



# Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

## Minas Gerais e a História do Ferromagnetismo

**A**lguns materiais quando submetidos à ação de um campo magnético externo adquirem uma magnetização paralela ao campo e cuja intensidade é proporcional ao à magnitude deste. São chamados paramagnéticos. Por outro lado, os corpos que exibem uma magnetização elevada mesmo na ausência de campo magnético externo são chamados ferromagnéticos. Em sua dissertação de doutorado (1896), Pierre Weiss (1865-1940) contestou o conceito, muito bem estabelecido na época e comprovado por fatos experimentais, de que a magnetização em cristais era sempre proporcional e na direção do campo aplicado. Esta descoberta foi feita durante os estudos da magnetita (óxido de ferro, a mais famosa pedreira) ao mostrar que, embora a magnetita se cristalice na forma cúbica, possui uma magnetização que, geralmente, não está na direção do campo. A anisotropia e o ferromagnetismo da magnetita em comparação com a isotropia dos materiais paramagnéticos, levaram Weiss a tentar relacionar a estrutura cristalina com as propriedades magnéticas. Convencido da importância do estudo de magnetismo em cristais, Weiss começou a estudar a pirita magnética (sulfeto de ferro -  $Fe_7S_8$ ).

Em 1898, Pierre Weiss apresentou suas pesquisas iniciais neste novo material. As amostras foram extraídas de Morro Velho (MG) e cedidas por Joaquim Cândido da Costa Sena

(1852-1919), professor interino de Física e Química e depois professor permanente de Mineralogia e Geologia da Escola de Minas de Ouro Preto, tendo sido diretor da Escola até sua morte.

Os cristais foram obtidos por Charles Friedel, um químico e professor de mineralogia de Paris, que



Costa Sena (1852-1919)

mantendo fortes laços com Marie Curie, Paul Langevin e Weiss, se dispôs a procurar amostras cristalinas em uma região rica em minérios como Minas Gerais. De importância fundamental para o desenvolvimento da área foi a escolha desses cristais por sua qualidade bem superior quando comparada com os de outros locais. Weiss trabalhou com amostras recebidas de New Jersey e de Bodenmais e descartou outras amostras da região do Tirol e da Noruega, mas segundo ele: "Os melhores cristais para os estudos magnéticos vieram de Morro Velho no Brasil; em geral têm uma aparência perfeitamente homogênea por uma distância de vários centímetros. Eles não sofrem clivagem. Sua quebra concoidal tem o aspecto de um belo bronze fundido." Esta circunstância tem uma importância relevante na história do ferromagnetismo e, tanto quanto sei, não mereceu atenção dos físicos brasileiros.

Weiss verificou que, ao colocar um ímã em frente de um pedaço de pirita, não existia atração se o plano da face fosse perpendicular às linhas de campo magnético. Por outro lado,

a atração era enorme quando as linhas de campo estavam no plano da face. E concluiu: "Existe, então, uma direção em que a magnetização é impossível, e somos levados imediatamente a uma generalização admitindo que o material somente pode ser magnetizado no plano perpendicular a essa direção, que chamaremos plano magnético". Neste plano, Weiss em 1907, postulava a existência do campo molecular formado por pequenas "agulhas magnetizadas", arranjadas em linhas paralelas na direção da magnetização fácil. A teoria do ferromagnetismo estabelece que, quando aplicamos um campo magnético intenso, os chamados momentos magnéticos se ordenam de modo paralelo e em um mesmo sentido formando os microscópicos domínios. A magnetização que resulta da soma vetorial dos momentos persiste então mesmo após o campo externo ser removido.

Nosso personagem nasceu em Conceição do Serro, Minas Gerais, em 13 de agosto de 1852. Graduou-se em Engenharia de Minas em 1880 pela Escola de Minas de Ouro Preto, onde, além do cargo de diretor, exerceu a docência de diversas disciplinas. Era membro de mais de 25 sociedades científicas européias. Pertenceu ao núcleo fundador da Sociedade Brasileira de Ciências, atual Academia Brasileira de Ciências. Foi comissário geral do Brasil na exposição de Turim, organizando coleções de minerais brasileiros para várias exposições na Europa. Foi agraciado com inúmeras honrarias e membro de várias instituições científicas e culturais. Eleito vice-presidente de Minas Gerais (1892-1902), com a morte do titular, assumiu o cargo no último ano do quadriênio. Escreveu inúmeros trabalhos científicos nas áreas da Geologia e Mineração, em particular "Voyage d'études métallurgiques au center de la province de Minas", de 1881. Faleceu em Belo Horizonte, em 26 de junho de 1919, quando ainda ocupava o cargo de diretor e professor da Escola de Minas. Em sua homenagem, foi designado de *senaita*, um mineral de ferro-titanato de chumbo muito difundido nas areias de Diamantina.

Assim como o Ceará se orgulha de ter emprestado seu céu para a comprovação do desvio da luz pelo Sol prevista pela teoria da relatividade geral, também Minas Gerais contribuiu de modo fortuito para o

desenvolvimento do ferromagnetismo pela altíssima qualidade de seus minerais.

Nelson Studart  
Departamento de Física,  
Universidade Federal de S. Carlos

Para a história do magnetismo, ver o artigo de S.T. Keith and P. Quédec, "Magnetism and Magnetic Materials", in *Out of the Crystal Maze*, L. Hoddeson, E. Braun, J. Teichmann and S. Weart (orgs), Oxford, Nova York (1992). Sobre o magnetismo no Brasil, ver Sérgio M. Resende, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 293 (2000).



### Bic: Um Ludião que Funciona

Quando o assunto densidade é abordado no Ensino Fundamental ou no Ensino Médio, uma das correlações que podem ser feitas pelo professor consiste em discutir o funcionamento dos submarinos, no que tange ao seu mecanismo de afundar ou flutuar, comandado respectivamente pelo enchimento e pelo esvaziamento de seus tanques de lastro. Com o auxílio de um ludião pode-se ilustrar experimentalmente como isto acontece.

Embora a montagem de um ludião geralmente seja simples e existam várias sugestões de construção, eles nem sempre funcionam a contento, frustrando alunos e professores. Aqui propomos uma montagem que utiliza o corpo de uma caneta esferográfica BIC e dois cliques para ajustar a sua flutuabilidade e verticalidade (Fig. 1). O conjunto funciona dentro de uma embalagem PET transparente, com capacidade para dois litros, completamente cheia de água e com a tampa fechada.

Além da facilidade de montagem e certeza de funcionamento, este ludião tem outra interessante característica didática: permite visualizar o que ocorre em seu interior.

### Montagem experimental

Do corpo da caneta deve-se retirar o conjunto (tubo + ponta) que contém a tinta. O orifício lateral ("respiro") deve ser vedado usando fita adesiva. A tampinha que veda a parte superior deve ser mantida. Em seguida, encaixa-se na

extremidade aberta do tubo dois cliques, de modo que o conjunto flutue quando colocado no interior da garrafa com água.

Temos verificado que a utilização de um clipe número dois (2/0) e outro número três (3/0), possibilita o funcionamento controlável do ludião, sem que seja necessário apertar a embalagem com força de grande intensidade.

Empregando-se dois cliques número três, a sensibilidade do conjunto aumenta bastante, necessitando-se de uma força de menor intensidade para que o ludião se movimente. Esta é a montagem mais adequada quando os alunos são crianças.

### Execução da demonstração

Pelo fato da embalagem PET ser deformável, quando ela é pressionada com as mãos a pressão adicional exercida distribui-se pelo líquido todo (Princípio de Pascal) e também afeta o volume de ar contido no ludião que flutua dentro dela, uma vez que sua parte inferior não é vedada.

Apertando-se a garrafa cheia de água, a pressão adicional "empurra" um pouco da água para dentro do ludião, diminuindo o volume da bo-

lha de ar existente no seu interior. Este fato é perfeitamente observável durante a operação.

A água que penetra no ludião funciona como o lastro do submarino, aumentando seu peso total e fazendo que ele afunde.

O ludião começa a afundar quando a sua densidade média torna-se um pouco maior do que a da água. Isto ocorre porque a água que penetrou no ludião aumenta sua massa, mas não interfere em seu volume externo.

O controle da água que penetra no ludião é feito por meio da pressão que se faz na embalagem. Controlando a pressão aplicada, a densidade média do ludião pode tornar-se maior, menor ou igual que a da água, possibilitando que ele desça, suba ou se mantenha nivelado em qualquer profundidade

### Conclusão

A montagem proposta funciona muito bem e é suficientemente simples para ser usada no tempo de duração de uma aula tradicional. Ela permite discutir a influência da densidade do meio de imersão e dos materiais constituintes dos corpos na sua flutuabilidade e também explorar o conceito de empuxo (Princípio de Arquimedes).

Jorge Roberto Pimentel  
Departamento de Física,  
Universidade Estadual Paulista,  
Rio Claro

Paulo Yamamura  
Fundunesp,  
Universidade Estadual Paulista, São Paulo



Figura 1: O ludião BIC.