

PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DOS MATERIAIS

Paulo Roberto Carregosa Luiz¹ – e-mail: paulorcarregosaluiz@gmail.com

¹ Instituto Federal do Espírito Santo – CEFOR - ES

Resumo. As propriedades magnéticas dos materiais são originadas com base nas estruturas eletrônica dos átomos, gerando diversos tipos de comportamentos magnéticos. O objetivo deste artigo é demonstrar as propriedades magnéticas e suas características mais relevantes do ferro e do cobre. Adotou-se uma pesquisa bibliográfica coletada em livros, artigos provenientes de base de dados reconhecidas pelo meio científico, teses, dissertações e periódicos que abordam o assunto foco deste trabalho. A pesquisa indica que enquanto o ferro é citado como um material ferromagnético, onde os momentos de dipolos magnéticos permanecem alinhados na direção e sentido do campo; o cobre é um material diamagnético, havendo a repulsão quando exposto a um campo magnético externo, tendo a densidade do fluxo reduzida e os momentos magnéticos permanecem alinhados em oposição ao campo externo.

Palavras-chave: Propriedades magnéticas; Ferro; Cobre

MAGNETIC PROPERTIES OF THE MATERIALS

Abstract. The magnetic properties of the materials originate based on the electronic structures of the atoms, generating several types of magnetic behaviors. The objective of this article is to demonstrate the magnetic properties and their most relevant characteristics of iron and copper. We adopted a bibliographical research collected in books, articles from data bases recognized by the scientific community, theses, dissertations and periodicals that approach the subject of this work. The research indicates that while iron is cited as a ferromagnetic material, where the magnetic dipoles moments remain aligned in the direction and direction of the field; copper is a diamagnetic material, with repulsion when exposed to an external magnetic field, with reduced flux density and magnetic moments remaining in alignment as opposed to external field.

Keywords: Magnetic properties; Iron; Copper.

1. INTRODUÇÃO

Todos os elementos que compõem a natureza apresentam determinada sensibilidade magnética. Com isso, pode-se afirmar que o magnetismo das substâncias se manifesta a partir da intensidade nos sólidos em razão da proximidade entre os átomos (CRUZ, 2007). A magnetização de um material é relatada por Sorrentino Neto (2016) como sendo a junção vetorial dos momentos magnéticos atômicos por unidade de volume.

Considerando que as propriedades magnéticas dos materiais são originadas com base nas estruturas eletrônica dos átomos, a visão clássica, demonstra que podem se movimentar a partir de dois movimentos dos elétrons que formam os momentos magnéticos: angular orbital do elétron e angular do spin do elétron. Dessa maneira, podem apresentar diversos tipos de comportamentos magnéticos, sendo paramagnético, diamagnético, ferromagnético, ferrimagnético e antiferromagnético (GRAÇA, 2018).

O momento magnético global é citado como o resultado do somatório das contribuições do momento de cada um dos elétrons, estando relacionado ainda com a exclusão dos momentos de spin e orbital dos pares eletrônicos. Este momento será nulo quando dois elétrons estiverem emparelhados no mesmo orbital, caracterizando spins desemparelhados (COSTA, 2015).

As estruturas e instrumentos magnéticos estão sendo fabricados e usados pela sociedade desde a antiguidade. Atualmente, podem ser encontrados em diversos dispositivos do dia a dia como aparelhos telefônicos, refrigeradores, dispositivos de segurança, aparelhos de ultrassonografia e muitos outros (PINHO, 2009).

Neste contexto, o objetivo deste artigo é demonstrar as propriedades magnéticas e suas características mais relevantes do ferro e do cobre.

Adotou-se uma pesquisa bibliográfica coletada em livros, artigos provenientes de base de dados reconhecidas pelo meio científico, teses, dissertações e periódicos que abordam o assunto foco deste trabalho.

2. DESENVOLVIMENTO

No âmbito do eletromagnetismo, os materiais podem ser fracos ou duros. Os fracos correspondem aqueles que não possuem campos magnéticos, pois sua capacidade magnética permanece randomicamente distribuída não gerando campo magnético. Os momentos dipolares são provocados a partir de uma ação de excitação magnética ocorrendo na mesma direção do campo aplicado, obtendo assim uma magnetização devidamente proporcional à intensidade do campo e susceptibilidade magnética do elemento. Por sua vez, os duros apresentam sinais de magnetização residual no campo aplicado, mantendo estruturas de domínio com situações magnéticas dipolares em direções desconhecidas, não possibilitando a reconstrução da magnetização mediante campo magnético univocamente (CRUZ, 2007).

Segundo Pinho (2009) as perdas magnéticas que abrangem a dissipação de energia sob a forma de calor ocorrem por histerese ou por Correntes de Foucault. Na histerese, a rotação de domínios durante a magnetização e desmagnetização do material necessita de energia, acarretando as perdas durante o ciclo. As correntes de Foucault circulam num plano perpendicular às linhas de fluxo, estando opostas ao fluxo indutor.

Considerando a questão da aplicação dos materiais magnéticos, cabe citar que se encontra relacionada às características de cada material. No caso dos materiais macios, adota-se em funções de corrente contínua, possibilitando as induções de saturação e campos coercivos elevados; bem como em correntes alternadas, necessitando de alta permeabilidade e baixas perdas mediante histerese ou correntes de Foucault (PINHO, 2009).

Este material tem uma coercividade de 80 A/m e uma remanescência de 1 T. Através do ciclo histerético do ferro comercial, representado na figura 3.1, é possível constatar que para campos aplicados superiores a 1 kA/m a indução magnética cresce a um ritmo mais lento, e a magnetização de saturação atinge valores na ordem dos 2 T para campos magnéticos superiores a 20 kA/m. A sua baixa resistividade elétrica, de $10.7 \mu\Omega \text{ cm}$, é uma vantagem para aplicações em altas frequências por causa de correntes induzidas, causadoras de perdas por correntes de Foucault. As perdas histeréticas variam entre 700 e 4000 erg/cm³, consoante a frequência, para induções de 1 T (PINHO, 2009, p. 17).

A maioria dos materiais possuem baixo magnetismo, sendo que seu potencial magnético é obtido a partir da sua inserção em um campo magnético externo, gerando diferentes interações e alinhamentos de acordo com os seus momentos magnéticos (COSTA, 2015).

Cavassa (2013, p. 01) conceitua Ferro como:

[...] Elemento químico de número atômico 26, 4º período e grupo 8 da tabela periódica, metal de transição cujos principais estados de oxidação são +2 e +3. Na natureza é possível encontrar os isótopos 54, 56, 57 e 58, sendo o isótopo 56 encontrado majoritariamente, apresentando massa atômica de aproximadamente 55,85 u.m.a.

Este material é um dos oito elementos químicos mais abundantes que compõem a crosta terrestre. O íon ferro é o que se encontra em maior proporção. O ferro metálico (Fe^0) é raramente encontrado na natureza, pois são vistos apenas em determinados tipos de meteoritos que caem na Terra e são provenientes de outros locais do sistema solar. Em sua forma iônica oxidada, pode ser encontrado combinado a outros tipos de minerais (CAVASSA, 2013). Neste contexto, o Ferro (Fe) é citado como um material ferromagnético, cujo campo de magnetização se mantém quando o campo aplicado é removido (GRAÇA, 2018). Os materiais ferromagnéticos apresentam momentos de dipolos magnéticos permanentes capazes de interagirem entre si, promovendo o alinhamento paralelo. Sua magnetização é espontânea na ausência de campo externo. Na presença de campo externo, os momentos de dipolos magnéticos permanecem alinhados na direção e sentido do campo (COSTA, 2015).

A máxima magnetização deste tipo de material denominada de magnetização de saturação (M_s) é obtida em razão do alinhamento de todos os dipolos magnéticos em relação ao campo magnético aplicado. Já, a temperatura crítica chamada de temperatura de Curie (T_c), é observada quando este alinhamento é destruindo, fazendo com que o material se comporte como paramagnético. De modo geral, os materiais como o Ferro apresentam valores altos e positivos de susceptibilidade magnética (COSTA, 2015).

Segundo Oliveira (2012, p. 271):

À temperatura ambiente, eles exibem uma imantação natural, ou magnetização espontânea, e por isso são utilizados como ímãs permanentes. Se aquecidos, entretanto, esses materiais perdem a imantação natural a uma determinada temperatura, denominada temperatura crítica T_c , ou temperatura de Curie, tornando-se paramagnéticos. O ferro perde a imantação natural a 770 °C, o cobalto, a 1122 °C e o níquel, a 358 °C. Muitos compostos dos metais do grupo do ferro, como por exemplo, o MnSb, o CrTe e o CrO₂, também são ferromagnéticos à temperatura ambiente.

Oliveira (2012) afirma ainda que do ponto de vista microscópico, os materiais magnéticos devem ser entendidos como um enorme conjunto de dipolos magnéticos microscópicos que podem ser encontrados nos íons magnéticos que atuam como metais de transição, especialmente os do grupo do ferro. Existem variados ordenamentos magnéticos em decorrência das interações entre os dipolos, que podem não ser propriamente magnéticas. No ferro, as interações entre os dipolos acarretam o alinhamento paralelo.

Como exemplo, Aquino (2018, p. 117) cita que:

[...] uma liga de ferro com 3 % de silício possui uma permeabilidade relativa μ_r máxima de 55000. Salientemos que a permeabilidade desses materiais não é constante, sendo, pois, função da intensidade do campo magnético aplicado, e do estado magnético anterior apresentado pelo material.

O autor descreve ainda que em campos magnéticos estáticos, o ferro aumenta o efeito magnético de uma corrente elétrica ao redor dele. Ex: “o campo magnético no centro de um solenoide quando enrolado em torno de uma pequena barra de ferro é muito maior do que aquele com o mesmo solenoide envolto em um núcleo de ar” (AQUINO, 2018, p. 113).

O Ferro é citado como um material que possui baixa resistividade e alta permeabilidade, mantendo valores elevados de indução, cujas aplicações mais relevantes são em corrente contínua, que necessitam de induções elevadas quando inseridos em campos magnéticos baixos. É usado em carcaça e peças polares de máquinas elétricas; rotores de geradores elétricos e embraiagens eletromagnéticas (PINHO, 2009).

Grande parte do Ferro é obtida através do mineral ferro. Sua pureza é bastante alta, sendo constituído apenas por 0,1% de carbono, que pode estar sob a forma de barra ou chapa, sendo empregado vastamente pela indústria elétrica. Também está disponibilizado sob a forma de pó, onde cada partícula é revestida por uma capa de elemento isolante (PINHO, 2009).

Conforme relata Aquino (2018) todos os meios materiais possuem algum efeito magnético. Alguns deles apresentam efeito tão fraco que são reconhecidos na literatura como não magnéticos. No entanto, o autor relata que o único meio não magnético abrange o elemento desprovido de matéria, cuja permeabilidade relativa no vácuo ou espaço livre é igual a 1.

Por sua vez, o cobre:

[...] é um elemento metálico com número atômico 29 e peso atômico de 63,57. O seu símbolo químico é Cu, e suas valências são +1 e +2. Não é magnético e pode ser utilizado puro ou em ligas com outros metais que lhe conferem excelentes propriedades químicas e físicas (BARBOSA, 2018, p. 01).

Em seu estado puro, é um metal de transição com densidade de 8,96 g/cm³, sendo mais pesado do que o ferro e muito mais denso do que quando comparado com o alumínio. Seu ponto de fusão é menor do que o do ferro e mais elevado do que o do alumínio. Cabe enfatizar que sua propriedade física mais importante é sua capacidade de condutibilidade elétrica, mantida como referência e determinada como sendo 100% pelo International Annealed Copper Standard – IACS.

Assim:

[...] uma vez que o cobre puro, no estado recozido, tem uma resistividade elétrica de apenas 0,15328 ohm.g/m² a 20 °C. Esse valor é bem mais alto do que o do alumínio comercialmente puro no mesmo estado e incomparavelmente mais alto do que o ferro puro no mesmo estado. Dentre os metais conhecidos, somente a prata poderia superar a condutibilidade elétrica do cobre, porém seu elevado custo comercial inviabiliza seu uso industrial na mesma escala em que o cobre é atualmente usado (BARBOSA, 2018, p. 04).

Para ser tido como cobre puro, o material deve ser composto por 99,3% ou mais de elemento cobre, abrangendo o teor de prata do minério, ao qual não se pode ter nenhuma adição de outro elemento, exceto aquele que tenha sido obtido mediante processos de desoxidação. Em seu estado sólido, a solubilidade do oxigênio no cobre é relativamente muito baixa, podendo ser citada como praticamente nula, pois todo o oxigênio é encontrado na fase óxido (MEDEIROS, 2010).

Os cobs ligados são denominados de ligas que apresentam baixo teor de outros elementos, onde os elementos que são ligados ao cobre não ultrapassam a 1%. Quando usados elementos ligantes como o cádmio e cromo, é possível aumentar a resistência do cobre sem reduzir muito sua capacidade de condutividade elétrica. Tratamentos térmicos podem ser recomendados para elevar a resistência mecânica dos cobs ligados.

É um material diamagnético, que quando exposto a um campo magnético externo, há a mútua repulsão onde a densidade do fluxo é reduzida e os momentos magnéticos permanecem alinhados em oposição ao campo externo (GRAÇA, 2018). O Cobre possui permeabilidade relativa ligeiramente inferior a 1, $\mu_r = 0.999991$). Embora

quando puro é não magnético, pode ser utilizado com outros metais sob a forma de ligas, o que garante excelentes propriedades químicas e físicas (PROCOBRE, 2018).

O ferro pode ser utilizado para a formação de ligas de cobre não podendo ultrapassar o teor de 2,5%.

Quando presente no bronze de manganês (Cu-Mn) ou nas ligas Cu-Al e Cu-Si, em teores não muito altos, favorece o refino de grão e aumenta a resistência mecânica. Também em pequenos teores aumenta a resistência à corrosão do cuproníquel em águas marinhas. Está presente como impureza em todas as ligas de cobre e quando a contaminação do latão alfa é excessiva, além do limite usual de 0,05 %, esse efeito no tamanho de grão pode afetar o efeito desejado para os tratamentos térmicos, além de afetar a susceptibilidade magnética das ligas de cobre, normalmente não magnéticas, quando o teor de ferro é excessivo (BARBOSA, 2018, p. 29).

Com relação às suas propriedades no geral, pode-se afirmar que o cobre possui excelente condutibilidade elétrica e térmica; resistência à corrosão; possibilita a formação de ligas que alcançam resistências elevadas; custo inferior ao aço. 70 a 80% de seu uso ocorre a partir de seu estado puro, sendo destinado principalmente para a coloração atrativa no âmbito da arquitetura, decoração e joalheria; na indústria naval devido a sua boa resistência à corrosão; e em variadas indústrias.

Ressalta-se também que o cobre possui excelente maleabilidade, indispensáveis para os processos de dobra, redobra, encaixe e fabricação de estruturas com formatos variados como chapas ou faixas que são utilizadas em coberturas e telhados que adotam este metal (PROCOBRE, 2018).

Com relação às suas características de resistência à tração, alongamento e dureza, respeita-se os requisitos a seguir:

Quadro 1 – Características de resistência à tração, alongamento e Dureza

Estado	Resistência à tração min. kgf/mm ²	Alongamento	Dureza em 2" (%) (RF)
Recozido	20 - 25	45	65 máx.
1/4 Duro	24 - 30	25	60 - 84
1/2 Duro	26 - 32	14	77 - 89
Duro	30 - 36	6	86 - 93

Fonte: PROCOBRE (2018)

Segundo Medeiros et al (2012, p. 161):

O cobre é um metal dúctil, maleável, de coloração avermelhada, cuja configuração eletrônica é [Ar]3d104s1. Quando combinado com outros elementos, apresenta número de oxidação +1 (CuCl), +2 (CuCl₂) e +3 (K₃CuF₆). Os estados de oxidação +1 e +2 podem ser encontrados em solução aquosa, embora haja uma tendência do íon cobre +1 passar para +2 (reação de desproporcionamento). O estado de oxidação +2 é o mais comum, e o +3 é bastante raro, ocorrendo em apenas alguns poucos compostos que geralmente são fortes agentes oxidantes.

Os autores descrevem ainda que no geral, os sais de cobre +1 são insolúveis, diamagnéticos e possuem coloração branca, enquanto os de cobre +2 podem apresentar solubilidade, sendo paramagnéticos e coloridos. O cobre não sofre oxidação por íons de hidrogênio em condição padrão, permitindo seu uso em ornamentos. Em temperaturas mais elevadas reage com oxigênio, originando o óxido de cobre +1 e +2.

Medeiros et al (2012) relatam que os supercondutores de elevadas temperaturas como o cobre metálico é vastamente utilizado e se encontra em alta no mercado. Isto ocorre em razão de ser um dos melhores condutores elétricos e térmicos; ser altamente flexível; muito resistente à corrosão e ser bastante acessível.

As principais diferenças entre o Ferro e Cobre com relação às suas propriedades físicas e químicas mais relevantes podem ser observadas abaixo:

Quadro 2 – Comparativo entre propriedades físicas e químicas do Ferro e do Cobre

	Ferro	Cobre
Apresentação		
Estado físico	Sólido	Sólido
Estrutura cristalina	Cúbica de corpo centrado	Cúbica de face centrada
Densidade do sólido	7.874 g/cm ³	8,96 g/cm ³
Ponto de fusão	1538 °C	1083°C
Ponto de ebulição	2861 °C	2595°C
Condutividade térmica	80.1 W. m ⁻¹ .K ⁻¹	400 W/m.K
Capacidade calorífica	0,449 J/g.K	0,385 J/g.K
Eletronegatividade	1,83	1,95
Comportamento magnético	Ferromagnético	Diamagnético

Fonte: Disponível em: <<http://e-escola.tecnico.ulisboa.pt/topico.asp?id=466&ordem=2>> e <<http://www.ifba.edu.br/metalografia/arq/cobre.pdf>>

3. CONCLUSÃO

A capacidade magnética de cada material depende de seu contato com um campo magnético externo, gerando diferentes interações e alinhamentos de acordo com os seus momentos magnéticos. Enquanto o ferro é citado como um material ferromagnético, onde os momentos de dipolos magnéticos permanecem alinhados na direção e sentido do campo; o cobre é um material diamagnético, havendo a repulsão quando exposto a um campo magnético externo, tendo a densidade do fluxo reduzida e os momentos magnéticos permanecem alinhados em oposição ao campo externo.

Considerando o efeito magnético dos materiais analisados, ferro e cobre, conclui-se que o ferro é um bom condutor de fluxo magnético, ao contrário do cobre, possibilitando a criação de intensos campos magnéticos ao redor dele, bem como a manipulação e orientação por onde se desejar.

Quanto às principais aplicações, o ferro é usado em carcaça e peças polares de máquinas elétricas; rotores de geradores elétricos e embraiagens eletromagnéticas; enquanto o cobre é adotado como coloração atrativa no âmbito da arquitetura, decoração e joalheria; na indústria naval devido a sua boa resistência à corrosão; e em variadas indústrias.

REFERÊNCIAS

- 1 AQUINO, C. V. Teoria eletrônica da magnetização (2018) Disponível em: <http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/aquino/eletromag_I/eletromagI_teorica/cap13.pdf> Acesso em: 30 de jun; 2018
- 2 BARBOSA, C. Cobre (2018) Disponível em: <<http://www.jorgestreet.com.br/arquivos/professores/neris/cobre.pdf>> Acesso em: 01 de jun. 2018
- 3 CAVASSA, A. S. P. Ferro – Da explosão de supernovas ao aço e hemoglobina (2013) Disponível em: <<http://www.gpquae.iqm.unicamp.br/PIBIDtextFerro2013.pdf>> Acesso em: 30 de jun. 2018
- 4 COSTA, A. C. S. Estudo das propriedades estruturais e magnéticas de nanoferritas de magnésio dopadas com níquel e cobre (2015) Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21540/1/AntonioCarlosSilvaDaCosta_TESE.pdf> Acesso em: 29 de jun. 2018



- 5 CRUZ, J. A. L. Propriedades magnéticas das substâncias (2007) Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59135/tde-11092007.../TeseJuanParte2.pdf> Acesso em: 25 de jun. 2018
- 6 GRAÇA, C. Aula 9-1: materiais magnéticos (2018) Disponível em: <http://coral.ufsm.br/cograca/graca9_1.pdf> Acesso em: 27 de jun. 2018