

LIGA COM MEMÓRIA DE FORMA - (Shape Memory Alloy – SMA)

Eronilton Medeiros da Silva Junior¹

Bruno Henrique Santos²

Dheiver Francisco Santos³

Agnaldo Cardozo Filho⁴

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

As ligas com memória de forma (*Shape Memory Alloy – SMA*) consistem em um grupo de materiais metálicos que possuem a habilidade de retornar a um formato ou tamanho previamente definido quando submetidas a um ciclo térmico adequado. O efeito de memória de forma (EMF) é uma propriedade única, característica de algumas ligas que passam pela reação martensítica. As ligas com memória de forma exibem memória que pode ser acionada por tensão ou por mudança de temperatura. Este artigo irá apresentar conceitos sobre tais ligas no que se refere ao seu comportamento de memória de forma bem como algumas de suas aplicações nos mais variados setores da ciência.

PALAVRAS-CHAVE

Ligas com Memória de Forma. SMA. EMF. Habilidade. Aplicação.

ABSTRACT

Shape Memory Alloy (SMA) consists of a group of metallic materials that have the ability to return to a previously defined shape or size when subjected to a suitable thermal cycle. The shape memory effect (EMF) is a unique property, characteristic of some alloys that undergo the martensitic reaction. Form memory alloys exhibit memory that can be triggered by voltage or by temperature change. This article will present concepts about such alloys with regard to their shape memory behavior as well as some of their applications in the most varied sectors of science.

KEYWORDS

Alloys with Shape Memory. SMA. EMF. Ability. Application.

1. INTRODUÇÃO

Quando um material aparentemente deformado plasticamente recupera total ou parcialmente sua forma quando aquecido em uma temperatura adequada, diz-se que este material possui *memória de forma*.

As Ligas com Memória de Forma (SMA) são materiais metálicos que exibem propriedades termoelástica muito originais: Efeito de Memória de Forma e Pseudoelasticidade (Superelasticidade). Dentre as ligas existentes, as mais eficazes e extensamente usadas incluem o Ni-Ti, Cu-Zn-Al e Cu-Al-Ni (REIS, 2001).

Apesar do efeito memória de forma ter sido observado pela primeira vez nos anos 30, sua utilização comercial deve ser remetida ao início dos anos 60, quando o pesquisador William F. Buehler desenvolveu uma liga metálica com memória de forma de composição química aproximadamente equiatômica de níquel e titânio. Esta liga foi denominada *Nitinol*, um acrônimo relativo à sua composição (Ni-Ti) e ao *Naval Ordnance Laboratory*, nos EUA, onde a liga foi criada. Imediatamente, o Nitinol demonstrou um grande potencial comercial, principalmente, devido ao baixo custo comparado ao de outras ligas com memória de forma então existentes, a maioria constituída de metais nobres. Mas foi somente no final da década de 70 que o Nitinol e outras ligas de Ni-Ti com melhores propriedades desenvolvidas por pesquisadores chineses e japoneses começaram a se popularizar, especialmente nas áreas médica, odontológica e engenharia (REIS, 2001).

2. CONCEITOS BÁSICOS DO EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA (EMF) E DA SUPERELASTICIDADE

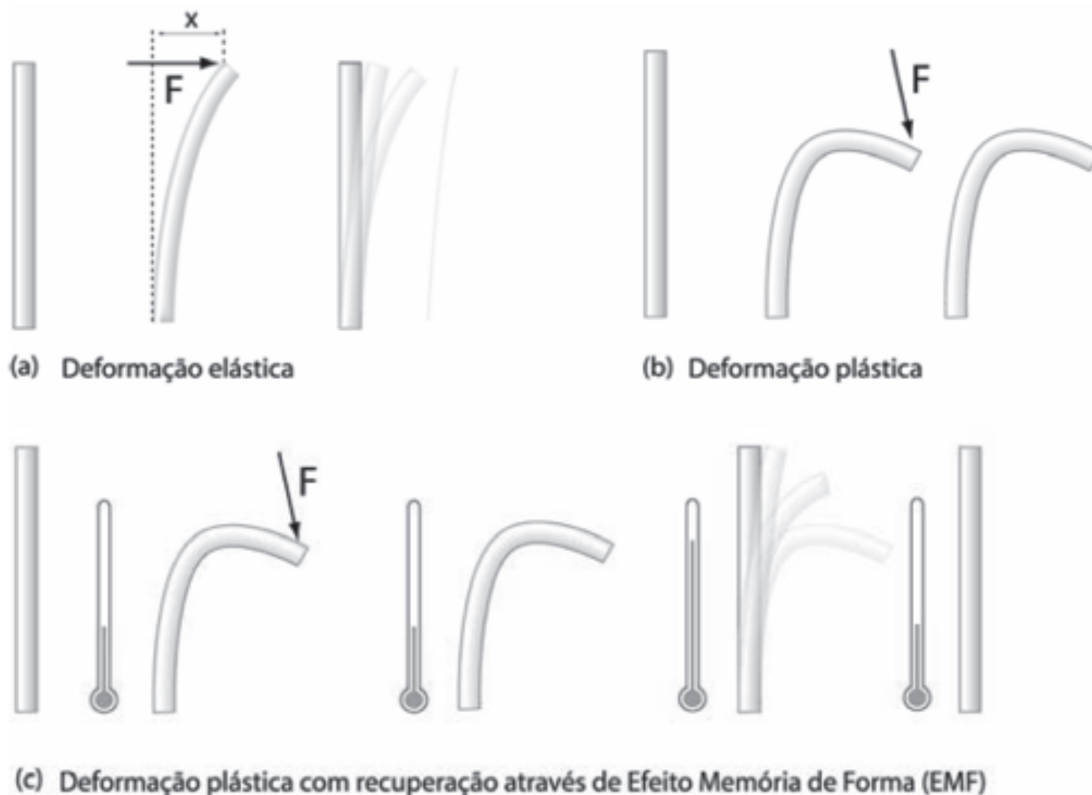
A maior parte dos materiais metálicos apresenta um comportamento elástico no qual, dentro de certos limites, a deformação causada é diretamente proporcio-

nal à força aplicada. Toda deformação provocada por uma força em um material é totalmente recuperada assim que a força é retirada desde que não se exceda um determinado valor máximo; tal deformação é denominada por *deformação elástica*. Entretanto, acima deste limite máximo, a força provoca no corpo uma deformação permanente, que na maioria dos materiais não pode ser recuperada; deformação conhecida por *deformação plástica* (REIS, 2001).

O efeito memória de forma acontece quando o corpo é capaz de recuperar completamente sua forma original, sendo meramente aquecido acima de uma determinada temperatura inerente as características provenientes de sua composição química.

Mais recentemente, uma classe especial de materiais, conhecida como ligas ferromagnéticas com memória de forma, também foi desenvolvida. Exemplos dessas ligas incluem: Ni_2MnGa , Fe-Pd e Fe_3Pt . Diferentemente do Ni-Ti, esses materiais apresentam efeito de memória de forma em resposta a um campo magnético (ASKELAND & WRIGHT, 2014).

Figura1: Em (a) o corpo é deformado elasticamente e recupera sua forma assim que a força é retirada; em (b) a deformação é maior do que o limite do material elástico, sendo assim a deformação é permanente; em (c) o corpo é deformado, também plasticamente, abaixo de certa temperatura e ao ser aquecido recupera totalmente sua forma, comportamento típico do efeito memória de forma (EMF).



Fonte: REIS, 2001, p. 23.

Diversas ligas metálicas apresentam EMF, embora a maioria apresente uma recuperação apenas parcial de sua forma quando aquecidas. A maior parte das SMA é formada ou por metais preciosos ou por metais de transição. Este é o caso das ligas de Ni-Ti. Somente poucas destas, incluindo a Ni-Ti, apresentam o *efeito memória de forma total* e nestas residem o interesse da engenharia (GEROLDO, 2009).

Mas o efeito memória de forma não é a única característica peculiar apresentada pelas ligas de Ni-Ti, seu comportamento elástico também é atípico. A maior parte dos materiais metálicos pode ser deformada elasticamente em até 0,5%; ligas de Ni-Ti, contudo, podem ser deformadas em até 8% ou 10% de seu comprimento inicial e ainda retornar completamente à sua forma original. Nestas ligas, a partir de certo grau percentual de deformação elástico (usualmente em torno de 2%), a relação entre a tensão e a deformação não é mais linear e a força, em vez de aumentar à medida que o material se deforma, permanece praticamente constante, num comportamento mais parecido com o de algumas borrachas do que com outros metais. Além disso, o material responde de maneira diferente conforme a deformação aumenta ou diminui, num comportamento chamado de *curva de histerese*, novamente pouco comum em metais, mais típico dos tecidos humanos como cabelo e ossos (PINA, 2006).

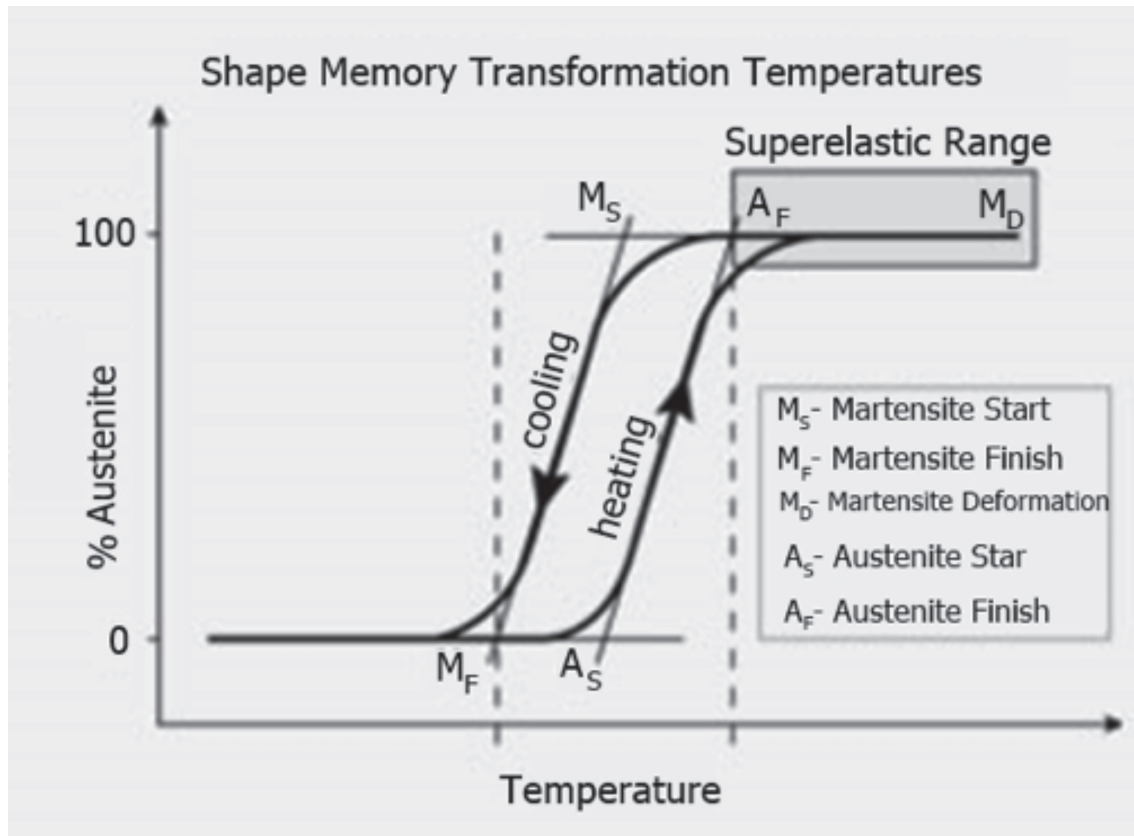
A superelasticidade e a memória de forma são dois aspectos do mesmo efeito, ambos resultados de um tipo peculiar de transformação cristalina denominada *transformação martensítica termoelástica* (REIS, 2001).

Em um metal os átomos do material se encontram em posições ordenadas e bem definidas. Esta grade onde cada átomo ocupa uma posição específica é chamada de rede cristalina. A menor porção desta rede cristalina, que ainda guarda as propriedades de todo o cristal, ou seja, a unidade fundamental, que empilhada e arrumada repetitivamente permite construí-la, é chamada de *célula unitária*. Existem 14 tipos de células unitárias classificadas em 7 grupos. As propriedades mecânicas de um material, como dureza, resistência mecânica e ductibilidade são consequências, numa primeira análise, do arranjo cristalino e do tipo de célula unitária. Contudo, mais de um tipo de célula unitária pode estar presente no mesmo material. Neste caso diz-se que o material apresenta polimorfismo e cada estrutura é uma fase cristalina, onde por fase cristalina se entende uma região do cristal que apresenta a mesma estrutura cristalina e que, por isso, guarda propriedades físicas semelhantes. Fornecendo-se energia aos átomos, na forma de calor por exemplo, a rede é capaz de se modificar e por consequência mudar também a célula unitária, fato que caracteriza uma mudança de fase (ASKELAND & WRIGHT, 2014). Numa liga de Ni-Ti existem duas fases cristalinas presentes de acordo com a temperatura do material: *austenita* e *martensita*. A austenita possui estrutura cúbica de corpo centrado (CCC ou B2), onde os átomos ocupam as posições dos vértices e do centro de um cubo, ao passo que a martensita, nas ligas de Ni-Ti é *monoclínica*, uma distorção da estrutura denominada B19, em que o maior lado é inclinado em relação à base da célula.

A transformação da austenita em martensita, ou *transformação martensítica*, inicia-

-se quando a liga passa, no resfriamento por uma temperatura crítica, denominada M_s (*martensite start*), e se completa em M_f (*martensite finish*), quando o material é totalmente martensítico. No sentido oposto, a transformação reversa, ou transformação austenítica, se inicia, no aquecimento, na temperatura A_s (*austenite start*) e termina em A_f (*austenite finish*), quando então o material é completamente austenítico (PINA, 2006).

Figura 2: A liga é resfriada da fase austenítica para a fase martensítica, depois a estrutura é deformada pseudoplasticamente. Em seguida, ela é aquecida restituindo sua estrutura inicial e sem deformação (recuperação da forma).



Fonte: PINA, 2006, p. 9.

3. ALGUMAS APLICAÇÕES DAS LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA

3.1 Filtro da Veia Cava Inferior

É um dispositivo metálico que é colocado na veia cava, tendo como função filtrar os coágulos sanguíneos (trombos) e impedi-los que cheguem aos pulmões, funcionando então como uma prevenção da tromboembolia pulmonar (TEP). Os filtros atualmente utilizados são, em sua maioria, confeccionados com uma liga metálica, o Nitinol, que não apresenta propriedades ferromagnéticas, ou seja, uma pessoa

portadora de um desses filtros de veia cava pode ser submetida a exames de ressonância magnética sem correr o risco de alguns problemas.

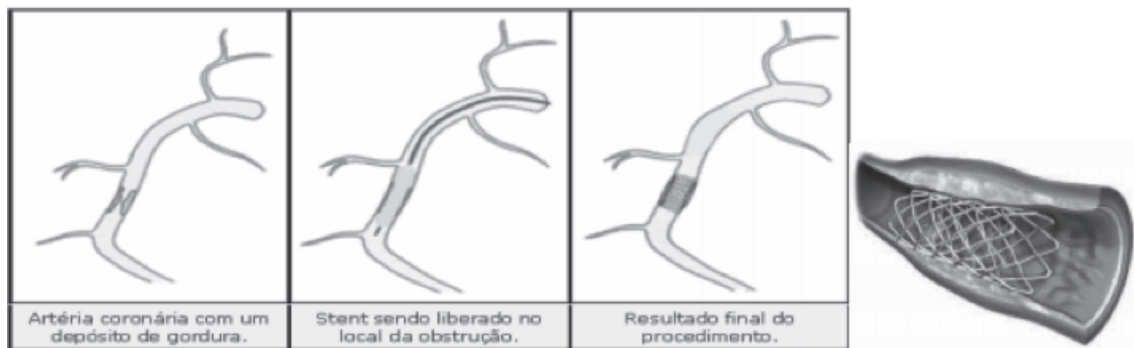
Figura 3: O tromboembolismo venoso é doença de alta prevalência, com elevada morbidade e mortalidade e seu tratamento com anticoagulação plena é bem definido como a melhor opção para os pacientes que não possuem contraindicações a essa terapêutica. O implante de filtro de veia cava é procedimento restrito aos casos de contraindicação ao tratamento clínico, ou de ineficiência deste, e tem como objetivo principal evitar a progressão de êmbolos venosos, que podem causar embolia pulmonar.



Fonte: <http://vascular.pro/content/filtro-de-veia-cava> (2013)

3.2 Cateteres Vasculares

O “stent” é uma estrutura utilizada para manter o segmento do vaso aberto após a realização da angioplastia, isto é, abertura de um vaso arterial ou venoso que estava parcial ou totalmente obstruído. O stent feito com liga com memória de forma é amplamente utilizado nas especialidades como radiologia intervencionista, cirurgia vascular e cardiologia. Antes de ser colocado no corpo humano, o stent sofre uma compressão encontrando-se e seu estado martensítico e sua forma é modificada. É introduzido no vaso e com o aquecimento da temperatura do corpo, ele se expande retornando a sua forma original.



Fonte: BORN, 2007.

3.3 Aparelhos Ortodônticos

As ligas com memória de forma apresentam, durante os trechos de transformação de fase, elevados índices de deformação para uma pequena variação de tensão. Assim, o uso das SMA em aparelhos ortodônticos elimina a necessidade de repetidos apertos, acelerando o processo corretivo. Os aparelhos com memória de forma proporcionam um maior conforto aos pacientes durante a instalação e também no processo corretivo.

Figura 5: Juntamente com os brackets são usados os fios superelásticos com memória de forma. Estes fios são super flexíveis e se tornam inativos quando a temperatura da boca fica abaixo de 37 graus, quando, por exemplo, se bebe algo frio. Isto permite a sua colocação mesmo em casos onde os dentes estão muito apinhados (encavalados), resfriando-se o fio. Com o passar do tempo, os dentes vão se movimentando na direção do formato original do fio, melhorando suas posições.

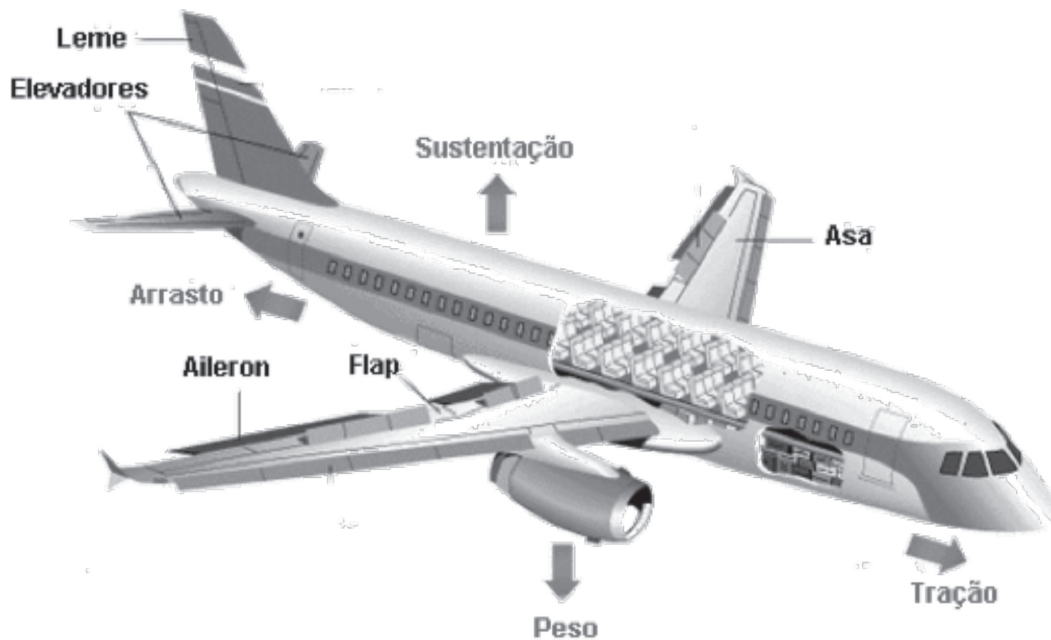


Fonte: <http://marcelovenerandoortodontia.com.br/tipos-de-aparelhos/> (2014)

3.4 Aeroespacial

A utilização de ligas com memória de forma em aplicações aeroespaciais abrange aeronaves, veículos espaciais e painéis solares, entre outros. Um dos mais conhecidos programas foi o “*Smart Wing Program*”, conduzido por um grupo de pesquisas, com apoio da NASA, AFRC e AFOSR. O objetivo era o desenvolvimento de tecnologias inteligentes para melhorar o desempenho aerodinâmico de aviões militares. A equipe de trabalho desenvolveu uma estrutura de asa adaptativa integrada com mecanismos de atuação para ajustar a superfície padrão da asa e fornecer uma forma aerodinâmica ótima para uma variedade de regimes de voo. O modelo da asa inteligente incorporou um flap articulado e o formato do aileron, utilizando cabos de SMA.

Figura 6: A Figura apresenta as partes de um avião comercial de modo que a nomenclatura de certos componentes do avião seja conhecida. Com essas melhorias, obteve-se um controle da deflexão da superfície de até 10°. A utilização de tubos de torque na estrutura da asa possibilitou uma torção de 5°, melhorando o desempenho de 8 a 12% em comparação a superfície convencional da asa.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20031/Andre/> (2015)

4. CONCLUSÃO

A partir deste artigo que tinha como objetivo abranger conceitos e aplicações das ligas com memória de forma, pode-se observar que as Ligas com Memória de Forma (*Shape Memory Alloy - SMA*) são materiais metálicos que exibem proprieda-

des termoelástica muito originais: Efeito de Memória de Forma e Pseudoleasticidade (Superelasticidade). O efeito memória de forma acontece quando o corpo é capaz de recuperar completamente sua forma original, sendo meramente aquecido acima de uma determinada temperatura inerente as características provenientes de sua composição química. Dentre as ligas existentes, as mais eficazes e extensamente usadas incluem o Ni-Ti, Cu-Zn-Al e Cu-Al-Ni. Mais recentemente, uma classe especial de materiais, conhecida como ligas ferromagnéticas com memória de forma, também foi desenvolvida. Exemplos dessas ligas incluem: Ni₂MnGa, Fe-Pd e Fe₃Pt. Diferentemente do Ni-Ti, esses materiais apresentam efeito de memória de forma em resposta a um campo magnético. No que se refere a aplicações, as ligas com memória de forma estão inclusas nos mais diversos setores da ciência, e alguns desses foram citados neste trabalho, como: Filtro da veia cava inferior, cateteres vasculares, aparelhos ortodônticos e flaps de avião. Sendo assim, diante do potencial de tais ligas, espera-se que estudos futuros levem a uma maior utilização das propriedades funcionais das ligas com memória de forma.

REFERÊNCIAS

REIS, Widson Porto. **Caracterização de Ligas de Níquel – Titânio Para Ortodontia**. Rio de Janeiro, 2001.

GEROLDO, Augusto César de Brito. **Estudo do Efeito de Memória de Forma de Fios Ortodônticos da Liga Ni-Ti nas Condições Comercial e Após Tratamentos Térmicos**. Porto Alegre, 2009.

PINA, Euclides Apolinário Cabral de. **Estudo da Estabilização na Liga Cu-Al-Mn com Memória de Forma**. Recife, 2006.

PEREIRA, Leonardo Leite; ALMEIDA, Sérgio Frascino Muller de. **Dispositivo de Ensaio de Ligas com Efeito de Memória de Forma**. São José dos Campos, 2007.

SILVA, André F.C. **Sistema De Controle Fuzzy Aplicado a um Dedo Robótico acionado por Ligas com Memória de Forma**. João Pessoa, 2009.

FILHO, Pedro Linhares da Cunha. **Obtenção e Caracterização Microestrutural da Liga Cu-14Al-4Ni com Efeito Memória de Forma**. Recife, 2002.

CASTILHO, Weimar Silva; SILVA, Edson Paulo da. **Algumas Aplicações das Ligas com Memória de Forma (Shape Memory Alloy – SMA)**. São Paulo, 2011.

TRENTINI, Fernando Augusto Schneider; POLATTI, Thiago. **Prótese de Mão com Shape Memory Alloy Controlada pelo Computador**. Curitiba, 2008.

GARCIA, Maurício Sanches; **Análise Experimental do Comportamento Termomecânico das Ligas com Memória de Forma**. Rio de Janeiro, 2015.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

Data do recebimento: 1 de agosto de 2018

Data da avaliação: 1 de dezembro de 2018

Data de aceite: 4 de dezembro de 2018

1 Graduando em Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT, Maceió, Alagoas, AL – Brasil

2 Professora do Curso de Engenharia Mecatrônica, Endereço: Centro Universitário Tiradentes – UNIT, Maceió, Alagoas, AL – Brasil