



UEPB

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPUS VII

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS

CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA - CCEA

MARIA VITORIA LEITE FERNANDES

CARACTERÍSTICAS DO FERROMAGNETISMO

**Patos
2023**

MARIA VITORIA LEITE FERNANDES

CARACTERÍSTICAS DO FERROMAGNETISMO

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Licenciada em Física.

Área de Concentração: Divulgação da Ciência

Orientador: Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Junior.

**Patos
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F363c Fernandes, Maria Vitoria Leite.
Características do ferromagnetismo [manuscrito] / Maria Vitoria Leite Fernandes. - 2023.
34 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Junior, Coordenação do Curso de Física - CCEA. "

1. Magnetismo. 2. Propriedades magnéticas dos materiais.
3. Curva de Histerese. I. Título

21. ed. CDD 538

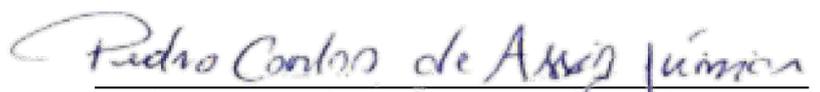
MARIA VITORIA LEITE FERNANDES

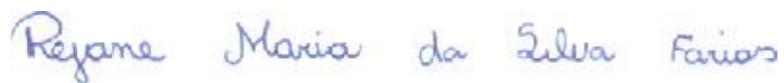
Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Licenciada em Física.

Área de Concentração: Divulgação da Ciência

Aprovada em: 30/ 10/ 2023

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Ms. Rejane Maria da Silva Farias
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dra. Gabriela Coutinho Luna
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre estar presente na minha vida me guiando e dando forças para continuar e concluir essa etapa na minha vida. Cujas presença constante em minha vida foi a bússola que me guiou e a fonte inesgotável de força que me ajudou a superar cada desafio e concluir esta etapa significativa.

A minha família, principalmente à minha avó, que nunca desistiu de mim e sempre me encorajou a buscar meus sonhos, acreditando no meu potencial, sua incansável confiança em mim e encorajamento constante foram a luz que iluminou meu caminho, inspirando-me a perseguir meus sonhos e acreditar no meu próprio potencial.

Ao meu professor e orientador Pedro Carlos de Assis Junior, que sempre me ajudou durante a fase acadêmica, sempre paciente e disponível me guiando nas direções certas para um melhor ensino. Sua paciência, disponibilidade e orientação foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico.

Dedico também este trabalho aos funcionários da UEPB que sempre foram calorosos, me fazendo sentir acolhida em qualquer situação.

RESUMO

Neste sentido, presente trabalho tem por objetivo geral investigar o comportamento da magnetização em materiais ferromagnéticos, por meio de uma abordagem exploratória e bibliográfica. Além disto, elencou-se os seguintes objetivos específicos: Discutir sobre as características fundamentais do magnetismo, com foco nas propriedades do ímã, campo magnético e permeabilidade magnética; Apresentar os diferentes comportamentos magnéticos em materiais, abrangendo materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos; Abordar sobre a curva de histerese em materiais ferromagnéticos, explorando seus aspectos físicos e implicações práticas e, por último, evidenciar os valores de campo coercitivo e campo residual na curva de histerese magnética. Quanto a metodologia, esta se caracteriza como sendo do tipo qualitativa bibliográfica. Como resultado de nosso trabalho observamos como esses elementos, na maioria das vezes, passam despercebidos na rotina dos alunos do curso de graduação (licenciatura) em Física, esta revisão ressaltará os tipos existentes para cada classe, sendo o material ferromagnético o melhor em termos da magnetização remanescente, possibilitando a existência de uma curva de histerese magnética. Os materiais ferromagnéticos têm muitos usos, como discos rígidos de computador, motores de automóveis, geradores e muitos outros dispositivos eletrônicos. Sendo assim, partimos do princípio de que esta disciplina é ensinada rapidamente, estando inserida em outras disciplinas da ementa do curso de Física Geral IV, fazendo com que os alunos, na maioria das vezes não sejam levados a sua total compreensão.

Palavras-Chave: Propriedades Magnéticas dos Materiais; Magnetismo; Curva de Histerese.

ABSTRACT

In this sense, the general objective of this work is to investigate the behavior of magnetization in ferromagnetic materials, through an exploratory and bibliographical approach. In addition, the following specific objectives were listed: Discuss the fundamental characteristics of magnetism, focusing on the properties of the magnet, magnetic field and magnetic permeability; Present the different magnetic behaviors in materials, covering diamagnetic, paramagnetic and ferromagnetic materials; Discuss the hysteresis curve in ferromagnetic materials, exploring its physical aspects and practical implications and, finally, highlighting the values of coercive field and residual field in the magnetic hysteresis curve. As for the methodology, it is characterized as being of a qualitative bibliographic type. As a result of our work, we observed how these elements, most of the time, go unnoticed in the routine of undergraduate students in Physics. This review will highlight the types that exist for each class, with ferromagnetic material being the best in terms of remanent magnetization, enabling the existence of a magnetic hysteresis curve. Ferromagnetic materials have many uses, such as computer hard drives, car engines, generators, and many other electronic devices. Therefore, we assume that this subject is taught quickly, being included in other subjects on the syllabus of the General Physics IV course, meaning that students, in most cases, are not led to its full understanding.

Keywords: Magnetic Properties of Materials; Magnetism; Hysteresis Curve.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação semiclássica dos momentos magnéticos atômicos associados ao (a) momento orbital e (b) momento de spin eletrônico.....	14
Figura 2 - Representação das linhas de campo magnético	15
Figura 3 – Posição dos polos do campo magnético da Terra com relação aos polos geográficos.....	15
Figura 4 - Dipolos em um material diamagnético.....	19
Figura 5 - Dipolos em um material ferromagnético	21
Figura 6 - Alinhamento dos dipolos magnéticos	22
Figura 7 - Representação do comportamento de B em função de H para um material ferromagnético ou ferrimagnético (CALLISTER, 2007).....	23
Figura 8 - Ponto Curie para materiais ferromagnéticos	24
Figura 9: Curva de histerese (indução magnética, B , versus campo aplicado)	25
Figura 10 - ciclo de histerese comparando um material magnético duro com um material magnético mole.....	26
Figura 11 - Sensor magnético	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ba	Bário
FeO	Fórmula do composto químico de óxido de ferro (II)
SrCO ₃	Fórmula do carbonato de estrôncio
Zn	Zinco
Cu	Cobre
Ag	Prata
Sn	Estanho
Al	Alumínio
Mg	Magnésio
CuSO ₄	Sulfato de cobre
Ni	Níquel
Fe	Ferro
Co	Cobalto
Sm	Samário

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Permeabilidade magnética
μ_r	Permeabilidade magnética relativa
μ_0	Permeabilidade magnética no vácuo
χ_m	Suscetibilidade magnética
T_c	Temperatura de Curie
μ_i	Permeabilidade inicial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
3 EMBASAMENTO TEÓRICO	12
3.1 O MAGNETISMO E SUAS DESCOBERTAS.....	12
3.2 PROPRIEDADES DO ÍMÃ.....	14
3.3 CAMPO MAGNÉTICO	16
3.4 PERMEABILIDADE MAGNÉTICA.....	17
3.5 COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DOS MATERIAIS	17
3.6 MATERIAIS DIAMAGNÉTICOS.....	18
3.7 MATERIAIS PARAMAGNÉTICOS.....	20
3.8 MATERIAIS FERROMAGNÉTICOS.....	21
3.9 TEMPERATURA DE CURIE.....	24
3.10 CURVA DE HISTERESE EM MATERIAL FERROMAGNÉTICO.....	24
4 METODOLOGIA	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6 CONCLUSÃO.....	31

1 INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência que o objeto de estudo é o universo, sua evolução, transformações e interações que nele ocorrem. Visto que as Ciências Naturais contribuem para a formação de uma cultura científica por meio da interpretação de fatos ou fenômenos estas devem interessar o aluno como forma de melhor compreender o mundo que o cerca (CARPENEDO E BASTOS, 2014).

Perante isso, torna-se fundamental compreender que além de uma disciplina unificada, a Física é mobilizada através da curiosidade, do entendimento do universo, delineando também o seu escopo de estudo para além dos limites terrestres, abrangendo o vasto universo e suas dinâmicas.

Nessa perspectiva, uma disciplina que não apenas desvende os mecanismos intrínsecos do cosmos, mas também desafia os estudantes a desenvolverem uma avaliação mais profunda e abrangente do mundo que os rodeia, mas visa fornecer aos alunos as ferramentas conceituais possíveis para decifrar e interpretar a complexidade do universo e suas interações.

Ante todo o exposto, a presente pesquisa se justifica pela importância prática dos materiais ferromagnéticos na tecnologia contemporânea, bem como pela sua ligação intrínseca com os princípios fundamentais da física. Ao investigar as propriedades magnéticas desses materiais, busca-se não apenas compreender o entendimento teórico sobre o comportamento magnético, mas também contribuir para a formação de uma base sólida de conhecimento para futuros professores.

Além disso, a pesquisa visa promover a aplicação de conceitos teóricos em experimentos práticos, enriquecendo a experiência de aprendizagem dos alunos e incentivando o desenvolvimento de habilidades investigativas no campo da física.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o comportamento da magnetização em materiais ferromagnéticos, por meio de uma abordagem exploratória e bibliográfica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1) Discutir sobre as características fundamentais do magnetismo, com foco nas propriedades do ímã, campo magnético e permeabilidade magnética;
- 2) Apresentar os diferentes comportamentos magnéticos em materiais, abrangendo materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos;
- 3) Abordar sobre a curva de histerese em materiais ferromagnéticos, explorando seus aspectos físicos e implicações práticas;
- 4) Evidenciar os valores de campo coercitivo e campo residual na curva de histerese magnética.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 O MAGNETISMO E SUAS DESCOBERTAS

O magnetismo é um ramo da Física que busca as origens e consequências dos fenômenos magnéticos, como forças e campos magnéticos como base. Esse fenômeno pode existir em algumas substâncias para interagir e afetar outras por meio de atração e repulsão. Ambos, os ímãs naturais e artificiais, são exemplos típicos de materiais com propriedades magnéticas.

Algumas literaturas contam que esta pedra foi descoberta por um pastor chamado Magnes, o mesmo disse que ela tinha propriedades divinas. Em homenagem ao nome desse pastor, a pedra recebeu o nome de Magnetita. Por outro lado, outros relatos refutam essa informação e dizem que, de fato, a primeira descoberta dessa substância foi feita em uma região da Turquia conhecida como Magnésia (BARUM, 2019).

Segundo Bassalo (1994), o magnetismo é conhecido desde as civilizações antigas. Tales de Mileto, na Grécia, já conhecia os poderes atrativos e repulsivos das pedras contendo óxido de ferro.

No estudo da Física o magnetismo é um fenômeno de interação entre materiais magnéticos, podendo gerar atração e repulsão entre si. Cada substância é feita por pequenas unidades chamados átomos e que possuem elétrons, partículas que carregam cargas elétricas e movimentam-se ao redor do núcleo. Seus movimentos geram uma corrente elétrica, fazendo com que se comporte como ímãs microscópicos (HALLIDAY, 2016).

Também há relatos da utilização de agulhas de magnetita na China antiga. Essa agulha ajudou a criar a primeira bússola e usou um importante fenômeno físico, a indução magnética, para sua construção. Isto é, magnetiza materiais que não são magnetizados por outros materiais magnéticos (NUSSENZWEIG, 2002). Segundo explica Barum (2019), a bússola foi a primeira aplicação prática do magnetismo originalmente usada pelos chineses e árabes. Seu trabalho é baseado na interação de campos magnéticos criados por ímãs com o campo magnético da Terra.

Neste sentido, observa-se que este processo, capaz de magnetizar materiais inicialmente não magnéticos, ampliou consideravelmente nossa compreensão e

exploração prática do magnetismo ao longo da história. A influência da força magnética transcende a mera curiosidade científica, deixando uma marca indelével em nossa capacidade de navegar e compreender as propriedades magnéticas fundamentais dos materiais ao nosso redor.

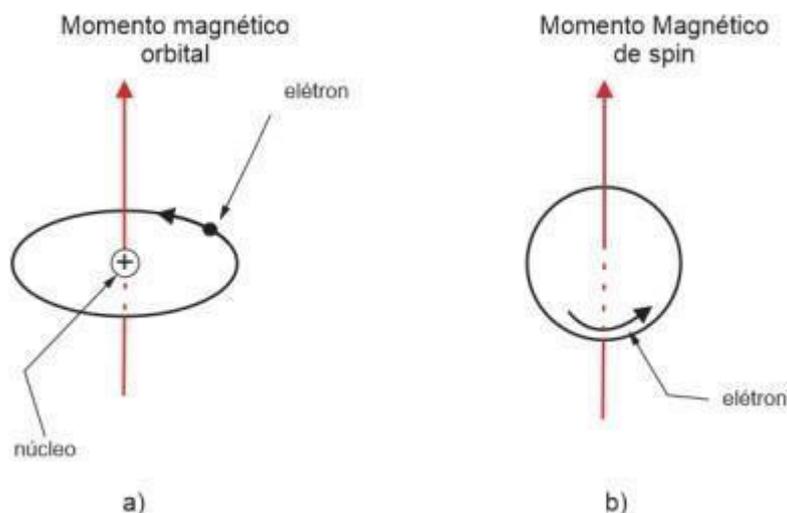
Mais tarde, descobriu-se que outras substâncias também podiam atrair pedaços de ferro, e a propriedade dessas substâncias foi chamada de magnetismo. No entanto, graças ao trabalho do inglês William Gilbert, somente em 1600 a humanidade teve um conceito sistemático de eletricidade e magnetismo. Sabe-se hoje que a magnetita, também chamada de ímã (ímã natural), é uma das pequenas pedras encontradas na natureza (BARROS E BARRRETO, 2017).

No século 16, William Gilbert demonstrou que outras substâncias além do âmbar tinham a mesma propriedade de atrair objetos quando friccionados. Ele também descobriu o comportamento da agulha de uma bússola e conseguiu identificar a diferença entre atração magnética e elétrica. Ele descobriu a eletrificação por indução, que ocorre principalmente em materiais metálicos. Ele também foi o primeiro a caracterizar a diferença entre condutores e isolantes. Já na primeira metade do século XVIII, Stephen Gray realizava trabalhos que levaram à descoberta da possibilidade de transmissão da eletricidade obtida pela fricção do vidro a outros objetos (BARUM, 2019).

Átomos de matéria se comportam como minúsculos ímãs por causa dos dipolos magnéticos que surgem entre o momento angular orbital e o momento angular rotacional. Se você colocar um pedaço de ferro em uma das extremidades de um ímã natural, ele será atraído por ele. Mesmo se você puxar as duas extremidades de um ímã, elas terão propriedades magnéticas opostas. Isso pode ser facilmente verificado juntando duas barras magnéticas. Se as duas extremidades forem atraídas uma pela outra e você girar uma extremidade para aproximar os ímãs, verá que as duas extremidades que estão próximas uma da outra agora se repelem.

O momento angular orbital está relacionado ao movimento dos elétrons ao redor do núcleo e estuda a relação entre esse movimento e a distância do núcleo. O momento angular de rotação é o que faz com que o magnetismo apareça na matéria. Em outras palavras, o momento angular magnético é igual ao momento orbital, sendo assim, responsáveis pelas propriedades magnéticas da matéria. Na figura 1 podemos ver a representação de tais momentos.

Figura 1 - Representação semiclássica dos momentos magnéticos atômicos associados ao (a) momento orbital e (b) momento de spin eletrônico.



Fonte: Padilha (2000)

O spin, assim como massa e a carga, é uma propriedade intrínseca das partículas quânticas, mas não tem análogos na física clássica.

Portanto, o magnetismo, o fenômeno da matéria atraindo, repelindo ou influenciando outra matéria, já é conhecido. No entanto, os princípios e mecanismos que explicam os fenômenos magnéticos são complexos e sutis, e sua compreensão ainda aguça a curiosidade dos cientistas. A importância dessa descoberta transcende a curiosidade inicial, permeando inúmeras áreas da ciência e da vida cotidiana. O magnetismo desempenha um papel crucial em características naturais e em aplicações tecnológicas modernas. Seus aspectos físicos, como a atração e repulsão entre objetos magnéticos, formam a base para a compreensão de campos magnéticos e suas influências.

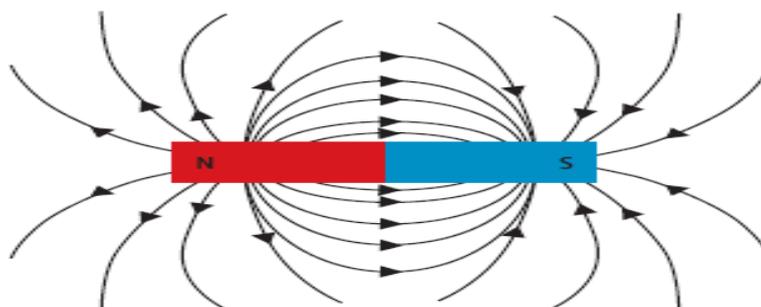
Além disso, a descoberta do magnetismo teve implicações significativas na navegação marítima, levando ao desenvolvimento da bússola. Esse instrumento revolucionou a exploração e o comércio, proporcionando aos navegadores uma ferramenta confiável para orientação.

3.2 PROPRIEDADES DO ÍMÃ

Os ímãs consistem em corpos capazes de atrair objetos que contêm alguns metais, além de atrair ou repelir outros ímãs. Existem ímãs naturais compostos por alguns materiais como magnetita, e ímãs artificiais, cujas propriedades magnéticas podem ser tanto transitórias quanto permanentes. Os ímãs artificiais são feitos de materiais ferromagnéticos com o ferro, níquel e cobalto, ou ligas metálicas.

Um ímã tem dois polos, um polo Norte e um polo Sul. Se houver dois ímãs adjacentes, os polos com o mesmo nome se repelem e os polos com nomes diferentes se atraem. Um ímã consiste em dois polos magnéticos localizados nas extremidades onde as linhas de condução magnética divergem e convergem, e esses polos são chamados de polos N e S do campo magnético, ou simplesmente dipolos magnéticos.

Figura 2 - Representação das linhas de campo magnético



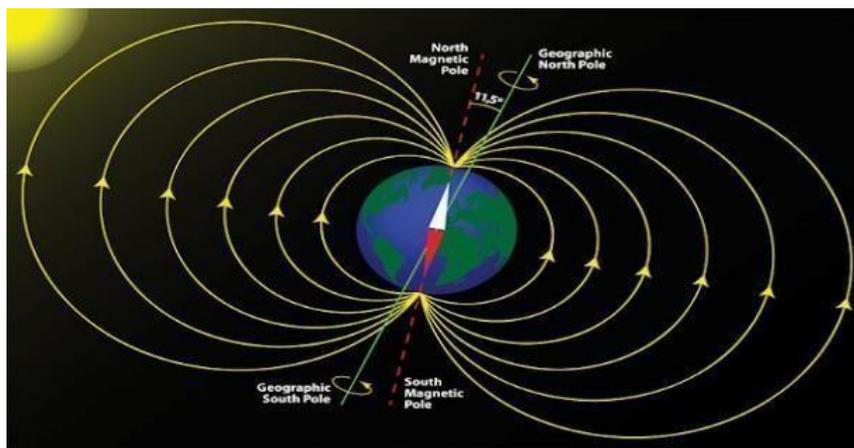
Fonte: Oliveira (2019)¹.

Aqui, o Norte atrai o Sul, o Norte empurra o Norte e o Sul empurra o Sul. Quando um ímã é cortado ao meio, ele se polariza espontaneamente. Ou seja, ambas as partes terão um polo norte e um polo sul, isso explica a não inseparabilidade dos polos.

O planeta Terra também possui dipolos magnéticos que agem como ímãs gigantes. Aqui, há uma inversão entre os polos magnético e geográfico, pois o polo norte magnético está próximo do polo sul geográfico e o polo sul está próximo do polo norte geográfico. O campo magnético que envolve a Terra funciona como um escudo contra a radiação solar. A figura a seguir mostra os polos geográficos.

Figura 3 – Posição dos polos do campo magnético da Terra com relação aos polos geográficos

¹ Gabriela de Oliveira. PrePara ENEM. 2019. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em 15, jun. 2023.



Fonte: Galeria de Meteorito (2018)².

3.3 CAMPO MAGNÉTICO

Um fenômeno físico de natureza abstrata relacionado à atração ou repulsão de um determinado material é chamado de campo magnético. Alguns deles são puramente magnéticos devido ao seu campo espontâneo, então eles criam um campo magnético mesmo que não haja correntes macroscópicas por perto. (SANTOS ET AL., 2016)

A área do espaço ao redor de um ímã, ou condutor, através da qual uma corrente de campo magnético flui muda suas propriedades magnéticas, resultando em um fenômeno magnético. Portanto, diz-se que existe um campo magnético nesta região. (BARUM, 2019).

O campo magnético é um campo vetorial. Ou seja, ele tem magnitude, direção e sentido. Combinados, formam linhas de força que existem em torno de uma corrente ou condutor passando pelos polos de um ímã, e essas linhas sempre saem do polo norte e entram no polo sul. A força de um campo magnético é determinada por um vetor (H) e possui unidades de ampères por metro (A/m).

Um campo magnético também pode ser usado para calcular o valor da densidade de fluxo magnético (B). É o número de linhas de campo por unidade de área e possui unidades de medida em Tesla[T]. A relação entre essas duas quantidades pode ser calculada usando a Equação 1:

² Galeria de Meteorito (2018). Disponível em: <https://www.galeriadometeorito.com/2018/05/quais-planetes-do-sistema-solar-tem-campo-magnetico.html>. Acesso em 15, jun. 2023.

$$B = \mu \cdot H$$

Sendo B a densidade do fluxo magnético [T], μ a permeabilidade magnética [H/m] e H o campo magnético [A/m].

3.4 PERMEABILIDADE MAGNÉTICA

Podemos dizer também que o magnetismo é um fenômeno elétrico associado a cargas elétricas em movimento que tem sua origem em uma estrutura atômica que se comporta como um dipolo magnético natural e pode ser considerada um pequeno ímã. (SANTOS ET AL., 2016).

Segundo Pinho (2009) a permeabilidade é o parâmetro mais importante para materiais magnéticos macios porque descreve a quantidade de indução magnética criada pelo material quando exposto a um campo magnético específico.

A permeabilidade é uma propriedade que descreve a rapidez com que um material conduz o fluxo magnético. Quanto maior a permeabilidade magnética do meio, maior o efeito da magnetização. Em outras palavras, a influência da densidade do campo magnético induzido no material torna-se maior. No entanto, a permeabilidade magnética dos ferromagnetos não é constante e seu valor depende da intensidade do campo magnético que o material experimenta, conforme mostrado na seguinte Equação 2:

$$\mu = \mu_r \times \mu_0$$

3.5 COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DOS MATERIAIS

O comportamento da matéria em um campo magnético externo é determinado pela natureza da origem dos dipolos magnéticos e pela interação entre eles. Os dipolos magnéticos surgem do momento angular dos elétrons em íons ou átomos que formam a matéria, esse momento tem uma natureza quântica (RODRIGES, 1997, REZENDE 1996).

Para Young; Freedman, (2009) um fenômeno físico chamado magnetismo ocorre quando uma substância induz outra sem a necessidade de contato. Tais

fenômenos têm aplicações em muitos campos da engenharia elétrica, principalmente em máquinas elétricas e eletrônica de potência.

Simplificando, mesmo em materiais que não são inicialmente magnetizados, o magnetismo pode ser detectado pela ação de ímãs permanentes quando os objetos são atraídos ou repelidos. Este campo magnético pode ser gerado por corrente elétrica ou ímãs permanentes (YOUNG; FREEDMAN, 2009)

Por natureza, os materiais respondem de maneira diferente aos campos magnéticos externos, podendo ser divididos em três classes principais, diamagnético, paramagnético e ferromagnéticos (HOLANDA ET AL., 2020)

A suscetibilidade magnética (χ_m), ou seja, a facilidade com que um material se torna magnetizado na presença de um campo magnético, pode distinguir o comportamento magnético. A partir de agora veremos como esses materiais se comportam bem como a histerese ferromagnética com a influência de um ímã permanente.

3.6 MATERIAIS DIAMAGNÉTICOS

O diamagnetismo está relacionado à contribuição magnética associada ao movimento orbital dos elétrons ao redor do núcleo e, portanto, está intimamente relacionado à tendência natural de resistir à penetração de um campo magnético em um circuito fechado. Essa resposta magnética é representada por sólidos simples que consistem em íons com todas as camadas eletrônicas preenchidas (como no caso dos haletos alcalinos) e por elementos da série dos gases nobres cujo momento orbital e angular de spin são zero no estado fundamental (HOLANDA ET AL. 2020)

Um diamagneto é um material que, quando colocado em um campo magnético externo, produz um momento magnético na direção oposta ao campo magnético aplicado, devido a uma mudança no movimento orbital dos elétrons. Este momento tem um valor muito pequeno e desaparece assim que o campo magnético externo é removido. Este tipo de magnetismo está presente em todas as substâncias, mas só pode ser visto na ausência de outros tipos de magnetismo. Exemplos de materiais que exibem esse comportamento são mercúrio, ouro, chumbo e prata. (HALLIDAY, 2016)

Quando o momento magnético de um átomo não é totalmente compensado, resulta em um dipolo magnético. Em materiais paramagnéticos, esses momentos são orientados aleatoriamente para que o material não tenha momento magnético líquido.

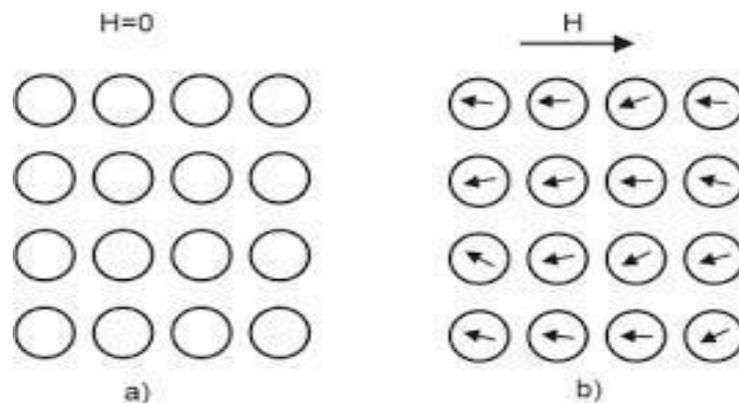
No entanto, na presença de um campo magnético externo, esses dipolos giram e se alinham com o campo magnético externo. Estes são objetos que são fracamente atraídos por ímãs, como alumínio, sódio, magnésio e cálcio (CALITER E WILLIAM, 2008)

Um diamagneto com um ímã permanente com permeabilidade magnética inferior a 1 experimenta uma orientação fraca do dipolo na direção oposta ao campo externo. Isso ocorre porque ele não é atraído pelo ímã, mas repellido fracamente, criando outro campo magnético.

Portanto, o campo magnético presente no interior do material é ligeiramente menor que o campo magnético externo e perde sua força magnética na ausência de um campo magnético aplicado, e a suscetibilidade magnética é negativa e independe da temperatura.

Dentre os materiais diamagnéticos pode-se citar Zinco, Cobre, Prata e Estanho. O arranjo dos dipolos nestes materiais pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4 - Dipolos em um material diamagnético



Fonte: Callister (2012)³

A imagem acima demonstra a sequência da seguinte forma: letra a) se não houver campo externo; b) com um campo externo. Segundo Padilla, (2000), todos os materiais possuem diamagnetismo, que é sobreposto por materiais paramagnéticos e ferromagnéticos com propriedades mais fortes.

³ William D. Callister (2012). Ciência e Engenharia de Materiais. Disponível em: <https://brogdomonzaio.files.wordpress.com/2013/10/cic3aancia-e-engenharia-de-materiais-uma-introduc3a7c3a3o-william-d-callister-jr.pdf>. Acesso em 15, jun. 2023.

3.7 MATERIAIS PARAMAGNÉTICOS

Segundo Holanda et al. (2020) esta é a propriedade de alguns materiais de alinhar seus momentos magnéticos na ausência de interações magnéticas, na direção do campo magnético aplicado, quando expostos a um campo magnético externo. O paramagnetismo tem um efeito positivo na suscetibilidade.

Desta maneira, Holanda et al. (2020) destaca uma característica fundamental conhecida como paramagnetismo, apresentada em certos materiais. O paramagnetismo refere-se à capacidade desses materiais de alinhar seus momentos magnéticos na direção do campo magnético aplicado, mesmo na ausência de interações magnéticas significativas. Esse alinhamento ocorre quando os materiais são expostos a um campo magnético externo.

Ademais, a observação de que o paramagnetismo resulta em um efeito positivo na suscetibilidade é crucial. A suscetibilidade magnética é uma medida da facilidade com que um material responde à aplicação de um campo magnético externo. Um aumento na suscetibilidade implica em uma resposta mais pronunciada do material ao campo magnético, o que pode ter implicações em diversas áreas, desde a física de materiais até aplicações tecnológicas.

Observado em defeitos atômicos, moleculares ou de rede cristalina com um número ímpar de elétrons (por exemplo, sódio, gás óxido nítrico (NO) e radicais livres orgânicos), elementos de transição, elementos de terras raras e actínídeos (por exemplo, Mn²⁺, Gd³⁺, U⁴⁺) e alguns metais. (HOLANDA ET AL. 2020).

Existem dois mecanismos possíveis para a contribuição paramagnética da matéria. Um é devido a elétrons desemparelhados localizados em regiões da rede cristalina conhecida como paramagnetismo de Curie, e o outro devido a elétrons de condução, no caso de metais conhecido como paramagnetismo de Pauli.

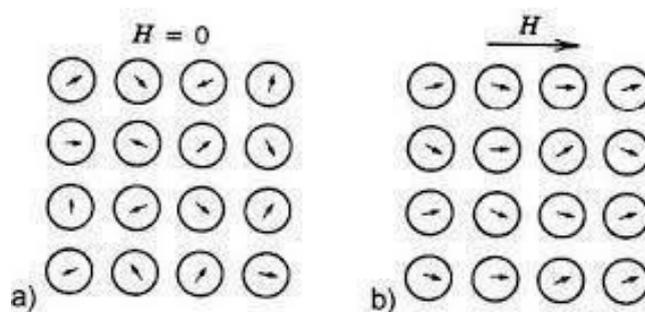
No paramagnetismo, os momentos de dipolo magnético orbital e de spin dos elétrons em cada átomo não se cancelam, então cada átomo tem um momento de dipolo magnético permanente.

Na ausência de um campo magnético externo, esses momentos de dipolo atômico são orientados aleatoriamente e o momento de dipolo magnético total do material é zero. Quando uma amostra de material é exposta a um campo magnético externo, o momento de dipolo magnético se alinha parcialmente com o campo

magnético e a amostra adquire um momento de dipolo magnético diferente de zero. Ao contrário do que acontece nos dielétricos, esse momento tem a mesma direção do campo magnético externo (HALLIDAY, 2016).

Em materiais paramagnéticos, inicialmente os dipolos mal interagem entre si e são deslocados aleatoriamente, e quando expostos a um campo magnético externo, os dipolos se alinham ligeiramente na mesma direção do campo aplicado, resultando em um leve aumento na intensidade do campo. Eles têm uma suscetibilidade magnética positiva devido à sua orientação paralela ao campo magnético e podem mudar com a temperatura, enfraquecendo sua magnetização com o aumento da temperatura ou fortalecendo sua magnetização com a diminuição da temperatura.

Figura 5 - Dipolos em um material ferromagnético



Fonte: Callister (2012)⁴

Pode-se ver que a) exibe dipolos aleatórios no estado inicial, b) algum alinhamento dos dipolos em uma direção do campo aplicado.

Ao contrário dos diamagnetos, os paramagnetos têm uma permeabilidade magnética maior que 1 e são muito fracamente atraídos pelos ímãs, ao contrário dos ferromagnetos que são fortemente atraídos pelos ímãs. Entre os materiais paramagnéticos, são exemplificados Alumínio, Magnésio, Sulfato de cobre e semelhantes.

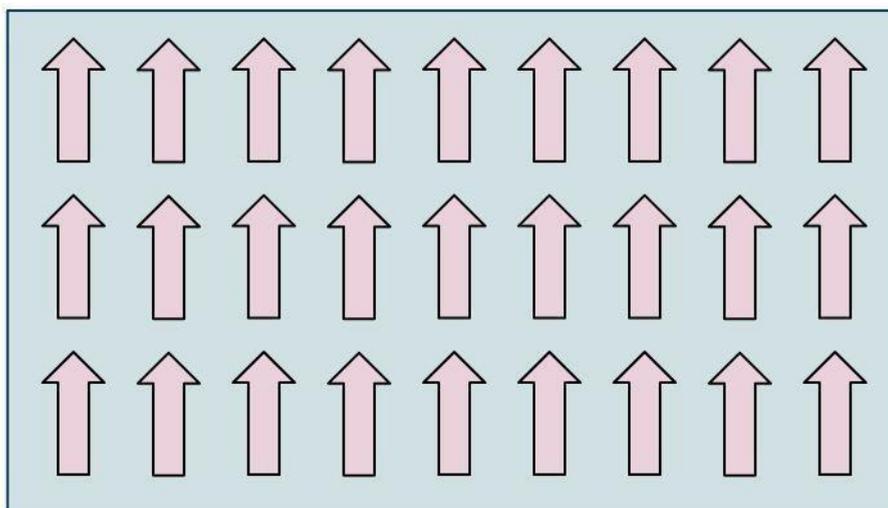
3.8 MATERIAIS FERROMAGNÉTICOS

⁴ William D. Callister (2012). Ciência e Engenharia de Materiais. Disponível em: <https://brogdomonzao.files.wordpress.com/2013/10/cic3aancia-e-engenharia-de-materiais-uma-introduc3a7c3a3o-william-d-callister-jr.pdf>. Acesso em 15, jun. 2023.

No caso dos ferromagnéticos, há uma forte interação entre dipolos magnéticos próximos resultando em alinhamentos internos intitulados domínios magnéticos, e esses materiais apresentam manifestações similares ao paramagnetismo, são intensamente magnetizadas na presença de um campo magnético externo, alinhando-se na mesma direção do campo, figura 6.

Além de apresentar permeabilidade magnética muito maior do que 1 e susceptibilidade alta e positiva, também manifestam fortes propriedades magnéticas e curva de histerese.

Figura 6 - Alinhamento dos dipolos magnéticos



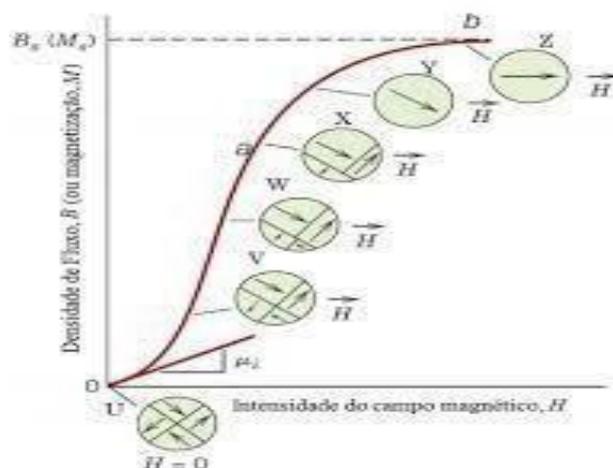
Fonte: Reis (2020)⁵

Quando todos os momentos magnéticos estiverem alinhados devido a aplicação do campo externo H , alcança-se o estado que é denominado de saturação magnética, conseguindo manter a magnetização mesmo na ausência do campo, tornando-se próprios ímãs, figura 7.

Uma outra característica marcante destes materiais é que passam a ter propriedades paramagnéticas ao exceder o limite da Temperatura de Curie, destruindo sua magnetização permanente. Quando resfriada, sua propriedade magnética volta, porém com campo magnético menos intenso.

⁵ Fábio dos Reis (2020). Bóson Treinamentos. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/tipos-de-magnetismo/>. Acesso em 16, jun. 2023.

Figura 7 - Representação do comportamento de B em função de H para um material ferromagnético ou ferrimagnético (CALLISTER, 2007).



Fonte: Azevedo (2020).⁶

Na figura acima pode-se perceber que o material está inicialmente com os domínios magnéticos desorientados resultando numa magnetização resultante nula (ponto U), e como consequência a aplicação de H , porém ainda com certa resistência (pontos V, W e X), os domínios tornam-se um só com alinhamento total em direção ao H alcançando a saturação (ponto Z), criando assim uma curva de magnetização inicial em seu processo.

Pode-se perceber também que a permeabilidade está associada com a resistência da movimentação dos domínios, sendo a permeabilidade inicial (μ_i) baixa, aumentando gradativamente em uma linha tangente. Portanto, quanto maior a organização dos domínios maior será a permeabilidade do material. São materiais ferromagnéticos Níquel, Ferro, Cobalto, Samário etc.

⁶ Vitor Fonseca Azevedo (2020). Universidade de Brasília. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/29002/1/2020_VitorFonsecaAzevedo_tcc.pdf. Acesso em 16, jun. 2023.

3.9 TEMPERATURA DE CURIE

A temperatura Curie, também chamada de ponto Curie, é a temperatura na qual uma substância ferromagnética ou ímã perde suas propriedades magnéticas. Esse fenômeno foi descoberto por Pierre Curie, um físico francês e marido de Marie Curie. Os dois foram reconhecidos por suas contribuições à pesquisa relacionada à radioatividade.

O calor gerado por uma fonte de calor perturba o arranjo dos elétrons que constituem um material, causando uma perda instantânea de propriedades magnéticas. Esta temperatura é diferente para cada material.

A temperatura Curie (T_c), ou ponto Curie, caracteriza as perdas sofridas pelos materiais ferromagnéticos quando expostos a altas temperaturas e afeta a suscetibilidade dos materiais paramagnéticos e ferromagnéticos. A Temperatura de Curie é diferente para cada material ferromagnético. Por exemplo, o Ferro so demonstra alteração na sua propriedade quando exposto a uma temperatura de 700°C . Na Figura 8, temos diferentes substâncias e suas temperaturas no Ponto de Curie.

Figura 8 - Ponto Curie para materiais ferromagnéticos

SUBSTÂNCIA	PONTO CURIE ($^{\circ}\text{C}$)
Cobalto	1075
Ferro	700
Óxido férrico	675
Ferrite	450
Níquel	365

Fonte: Silva Júnior (2020)⁷

3.10 CURVA DE HISTERESE EM MATERIAL FERROMAGNÉTICO

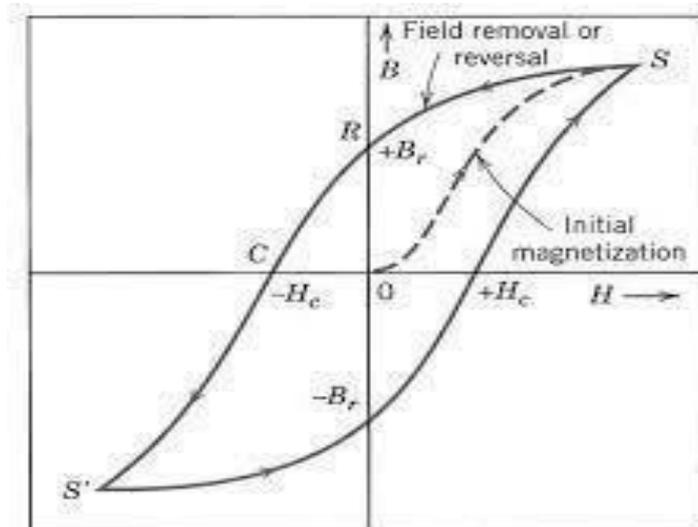
⁷ Joab Silas da Silva Júnior. MUNDO EDUCAÇÃO. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/temperatura-curie.htm>. Acesso em 27, jun. 2023.

A histerese, termo grego que significa atraso, é um efeito no qual uma magnetização remanescente ainda é mantida em um material ferromagnético após o campo magnético ter sido reduzido a zero.

Esse fenômeno ocorre após a saturação magnética, de forma que a aplicação externa do campo magnético não causa mais o aumento da magnetização devido ao alinhamento dos domínios magnéticos. O efeito de magnetização e desmagnetização do material, que é a histerese, é convertido em calor por meio da perda de energia e aumento de temperatura. (HOLENDA ET AL. 2020)

A histerese resulta da remoção do campo aplicado H , gerando uma curva que regride, resultando numa magnetização remanescente B_r ao longo de um caminho diferente do original como mostrado na Figura 9. Mesmo que H seja zero, a densidade de fluxo magnético B_r permanece no ponto denotado pela letra R , que ocorre após a remoção do campo magnético externo até que a saturação seja atingida, denotada pela letra S .

Figura 9: Curva de histerese (indução magnética, B , versus campo aplicado).



Fonte: Domiciano Correa (2010-2023) ⁸

A curva de histerese representa o campo magnético B em função do campo magnético aplicado H . À medida que a corrente aumenta gradativamente a partir de 0, B aumenta de 0, seguindo a curva da origem 0 até ponto S (curva de magnetização).

⁸ Domiciano Correa (2010-2023). PrePara ENEM. 2019. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/histerese-magnetica.htm>. Acesso em 15, jun. 2023.

Perto de S a curva torna-se plana, mostrando que a magnetização está próxima da magnetização de saturação (momento magnético suavizado). Na saturação, o campo B aumenta devido a um aumento no campo aplicado H. Quando o campo magnético aplicado H diminui gradualmente no ponto S não há diminuição correspondente na magnetização. Em ferromagnetos o movimento dos limites do domínio não é completamente reversível e mesmo que o campo aplicado H diminua para zero parte da magnetização permanece no material.

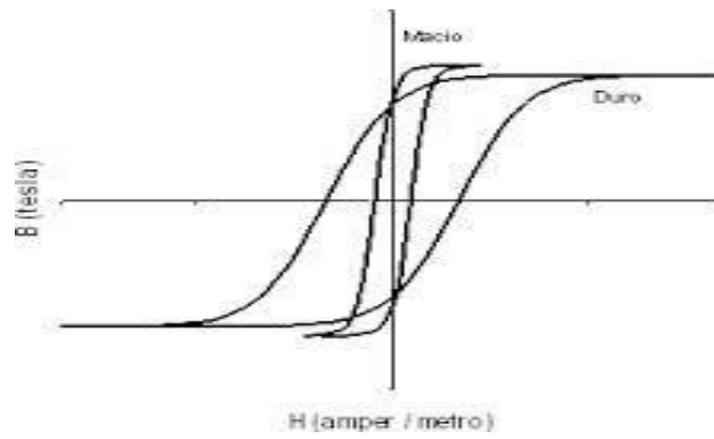
Quando um material ferromagnético é exposto a um campo magnético externo, há um ponto onde todos os momentos magnéticos do material se alinham com o campo magnético externo, que é chamado de magnetização de saturação.

Depois de atingir a saturação, qualquer aumento adicional no campo magnético não causará nenhum aumento adicional na magnetização M. Quando o campo magnético é reduzido a zero alguma magnetização é mantida. Este efeito é chamado de histerese.

A magnitude do campo no ponto inicial da curva quando H é zero é a magnetização, B_r remanescente (ou indução remanescente) mostra quanta magnetização é conservada.

Dependendo dos materiais, as curvas de histerese podem ser diferentes, portanto os materiais com propriedades distintas são caracterizados como materiais duros e moles. Os ferromagnetos macios são facilmente magnetizados e exibem baixas resistividade, que às vezes podem chegar a zero, enquanto os materiais duros tornam-se magnetizados quando um forte campo magnético externo é aplicado e têm altas resistividade. Na figura 10 é mostrado uma comparação dos ciclos de histerese de materiais duros e materiais macios.

Figura 10 - ciclo de histerese comparando um material magnético duro com um material magnético mole.



Fonte: Ferreira (2021)⁹

⁹ Carlos Antônio Ferreira (2011). UFRGS. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/55438/000838124.pdf;jsessionid=168F37919BE0C8B8F367BFBFAE09FA8D?sequence=1>. Acesso em 16, jun. 2023.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consiste em uma abordagem bibliográfica, qualitativa e exploratória. O foco da pesquisa foi aprofundar a compreensão das propriedades magnéticas dos materiais, com ênfase em materiais ferromagnéticos, por meio de uma análise crítica da literatura disponível. De acordo com Gil (2008), a revisão bibliográfica consiste em analisar material previamente elaborado, predominantemente constituído de livros e artigos científicos.

A revisão da literatura realizada neste estudo englobou publicações indexadas nos bancos de dados eletrônicos *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e Google acadêmico. A escolha dessas plataformas visa garantir uma ampla gama de artigos científicos relevantes e abrangentes para o tema em questão. Os descritores utilizados na busca foram cuidadosamente selecionados para direcionar a pesquisa de maneira específica. Foram eles: Propriedades Magnéticas dos Materiais, Magnetismo e Curva de Histerese.

No que diz respeito aos critérios de inclusão, foram considerados artigos de livre acesso, revisões sistemáticas e trabalhos empíricos que contribuíram de maneira significativa para a compreensão do comportamento da magnetização em materiais ferromagnéticos. Por outro lado, foram excluídos materiais não disponíveis eletronicamente, estudos desatualizados e aqueles que não estavam diretamente alinhados com o escopo desta pesquisa.

Essa abordagem metodológica integrada proporcionou uma investigação abrangente e criteriosa, buscando consolidar informações relevantes sobre o tema proposto, contribuindo assim para a construção de um embasamento teórico consistente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao finalizar a revisão sobre os materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnético, percebe-se que os comportamentos acontecem em nível quântico. Devido as variedades de propriedades presentes em cada um, sua influência no mundo acontece de várias formas, porém apresentando resultados semelhantes quando submetidos à uma variável.

Os materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos são de categorias específicas no espectro das propriedades magnéticas da matéria, cada uma revelando comportamentos únicos sob a influência de campos magnéticos.

Os materiais ferromagnéticos por possuírem domínios magnéticos, torna-se um ímã permanente à exposição de um campo magnético externo, possibilitando sua aplicação em diversos recursos. Além disto, os mesmos apresentam um comportamento magnético ainda mais distintivo. Nestes, os momentos magnéticos dos átomos individuais tendem a se alinhar espontaneamente em uma direção comum, mesmo na ausência de um campo magnético externo. Este alinhamento persiste após a remoção do campo, resultando em um magnetismo residual. Além disso, os ferromagnéticos apresentam uma resposta mais intensa e rigorosa ao campo magnético em comparação com os materiais paramagnéticos.

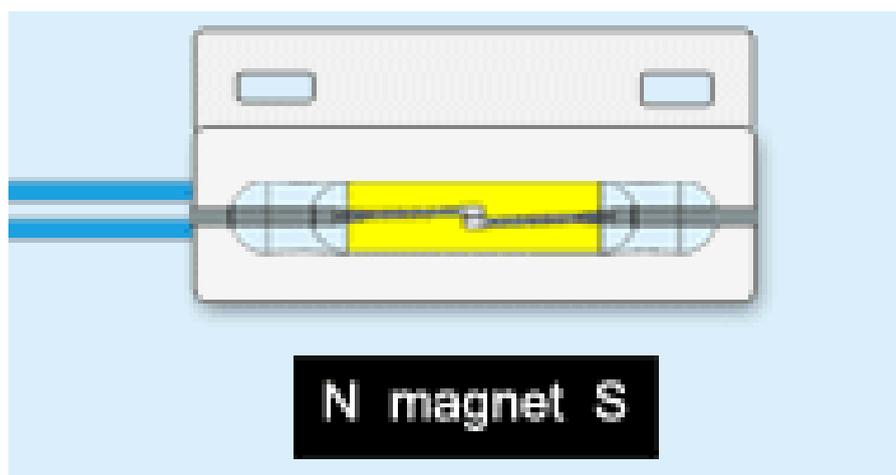
Os materiais paramagnéticos apesar de apresentarem fraca magnetização, são utilizados e encontrados em certos materiais, como o ímã de geladeiras. Por outro lado, os materiais paramagnéticos exibem uma resposta magnética mais pronunciada quando submetidos a um campo externo magnético. Nesses materiais, os momentos magnéticos tendem a se alinhar parcialmente na direção do campo aplicado, resultando em uma suscetibilidade magnética positiva. No entanto, essa orientação é temporária e desaparece quando o campo magnético é removido.

Durante o percurso do trabalho em relação a certos materiais comentados, é indiscutível que o estudo do magnetismo é fundamental para a humanidade. O ferromagnetismo tem várias vantagens, incluindo baixo custo, alta resistividade, perda de histerese muito baixa e, dependendo do material que pode operar em altas temperaturas, figura 10, baixa coercividade.

Observando os resultados obtidos com relação ao comportamento dos materiais, são evidentes mudanças nas propriedades magnéticas, permitindo a

identificação do grupo. Além das aplicações tradicionais de materiais ferromagnéticos, como geradores, produção de ímãs, telefones etc., esse tipo de material pode ser aplicado em muitos campos. Eles são usados principalmente na fabricação de equipamentos, como dispositivos biomédicos, dispositivos elétricos, sensores magnéticos etc. figura 11.

Figura 11 - Sensor magnético



Fonte: HARDE (2019)¹⁰

Segundo Melissa (2022, p.19) “ A utilização de sensores magnéticos para a solução do problema de localização de corpos estranhos se tornou muito popular e atraente na área de estudos biomédicos”. É notório que o estudo do magnetismo vai além da teoria, possibilitando evoluções tecnológicas para uma melhor qualidade de vida.

Quando um ímã se aproxima do sensor, o campo magnético atrai a placa metálica, fechando o contato elétrico. Um sensor magnético pode detectar os polos norte e sul. Com diversas formas e diversos usos, os sensores possuem aplicações industriais, principalmente para o avanço de pesquisas na área biomédica.

Por conseguinte, quanto a evidência dos valores de campo coercitivo e campo residual na curva de histerese magnética é de extrema importância para compreender o comportamento magnético de materiais ferromagnéticos. A curva de histerese é

¹⁰ HARDE (2019) Disponível em: <https://www.harde.com.br/paginas/Sensor-magnetico/sensor-magnetico-funcionamento.php>. Acesso em 27, jun. 2023.

uma representação gráfica que ilustra como a magnetização de um material responde a ciclos repetidos de aplicação e remoção de um campo magnético.

O campo coercitivo, representado no eixo horizontal da curva, refere-se à intensidade do campo magnético necessário para desmagnetizar completamente o material. Esse valor é essencial para entender a estabilidade magnética do material e sua resistência à perda de magnetização. Por sua vez, o campo residual, localizado no eixo vertical, indica a magnetização remanescente do material quando o campo magnético externo é reduzido a zero. Esse valor é fundamental para avaliar o grau de retenção magnética do material após a exposição a um campo magnético.

A relação entre esses dois parâmetros, campo coercitivo e campo residual, destaca a capacidade do material ferromagnético de manter sua magnetização em condições específicas. Valores mais baixos de campo coercitivo indicam uma maior facilidade de magnetização, enquanto um campo residual mais elevado sugere uma maior retenção magnética.

6 CONCLUSÃO

Nesta revisão bibliográfica foram abordados diferentes tipos de materiais magnéticos e suas perspectivas características, antes e depois da imantação. Foi mostrado como os átomos se comportam, possuindo propriedades de um ímã, através dos comportamentos dos elétrons na volta de seu núcleo.

Observamos também como a temperatura influencia nas suas propriedades, adquirindo assim novas características magnéticas, regressando seu estado de magnetização. Foram retratados os átomos presentes em materiais como o ferro são substâncias fortemente magnética devido os alinhamentos dos dipolos magnéticos, entretanto, não são ímãs até que sejam imantados.

Comentou-se sobre a aptidão de um material em manter suas propriedades magnéticas na ausência de estímulos que as provocaram inicialmente, sendo esse estímulo o campo magnético externo, este fenômeno caracteriza a histerese. Com histerese obtemos a curva de histerese. Esta curva é a magnetização e depois a desmagnetização do material quando um campo externo é aplicado na direção oposta ao campo original.

Em seu processo controlado, as necessidades da sociedade, como equipamentos médicos, transformadores, computadores, ímãs etc. - todos os materiais que utilizamos hoje - são resultado de sua pesquisa e prática do magnetismo. Além disso, sabemos que materiais ferromagnéticos podem ser usados para gerar eletroímãs, aplicados em áreas muito mais complexas, ter peças em máquinas de ressonância magnética e usar campos magnéticos e ondas de rádio para obter imagens de cortes de tecidos finos.

Entrando mais no campo da Física aplicada, o eletroímã tem papel fundamental nos dispositivos como aceleradores de partículas, os quais são científicos, utilizados para acelerar partículas subatômicas em altas velocidades.

Concluindo assim o estudo de diferentes classes de materiais e suas principais características, visando simplificar o entendimento sobre as principais propriedades magnéticas dos materiais de modo que gere um básico e breve entendimento sobre o magnetismo.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Vítor Fonseca. **Revisão sobre os diferentes métodos de produção de CoFe₂O₄**. Orientador: Alysson Martins Almeida Silva. 2020. 113 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade De Tecnologia Departamento De Engenharia Mecânica, Universidade De Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/29002/1/2020_VitorFonsecaAzevedo_tcc.pdf. Acesso em: 14 jun. 2023.

BARUM Amilcar. Eletricidade E Magnetismo. Ministério Da Educação Universidade Federal De Pelotas. 2019. Disponível em:

BASSALO, J.M. F. A crônica da física do estado sólido: IV. Magnetismo. Revista Brasileira de Ensino de Física., vol.16, n.º (1-4) 1994. Disponível em: < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol16a09.pdf>>. Acesso em:

BARROS, A. E. A., BARRETO, P. G. **Eletromagnetismo: uma viagem do macro ao micro**. São Paulo: Livraria da Física, 1a. Ed., 2017

BACK, Jaime André. **Estudo das propriedades eletromagnéticas de um compósito magnético macio (SMC) para aplicações em motores de indução**. Orientador: Juliano Schirmbeck. 2018. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2018. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/54a4e8f4-f205-401e-a430-aca7f82e86a5/content>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CALLISTER, JR., WILLIAM D. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. 5 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008

COSTA, Melissa Carvalho. **Proposta de Dispositivo Biomédico Multisensor Portátil para Localização de Corpos Estranhos Ferromagnéticos**. Orientador: Carlos Roberto Hall Barbosa. 2022. 75 p. Dissertação (Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia) - Pontifícia Universidade Católica - Rio, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/61301/61301.PDF>. Acesso em: 27 jun. 2023.

FERREIRA , Carlos Antônio. **Desenvolvimento de núcleos para transformadores monofásicos de baixa potência pela metalurgia do pó**. Orientador: Lírio Schaeffer. 2011. 78 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais- PPGE3M) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/55438/000838124.pdf;jsessionid=168F37919BE0C8B8F367BFBFAE09FA8D?sequence=1>. Acesso em: 17 jun. 2023.

HEILMANN , Armando *et al.* Considerações Básicas das Propriedades Físicas Magnéticas - Uma Aplicação em Computadores. **2316-2317**, Revista Eletrônica Multidisciplinar Unifacear, v. 3, p. 1-15, [entre 2010 e 2020]. Disponível em:

[https://revista.facear.edu.br/artigo/download/\\$/consideracoes-basicas-das-propriedades-fisicas-magneticas-uma-aplicacao-em-computadores-](https://revista.facear.edu.br/artigo/download/$/consideracoes-basicas-das-propriedades-fisicas-magneticas-uma-aplicacao-em-computadores-). Acesso em: 12 jun. 2023.

HALLIDAY, David, 1916-2010. Fundamentos de física, volume 3 : eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker ; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. - 10. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2016. il. ; 28 cm.

Holanda L. M. • ET AL. Comportamento magnético de materiais por meio da mecânica estatística. **Artigos Gerais** • Rev. Bras. Ensino Fís. 42 • 2020 • <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0196>

NUSSENZVEIG, H.M., **Curso de Física básica** - vol. 3. São Paulo: Blucher, 2002. PINHO, L. C. **Materiais Magnéticos e suas Aplicações**. Portugal: FEUP, 2009 REZENDE. S M A **Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. Editora da Universidade Federal de Pernambuco

RODRÍGUEZ, G. J. B. **O Porquê de Estudarmos os Materiais Magnéticos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 20, n. 4, p. 315-320, 1998.

SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 978-85-62707-62-9., 2014, Belo Horizonte. **A “Epistola de Magnete”, de Petrus Peregrinus: experimento, técnica e tecnologia na construção de instrumentos magnéticos** [...]. Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG: SBHC, 2014. 14 p. v. 14^o. Disponível em: https://www.14snhct.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1754. Acesso em: 12 jun. 2023.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III - Eletromagnetismo. 12^a. ed. São Paulo: Pearson, v. III, 2009.

VALENÇA, Alessandra Lyra. **Modelo molecular para o magnetismo em ferrita de cobalto**. Orientador: Antônio Carlos Pavão. 2016. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós- Graduação) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE), Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/24423/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Alessandra%20Lyra%20Valen%C3%A7a.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.