

ANÁLISE ALTERNATIVA DE INTERAÇÕES MAGNÉTICAS.

1 - Introdução.

O presente trabalho visa o estabelecimento de uma nova abordagem no tratamento das interações magnéticas tendo como base o princípio fundamental de que o campo magnético gera uma pressão sobre seu agente, no sentido perpendicular às linhas de força.

2 – O condutor infinito conduzindo corrente.

Um condutor filiforme, reto e de comprimento infinito, conduzindo corrente I , apresenta um campo na forma de circunferências concêntricas ao longo deste, como mostrado na figura 1 abaixo.

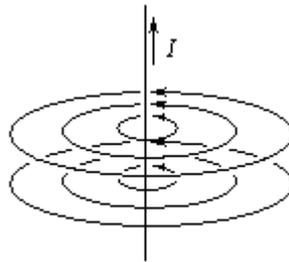


Figura 1

O campo magnético gerado é dado pela Lei de Biot-Savart e corresponde a $\vec{H} = \frac{I}{2\pi r} \vec{a}_\phi$, onde \vec{a}_ϕ é o vetor unitário não-fixo que define o sentido em cada ponto da circunferência. Podemos determinar a densidade de energia magnética em torno do condutor como sendo $w = \frac{1}{2} \mu_0 H^2$

$$w = \frac{\mu_0 I^2}{8\pi^2 r^2}.$$

Observamos que a densidade de energia varia com o inverso do quadrado da distância ao condutor. Este gradiente de energia determina forças radiais sobre o condutor, ou uma pressão magnética sobre o mesmo, sempre no sentido transversal às linhas de força.

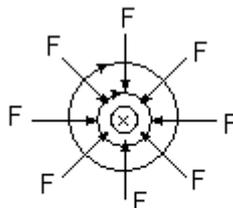


Figura 2 - Corrente entrando no plano da folha. Força exercida pelo campo magnético

Naturalmente, pela simetria das forças aplicadas, não há nenhuma força resultante sobre o condutor, a não ser a compressão. Qualquer desequilíbrio

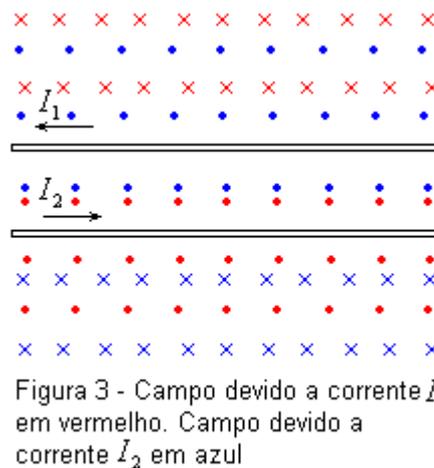
na simetria do campo, como por exemplo, a aproximação de um ímã, fará com que a resultante das forças seja diferente de zero.

A pressão magnética exercida pelo campo magnético pode ser visualizada de outra forma, ou seja, imaginar a corrente total como constituída de diversos filamentos de corrente. Como o sentido de corrente nestes filamentos é o mesmo, ocorre atração entre eles, que equivale à consideração de uma pressão exercida pelo campo externamente.

Um exemplo prático da pressão exercida pelo campo sobre um condutor é o efeito Pinch. Este efeito caracteriza-se como uma instabilidade no confinamento de plasma. Este último, ao conduzir corrente sofre a pressão do seu próprio campo magnético. Qualquer assimetria produzida no campo magnético pode provocar o estrangulamento do plasma naquela região, levando a uma instabilidade no processo.

3 – Condutores paralelos conduzindo corrente.

Para o caso de correntes em sentidos contrários temos a distribuição das linhas de força como ilustrado na figura 3.



O campo resultante devido às duas correntes é ilustrado de forma qualitativa na figura 4.

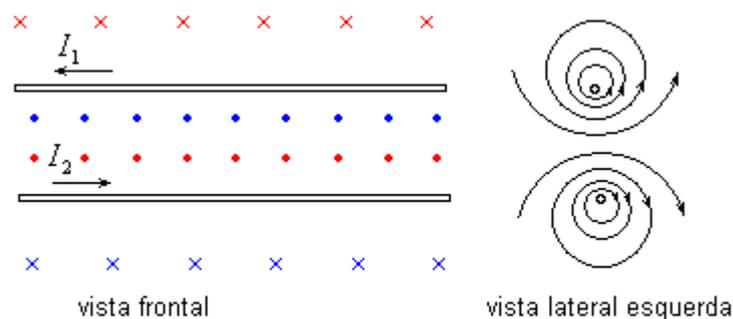


Figura 4 - Campo resultante

Observa-se que na região compreendida entre os dois condutores há uma concentração maior de linhas de força do que no espaço que os envolve. A variação do campo magnético na região entre os dois condutores, e na direção da reta que os une, se dá, a partir da distância média entre eles, de

forma crescente em sentido a cada condutor, de forma que a variação da densidade de energia magnética e , conseqüentemente a força sobre cada condutor nesta região continua sendo no sentido $-\vec{a}_r$. Isto também acontece na região externa aos dois condutores. Porém, como aí o campo é bem mais fraco, a pressão exercida pelo campo é bem menor, resultando em uma força radial em cada condutor menor do que a exercida na região interna. Ou seja, haverá uma força resultante em cada condutor no sentido de promover um afastamento entre ambos, como ilustra a figura 5.



Figura 5 - Forças sobre cada condutor

Uma vista lateral, como a da figura 6, esclarece melhor o desequilíbrio das forças atuando sobre cada condutor.

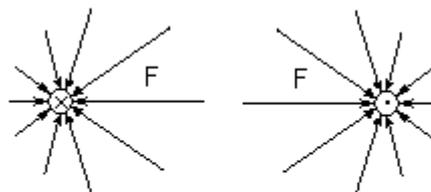


Figura 6 - Forças atuando sobre os condutores

Observe que, deste ponto de vista, a força que surge em cada condutor é devida ao seu próprio campo magnético, o qual sofreu uma quebra em sua simetria original.

Para condutores com mesmos sentidos de corrente, o campo fica enfraquecido na região entre os condutores e fortalecido na região externa, invertendo a intensidade relativa das forças em relação ao caso anterior. A figura 7 mostra as forças atuantes.

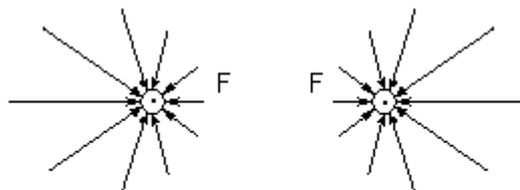


Figura 7 - Sentidos das forças atuando em cada condutor

As forças atuando em cada condutor apresentam uma resultante no sentido de promover a atração entre os condutores.

4 – Condutor conduzindo corrente no interior de um campo magnético constante.

Neste caso, o condutor experimenta uma distorção em seu campo magnético como ilustrado na figura 8 a seguir: O gradiente da energia magnética ao redor do fio, no sentido perpendicular às linhas, que dá origem a força aplicada ao mesmo é mostrada na figura 08.

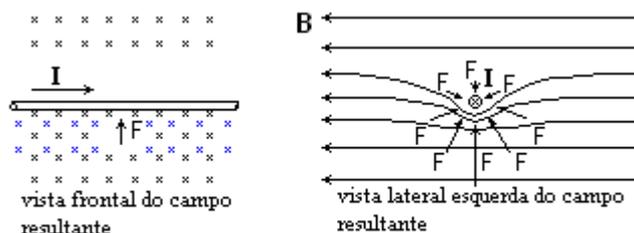


Figura 08 - Forças sobre o condutor

Como se vê, a resultante das forças sobre o condutor empurra o mesmo para cima, na tentativa de recuperar a simetria de seu campo.

5 – Ímãs permanentes

Um ímã permanente possui um campo magnético simétrico, o que lhe confere como não poderia deixar de ser, uma força resultante nula sobre si mesmo.

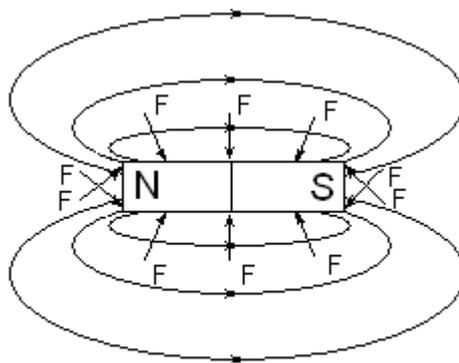


Figura 9 - Forças atuando sobre o ímã

A figura sugere que o ímã, a exemplo do condutor conduzindo corrente, também fica exposto à pressão do campo magnético. Um argumento que vem a corroborar com esta nova roupagem conceitual é que essa pressão pode explicar a magnetostricção negativa, que é uma diminuição no comprimento de materiais ferromagnéticos sujeitos a um campo magnético no sentido do campo aplicado. Explica também porque não se observa um aumento nas dimensões transversais ao campo, como seria esperado pela ação repulsiva dos pólos adjacentes de nomes iguais, relativos aos domínios magnéticos do material.

Qualquer desequilíbrio nesta simetria promoverá um desequilíbrio entre as forças atuantes e uma resultante líquida diferente de zero atuará sobre o ímã.

6 – Forças entre pólos de nomes iguais

As forças repulsivas decorrentes da ação entre pólos de nomes iguais se dão pelo desequilíbrio proporcionado pelo aumento na densidade de energia nas proximidades dos pólos atuantes. Como a densidade de energia nos outros pólos permanece praticamente a mesma, haverá uma resultante de forças no sentido de promover um afastamento entre os pólos.

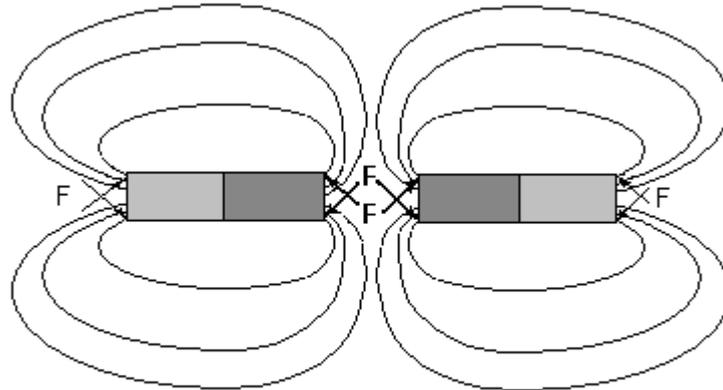


Figura 10 - Campo magnético resultante de pólos de mesmo nome próximos entre si

7 – Forças entre pólos de nomes diferentes

Neste caso, na região entre os pólos próximos, muito embora haja um aumento na densidade de energia, a pressão magnética exercida transversalmente às linhas de força diminui, pelo fato do campo se tornar mais uniforme, com as linhas chegando mais perpendicularmente aos pólos. Como nos pólos distantes a distribuição da energia magnética permanece a mesma e, portanto, a força também, esta se torna maior do que a força entre os pólos próximos, ocasionando uma força resultante atrativa.

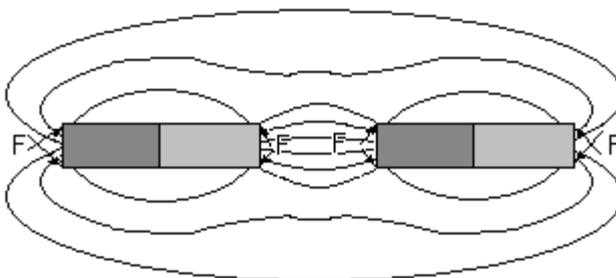


Figura 11 - Campo magnético resultante de pólos de nomes contrários próximos entre si.

8 – Alinhamento de um ímã com um campo magnético.

Um ímã em forma de barra, imerso em um campo magnético, tende a orientar seu eixo norte-sul com as linhas do campo como ilustrado na figura a seguir.

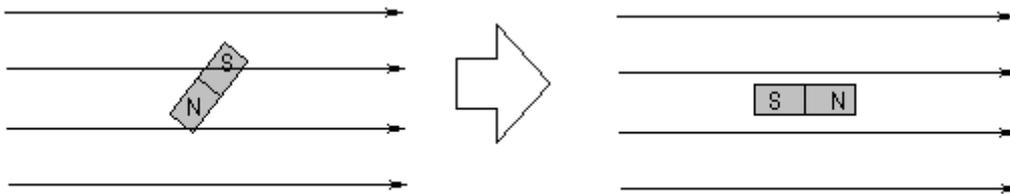


Figura 12 - Um ímã se orienta no sentido do campo com o seu norte apontando o sentido das linhas de força

Analisando pela ação de pólos, fica fácil entender o que ocorre. Se entendermos que o campo magnético representado pode estar sendo criado por um pólo norte à esquerda e um pólo sul à direita (por convenção, as linhas de força saem do pólo norte), então é natural que o ímã no interior do campo se alinhe por ação mútua dos pólos. A simplicidade na análise é notável. No entanto, estamos apenas utilizando um conhecimento prévio de ações conhecidas para obter, por analogia, a solução para um problema, mesmo que o campo em questão efetivamente não tenha pólos como é o caso do campo no interior de um toróide ou em torno de um condutor, onde a resposta para o problema é a mesma. E isto nos parece tão normal que nem sequer nos perguntamos qual o princípio físico básico que está por trás deste simples fenômeno.

Podemos obter a solução para o problema usando a força de Lorentz, considerando para o ímã o modelo de correntes interatômicas ou correntes amperianas. Entretanto, esta não seria a explicação mais fundamental.

Se considerarmos o campo resultante, veremos que ocorre uma desigualdade na distribuição da energia magnética do sistema e, conseqüentemente, um gradiente de energia, no qual as respectivas forças atuantes dão origem a um binário, que tende a girar o ímã no sentido antihorário, conforme mostra a figura 13 a seguir.

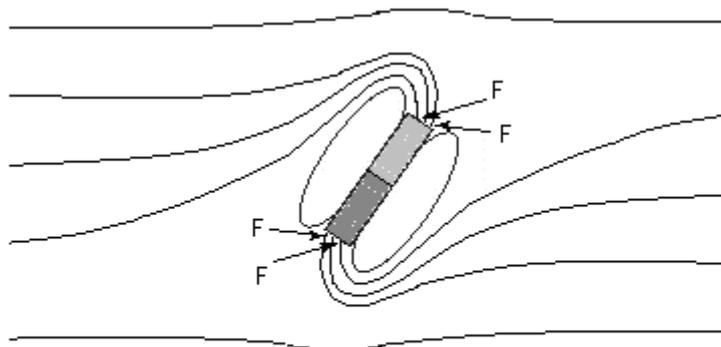


Figura 13- Campo resultante produzido pelo ímã inclinado dentro de um campo magnético uniforme e respectivas forças .

9 – Dispositivo de núcleo mergulhador

O caso do dispositivo de núcleo mergulhador é mais um exemplo onde a assimetria axial do campo impõe um gradiente de energia magnética e conseqüentemente de força diferente em cada extremidade do núcleo. A diferença entre as forças que pressionam o núcleo no sentido axial faz com que o mesmo se desloque para o centro da bobina. No lado esquerdo da figura 14 a seguir o campo é mais uniforme e conseqüentemente o gradiente da energia

magnética é menor no sentido axial do que em seu lado oposto, onde o campo tem maior taxa de variação.

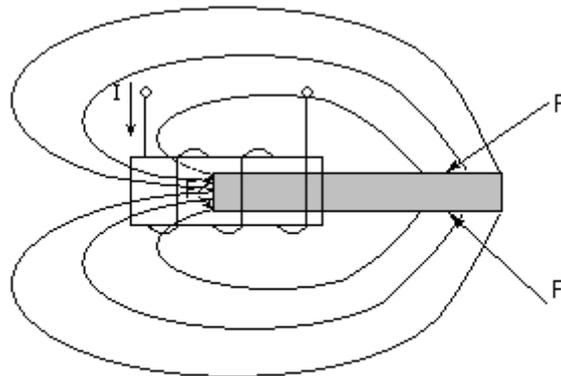


Figura 14 - A resultante das forças empurra o núcleo para dentro até que o campo resultante fique simétrico.

À medida que o núcleo avança em direção ao centro da bobina, diminui a assimetria do campo e a diferença entre as forças vai ficando menor. Quando o núcleo centraliza em relação à bobina, as forças em cada extremidade do núcleo se igualam e o mesmo encontra o seu estado de equilíbrio.

Isto explica porque um núcleo ferromagnético alinhado com o campo no interior de um toróide não sofre deslocamento. É porque o campo é simétrico e as forças de compressão sobre o núcleo são iguais.

10 – Alinhamento de um pedaço de material ferromagnético no interior de uma bobina.

Pode-se observar na prática que, um pedaço comprido de material ferromagnético, como por exemplo, um prego, colocado no interior de uma bobina alimentada com CA ou CC, se alinha com a bobina no sentido de seu comprimento.

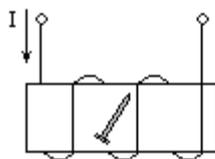


Figura 15 - O prego irá se alinhar no sentido do campo no interior da bobina

Se considerarmos que, na posição em que se encontra na figura 15, o prego se magnetiza transversalmente, não encontramos razão aparente para que ele gire e se alinhe com o campo. Para encontrarmos a causa do alinhamento do prego, vamos analisar os campos magnéticos envolvidos, mostrados na figura 16.

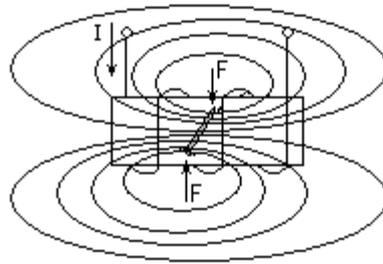


Figura 16 - Campo magnético resultante e forças atuantes

A pressão do campo externo, assimétrico, dá origem a um binário. Quando o prego se alinha com o campo da bobina, o campo resultante torna-se simétrico anulando todas as forças que agem sobre ele. Observe que, estando o prego perpendicular ao campo, o binário também se anula e o prego tende a permanecer nesta posição. Entretanto, trata-se claramente de uma posição de equilíbrio instável.

O efeito acima também é observado no caso do prego estar no interior de um toróide, pela mesma razão.

11 – Conclusão

Através desta abordagem, propomos que as ações magnéticas podem ser interpretadas por conta de forças que surgem devido à pressão exercida transversalmente às linhas de força. Em campos simétricos, a resultante das forças é nula e qualquer perturbação neste campo que o leve a algum tipo de assimetria, proporcionará uma resultante de forças diferente de zero.