conceito. O magnetismo, dessa forma, passa a ser tratado, após os trabalhos de Faraday, através da

noção do campo vetorial e passa ser expresso em termos matemáticos através de suas relações com outras grandezas físicas. A nova linguagem possibilita compreender e formular experiências e técnicas de medidas e o campo magnético assume um papel abstrato, racional e objetivo.

Em fins do século XVIII a biologia (termo não utilizado na época para descrever a ciência dos organismos vivos) começa a surgir de forma sistemática e dentro do novo conceito moderno de ciência. É através das idéias classificatórias dos seres vivos, desenvolvidas principalmente por Lineu (1707-1778), e dos trabalhos preliminares tentando estudar os processos evolutivos dos seres vivos, realizados principalmente por Lamarck (1744-1829), que a biologia vai construindo a sua base filosófica e assume proporções de uma ciência aceita.

Paralelamente Franz Anton Mesmer (1734 -1815) iniciou uma série de tentativas de curas medicinais utilizando ímãs. Mesmer tratou de vários tipos de moléstias e obteve curas consideradas surpreendentes para a época, o que chamou a atenção da classe médica. Em cima do conceito de magnetismo animal Mesmer desenvolveu suas atividades, principalmente em Paris, até que a Sociedade Real de Medicina e a Academia de Ciências consideraram-no charlatão e ele praticamente interrompeu os seus trabalhos. Durante esta época, Armand Chastenet, o Marquês de Puységur, discípulo de Mesmer, após "magnetizar" um paciente verificou que este se encontrava em um estado de sono profundo, conhecido, atualmente, como estado hipnótico. A técnica de hipnotismo, ou mesmerismo, foi, posteriormente, utilizada por vários médicos do século XIX e contribuiu bastante para o surgimento de idéias básicas da psicanálise. Embora tendo contribuído para o avanço de técnicas de tratamento, a magnetização mesmeriana não constitui nenhum avanço no campo da ciência e é, antes, reflexo de uma equivocada utilização da sugestão em pacientes emocionalmente instáveis. Trata-se, historicamente, de um recuo à ciência do concreto, ou seja, a um saber baseado na observação ingênua e empírica.

As idéias do magnetismo animal estavam basicamente fundamentadas numa visão realista e ingênua do magnetismo e foram abandonadas pela ciência racionalista. As demonstrações realizadas por Mesmer talvez tenham sido a última tentativa de procurar utilizar os efeitos magnéticos de forma sistemática no tratamento de doenças e que ainda encontrou alguma repercussão nos meios acadêmicos, sendo logo abafada pela visão racionalista característica do início do século XIX na Europa. A evolução da biologia se deu sob o extremo racionalismo da ciência de então.

A mecânica newtoniana, em meados do século XIX, era o modelo mais apurado de uma teoria científica. Esta posição singular da mecânica influenciou diretamente no desenvolvimento de todas as outras teorias científicas que surgiram.

Os trabalhos subsequentes sobre o magnetismo mos-

taram que a corrente elétrica, descoberta no final do século XVIII, produzia um campo magnético e influía no comportamento da bússola, como ficou provado e aceito pelo mundo científico após a experiência de Oersted (1777-1851) em 1820. O conceito de campo permitiu definir o vetor magnético e possibilitou a Gauss fazer, em 1832, a primeira medida do campo magnético terrestre. Os trabalhos em eletricidade e magnetismo que se realizaram no século XIX possibilitaram a Maxwell (1831- 1879) formular as equações que regem os fenômenos eletromagnéticos. O conceito de campo magnético se opõe, no sentido dialético, ao campo elétrico. A simetria, exposta pelas equações de Maxwell, entre campo elétrico e magnético mostra que estes dois fenômenos são manifestações diferentes de uma mesma essência. O grande poder unificador da teoria de Maxwell transcende os fenômenos elétricos e magnéticos e engloba toda a óptica, levando o conceito de campo magnético ao plano racional completo.

Por esta época a biologia procurava compreender os processos de transformação dos seres vivos e Darwin (1809-1879) publicava seus trabalhos sobre teoria da evolução e seleção natural. Diante deste quadro em que tanto pela filosofia positivista, quanto pelos sucessos alcançados pela mecânica e pelo eletromagnetismo, a Física mantinha uma posição de destaque em relação às outras ciências do conhecimento. A Biologia desenvolveu-se neste cenário e introduziu uma cuidadosa metodologia. A Física, aceita como a teoria mais bem acabada, dizia e provava que o organismo vivo não possui propriedades magnéticas importantes e, desta forma, os fenômenos de origem magnética não podiam influenciar o desenvolvimento dos seres vivos [10]. O magnetismo foi colocado de lado pela biologia do século XIX. É interessante lembrar que o mesmo não ocorreu com os fenômenos elétricos que têm uma manifestação muito clara sobre o organismo vivo. Desde o século XVIII que os estudos do efeito de correntes elétricas no organismo tem sido estudado.

A história recente do magnetismo mostra que os fenômenos magnéticos são provenientes de propriedades intrínsecas de partículas elementares e as manifestações macroscópicas destas propriedades são parcialmente compreendidas pela Mecânica Quântica.

Este quadro científico foi alterado no início do século XX após os trabalhos de Freud (1856-1939) sobre o inconsciente, trazendo à tona temas que até então não haviam sido tratados pela ciência oficial. Os estudos sobre comportamento, que tiveram grande avanço logo após a 2ª Guerra mostraram que vários estímulos do meio ambiente, embora muito fracos, poderiam mudar de forma significativa a resposta de animais.

O estudo da navegação de pombos, o chamado vôo de retorno ao lar, realizados a partir da década de 1950, trouxeram informações até então desconhecidas no que diz respeito à capacidade de orientação destas aves e as primeiras hipóteses de que o pombo pode-

ria utilizar os campos magnéticos fracos (inferiores a 5 Oe) para obterem informações sobre a sua trajetória foram feitas. Embora os resultados não sejam conclusivos logo o estudo da influência do campo magnético no comportamento de vários organismos começou a mostrar resultados positivos. Não se conhece, entretanto, os mecanismos de percepção, envolvidos [12] Em 1975 R. Blakemore, da Universidade de New Hampshire, descobriu bactérias que respondem diretamente ao campo geomagnético, nadando na direção das linhas de campo magnético, constituindo a primeira evidência inequívoca de que este campo pode influir diretamente no comportamento do ser vivo [13]. Este mecanismo constitui um novo tipo de tactismo bacteriano que recebe o nome de magnetotactismo e que, devido as características físicas da interação organismo-campo só é eficiente em organismos microscópicos [14].

Células magnetotáticas são capazes de produzir cristais magnéticos no interior do citoplasma. É importante compreender o mecanismo de orientação bem como sua utilidade. O movimento de bactérias é em geral produzido por uma organela específica, o flagelo. O flagelo é uma longa "cauda" que gira, produzindo uma força que produz o deslocamento da célula. No caso das células magnetotáticas observa-se a existência de cristais magnéticos biomineralizados pelo organismo. Estes cristais possuem um momento magnético de tal forma que a resultante da soma dos diversos momentos magnéticos de cada um dos cristais encontrados no interior do citoplasma fornece um momento magnético resultante aproximadamente alinhado com a direção de movimento. A interação do momento magnético celular com o campo externo produz um binário que orienta o movimento celular com respeito à linha de campo. Trata-se de uma interação semelhante à da agulha da bússola. Como o momento magnético resultante é aproximadamente alinhado à direção de movimento, a célula migra na direção do campo externo. Se uma perturbação tira a célula de sua orientação, a interação com o campo faz com que ela novamente se alinhe. Este mecanismo de orientação é muito eficiente: a velocidade de migração da célula é praticamente igual à velocidade de deslocamento. Como o campo terrestre possui uma inclinação (que depende da posição na superfície da Terra), organismos magnetotáticos nadam ou para baixo ou para cima, dependendo do sentido do momento magnético celular em relação ao sentido do movimento. Células que migram para a superfície sentem os efeitos do oxigênio molecular e morrem. Células que migram para baixo vão ao encontro de uma região rica em nutrientes e com pouca concentração de oxigênio molecular. Um aspecto interessante está relacionado com a polaridade do momento magnético. O campo geomagnético pode ser descrito por um campo de dipolo. No hemisfério Norte ele aponta para baixo enquanto que no hemisfério Sul ele aponta para cima. Assim, bactérias que possuem o

momento magnético antiparalelo ao flagelo sobrevivem no hemisfério Sul e morrem no outro hemisfério. Assim podemos distinguir dois tipos de bactérias no que diz respeito às propriedades magnéticas: as do tipo sul, encontradas em grande quantidade no hemisfério sul magnético, em que o momento magnético resultante é antiparalelo à direção do movimento, e as do tipo norte, características do hemisfério norte magnético, em que o oposto ocorre. Ocorre, dessa forma, uma seleção caracterizada por uma propriedade física. A direção do momento magnético celular não é definida biologicamente. As observações realizadas sugerem que na divisão celular uma parte da cadeia de cristais é mantida em cada uma das duas novas células, induzindo a formação de cristais com a orientação da célula mãe.

A observação de bactérias magnetotáticas pode ser feita com o auxílio de um microscópio óptico de grande aumento e um ímã permanente colocado próximo à lâmina. Colocando-se uma gota d'água com um pouco de sedimento em alguns minutos as bactérias magnetotáticas se concentram numa das bordas da gota. Invertendo-se o ímã, as bactérias migrarão para a extremidade oposta.

Resultados de observação de águas na região do Rio de Janeiro mostraram uma grande variedade de bactérias que respondem ao campo geomagnético e que biomineralizam magnetita no interior de seus citoplasmas [15]. Além disso descobriu-se microorganismos, compostos por cerca de duas dezenas de células procariontas, que biomineralizam sulfeto de ferro magnético, provavelmente greigita ou pirrotita e, se orientam ao campo terrestre [16].

Mais recentemente foram observados microorganismos em foz de estuários que biomineralizam não só magnetita mas também sulfeto de ferro [17,18] como magnetosensor, constituindo mais um indicador do papel determinante do meio ambiente. Resultados do estudo do meteorito marciano ALH 84001 mostraram a presença de material magnético similar aos encontrados em microorganismos coletados no Brasil junto a estruturas de formas biológicas, sugerindo a existência de vida passada em Marte [19].

Quanto aos animais superiores, a magnetorecepção, ou seja, o mecanismo de resposta ao campo geomagnético, é bastante desconhecido. Os poucos modelos existentes atualmente [20,21], todos tendo a magnetita como magnetosensor, tem levado à busca e localização deste material, bem como sua relação com o sistema nervoso, para cada espécie [22]. Por outro lado, a alta sensibilidade do sistema de detecção do campo geomagnético observada nas diferentes espécies tem sido uma surpresa. Por exemplo a abelha, o inseto social mais estudado, pode detectar alterações de campo da ordem de 10^{-4} Oe [23].

Um outro aspecto diz respeito à influência de campos eletromagnéticos presentes no ambiente tecnologicamente desenvolvido. Trata-se, sem dúvida, de um

efeito diferente pois o campo envolvido é outro. Mas como não se supunha a interação do ser vivo com o campo geomagnético, o estudo da interação com campos eletromagnéticos passou a despertar o interesse. Assim sendo, como ficamos nós, os seres humanos, sujeitos cada vez mais a campos magnéticos produzidos por aparelhos, produtos da crescente tecnologia? Como é a resposta do ser vivo a campos eletromagnéticos de baixa frequência, como os produzidos por redes de transmissão? O número crescente de publicações a este respeito[24,25,26], entretanto, não tem ainda respondido a esta questão. O que é aceito pela Ciência é o papel do meio ambiente na vida na Terra, onde cada organismo está em completa harmonia com este meio, constituindo algo mais que simples equilíbrio ecológico e que é sensível a estímulos muito mais fracos do que aqueles que Ciência tem esperado[27]. Esta percepção necessita de estudos mais aprofundados para se compreender um pouco mais sobre a vida na Terra.

Referências

- [1] Ver, por exemplo, Bassalo, 3. M. F. (1996) *Nascimentos da Física: 3500 a.C.* - 1999a. D. EDUFPA, Belém, 395 pags.
- [2] Para uma compreensão da história dos conceitos ver, por exemplo, Bachelard, G. *La Philosophie du non; Essai de une philosophie du nouvel esprit scientifique.* Press Universitaires de France (traduzido em *Os Pensadores*, vol. 38 pg. 159, Abril Cultural) e Bachelard, C. *Le Nouvel Esprit Scientific.* P.V.F. (traduzido em *Os Pensadores*, vol. 38 pg. 247. Abril Cultural).
- [3] Baker, R. B. (1980) A sense of magnetism. *New Scientist* 844 - 864. Baker, R.B. (1980) Goal Orientation by Blindfolded Humans After Long - Distance Displacement: Possible Involvement of a Magnetic Sense. *Science* **210**, 553 - 557.
- [4] Platão. *Ion. The Dialogues of Plato.* Great Books of the Western World, Vol. 7, R.M. Hutchins Ed., 1952. Encyclopaedia Britannica, Inc.
- [5] O principal texto de Platão sobre a Física é o Timeu. Neste diálogo, entretanto, Platão não faz considerações sobre os fenômenos magnéticos.
- [6] Aristóteles. *On the Soul (De anima)* The Works of Aristotle, vol. 1. Great Books of the Western World, vol. 8 . R.M. Hutchins Ed. 1952. Encyclopaedia Britannica Inc.
- [7] Lucrecio. *Da Natureza*, livro VI em *Os Pensadores* (Epicuro, Lucrecio, Cícero, Sêneca e Marco Aurélio). Abril Cultural ou: *On the Nature of things. Book VI* Great Books of the World. Vol. 12. R.M. Hutchins Ed., 1952. Encyclopaedia Britannica Inc.
- [8] Hipocrates - Hippocratic Writings e Galeno. *On the Natural Faculties.* Great Books of the Western World. Vol. 10 R.M. Hutchins Ed. Encyclopaedia Britannica Inc.
- [9] William Gilbert. *De Magnete, Magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure* (1600). *On the Loadstone and Magnetic Bodies.* Great Books of the Western World, Vol. 28 R.M. Hutchins Ed. Encyclopaedia Britannica Inc.
- [10] As medidas de permeabilidade magnética de substâncias orgânicas mostram que os efeitos magnéticos são muito fracos.
- [11] Ver, por exemplo, o artigo de revisão: J.L. Gould, 1983. *L'orientation des pigeons*, *La Recherche* no.141, pg. 186 - 197 ou J.L. Gould - *The case for Magnetic Sensitivity in Birds and Bees (Such as It is)* (1980) *Am. Scientist.* 68, 256.
- [12] J. L. Kirschvink. *Birds, Bees and magnetism.*(1982). *Trends in Neuroscience* Vol. 5, nº5, 160 - 167.
- [13] Blakemore, R. P. 1975. *Magnetotactic bacteria.* *Science*, 190 (377)79.
- [14] Lins de Barros, H. G. P.; Esquivel, D. M. S. (1987) An upper size limit to magnetotactic microorganisms. *Studia Biophysica* **121**(1)55.
- [15] Esquivel, D. M. S.; Lins de Barros, H. G. P. e Farina, M. (1991) Diversity of magnetic crystals found in magnetotactic bacteria em "Iron Biominerals", editado por R.B. Frankel e R. P. Blakemore, Plenum Press, 117.
- [16] Farina, M.; Esquivel, D. M. S.; Lins de Barros, H. G. P. (1990) Magnetic Iron Sulphur Crystals from a Magnetotactic Microorganism. *Nature* **343** (6255)256.
- [17] Keim, C.N. (2000) Diversidade e acumulação de metais em bactérias magnetotáticas da Lagoa de Itaipú-RJ, como tese de mestrado em Ciências Biológicas na UFRJ.
- [18] Bazylinski, D. A. e Moskowitz, B. M. (1997) Microbial biomineralization of magnetic iron minerals: microbiology, magnetism and environmental significance. *Rev. Miner.* **35**, 181.
- [19] McKay, D. S.; Gibson, E. K.; Thomas-Keptra, K. L.; Vali,H.; Romanek, C.S.; Clemett, S. J.; Chilliier, D. F.; Maechling, C. R. ; Zare, R. N. (1996) Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001 *Science* **273**, 924.
- [20] Wiltschko, R e Wiltschko, W. (1995) *Magnetic Orientation in Animals.* Springer-Verlag , Berlin.
- [21] Scherbalkov, V.P. e Winklhofer, M. (1999) The osmotic magnetometer: a new model for magnetic-based magnetoreceptors in animals. *Eur. Biophys. J* **28**, 380.
- [22] Schiff, H e Canal, G (1993) The magnetic and electric fields induced by superparamagnetic magnetite in honeybees. *Biol. Cybern.* 69,7.
- [23] Kirschvink, J. L., Padmanabha, S., Boyce, C. K. e Oglesby, J. (1997) Measurement of the threshold sensitivity of honeybees to weak, extremely low-frequency magnetic fields. *J. Exp. Biol.* **200**, 1363.
- [24] Haferneister, D. (1996) Biological effects of low frequency electromagnetic fields. *J. Am. Phys.* **64**(8) 974.
- [25] Vaiberg, P. A., Kavet, R. e Rafferty, C. N. (1997) Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? *Radiation Research* **148**,2.
- [26] Angelillo, I. F. e Villari, P. (1999) Residential exposure to electromagnetic fields and childhood leukaemia: a meta-analysis. *Bull. World Health Org.* **77**(11) 906.
- [27] Palmer, J.D. (1976) em *Introduction to Biological Rhythms.* N.Y. Academic Press.