

APLICAÇÕES MÉDICAS UTILIZANDO LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA: UMA REVISÃO

Emily Vitória Pereira Marques ¹

Robson Alves Vilar ²

Marcos Mesquita da Silva ³

Luiz Fernando Alves Rodrigues ⁴

RESUMO

As ligas com memória de forma (LMF) são utilizadas em diversas áreas do conhecimento, destacando-se naquelas, naturalmente, mais consumidoras de tecnologia, dentre as quais, a medicina. Dada a importância desta área e das LMF, este trabalho teve por objetivo fazer um levantamento geral das aplicações de LMF na medicina e em áreas afins. Assim, foram realizadas pesquisas em artigos publicados em revistas internacionais que versavam sobre o desenvolvimento e/ou testes em dispositivos médicos e qual a finalidade dos mesmos. A partir dos trabalhos estudados, foi verificado que as LMF foram utilizadas para propor melhorias nos tratamentos médicos, permitindo que fossem desenvolvidos novos equipamentos e dispositivos, os quais foram empregados, por exemplo: na cardiologia, a fim de fortalecer a estrutura dos vasos sanguíneos e corrigir problemas que afetavam o fluxo sanguíneo; na ortopedia, com o objetivo de corrigir problemas existentes nos ossos e no tratamento da osteogênese; na fisioterapia, em que os equipamentos desenvolvidos são utilizados para a melhoria dos movimentos dos pacientes ou na realização de exames. De modo geral, foi verificado que a utilização das LMF na medicina permitiu a realização de uma quantidade maior de procedimentos de forma minimamente invasiva e que dada a alta biocompatibilidade das LMF, estas continuarão sendo altamente demandadas na área da medicina.

Palavras-chave: Ligas com Memória de Forma, Medicina, Dispositivos Médicos

INTRODUÇÃO

As ligas com memória de forma (LMF) fazem parte da classe dos materiais metálicos e apresentam a capacidade de recuperar uma deformação plástica/pseudoelástica através de uma transformação de fase em estado sólido da martensita para a austenita. Quando a transformação de fase ocorre pelo efeito da temperatura, tem-se o efeito com memória de forma (EMF), e quando a transformação decorre do carregamento, tem-se o fenômeno de superelasticidade (SE) (MORGAN, 2004).

Dentre os tipos de LMF, pode-se destacar as ligas de Ni-Ti, as quais dependendo da sua composição podem apresentar além da fase martensita e austenita, a fase R. Essas ligas

¹Aluna do Curso Técnico em Petróleo e Gás, IFPB, Campus Campina Grande-PB, marquesemily28@gmail.com;

²Graduando do Curso de Engenharia de Computação, IFPB, Campus Campina Grande-PB, robsonvilarvilar@gmail.com;

³Professor co-orientador: Doutor, IFPB, Campus Campina Grande- PB, marcos.silva@ifpb.edu.br;

⁴Professor orientador: Doutor, IFPB, Campus Campina Grande- PB, luiz.rodriques@ifpb.edu.br.

podem ser utilizadas no desenvolvimento de aplicações em diversas áreas do conhecimento humano utilizando sua capacidade de recuperação de forma e/ou de geração de carga na forma de atuadores.

Nesse sentido, uma das áreas tecnologicamente viáveis e consumidoras dessa tecnologia é a medicina, onde são utilizadas no desenvolvimento de dispositivos para aplicação em tratamentos em diversas áreas médicas, a exemplo, de cirurgias minimamente invasivas. Entre as aplicações, pode-se destacar os implantes ortopédicos, dispositivos cardiovasculares (OMID ET AL., 2020) e instrumentos cirúrgicos (PETRINI; MIGLIAVACCA, 2011).

Nesse contexto, dada a importância das LMF na medicina, este trabalho teve por objetivo abordar algumas aplicações das LMF na medicina, visando obter um panorama geral de sua utilização nesta área.

METODOLOGIA

Este trabalho teve por finalidade analisar as aplicações das ligas com memória de forma na área médica. Para isso, foram estudados trabalhos publicados em revistas internacionais que estudaram o desenvolvimento de dispositivos médicos fabricados a partir de LMF. Desse modo, foi possível avaliar as aplicações médicas que comumente tem feito uso de LMF ou que estavam em fase de desenvolvimento de protótipos.

A Tabela 1, apresenta os artigos estudados neste trabalho incluindo as aplicações testadas e os dispositivos médicos estudados/fabricados.

Tabela 1: Artigos da literatura médica internacional que foram estudados neste trabalho.

Título do artigo	Aplicações médicas	Dispositivos estudados / desenvolvidos nos trabalhos
Nitti Shape Memory Alloys, Promising Materials in Orthopedic Applications (BAHRAMINASAB E SAHARI, 2013).	-Ortopedia	-Placas para osso fraturado; -Haste espinhal. -Espaçador de vertebra espinhal; -Haste espinhal; -Luvas para fisioterapia; -Prótese no joelho.
Properties and medical applications of shape memory alloys (TARNIȚĂ ET AL., 2008).	-Cirurgia geral	-Extrator de pedra; -Endoscópios.

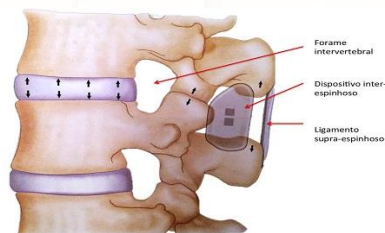
Recent Insights Into the Biomedical Applications of Shape-memory Polymers (SERRANO E AMEER, 2012).	-Cirurgia geral	-Suturas
Self-deployable origami stent grafts as a biomedical application of Ni-rich TiNi shape memory alloy foil (KURIBAYASHI ET AL., 2006).	-Cardiologia	-Folha de NiTi em endoprótese.
Medical applications of shape memory alloys (MACHADO E SAVI, 2003).	-Cardiologia -Ortopedia	- Filtro Simon; - Dispositivo de oclusão do septo atrial. -Grampos para cicatrização do osso.
Shape memory alloys: metallurgy, biocompatibility, and biomechanics for neurosurgical applications (HORNBOGEN, 2009).	-Cirurgia geral	-Microguidewires; -Pinça sem dobradiças.
History and Current Situation of Shape Memory Alloys Devices for Minimally Invasive Surgery (SONG, 2010).	-Cirurgia geral	- Dispositivos gastrointestinais; -Patch protéticos.
Applications of Shape Memory Alloys for Neurology and Neuromuscular Rehabilitation (PITTACCIO ET AL., 2015)	-Fisioterapia	- Toe- Up.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 1 é possível verificar a diversidade de materiais e dispositivos desenvolvidos com LMF para diversas áreas da medicina.

Nesse contexto, na Figura 1, tem-se a apresentação de uma aplicação na ortopedia de um espaçador de vertebra espinhal ou dispositivo inter-espinhoso. Esse dispositivo é colocado entre duas vertebra espinhais para garantir que tenha um reforço a fim de evitar qualquer movimento traumático durante a cicatrização, mesmo que seja aplicado uma carga constante. É um dispositivo utilizado principalmente no tratamento da escoliose (BAHRAMINASAB E SAHARI, 2013).

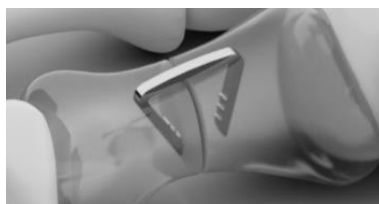
Figura 1: Espaçador da vertebra espinhal. a) Espaçador. b) exemplo de aplicação de um espaçador espinhal.



Fonte: NEUROCIRURGIA, 2021.

Outra aplicação na ortopedia é a utilização de dispositivos para uma rápida cicatrização de ossos fraturados, como é observado na Figura 2, onde são utilizados pequenos grampos que inicialmente são colocados em sua forma aberta, em seguida é feito um aquecimento do grampo através de um dispositivo externo, que irá comprimir o osso fraturado, acelerando a cicatrização e reduzindo o tempo de recuperação (MACHADO E SAVI, 2003).

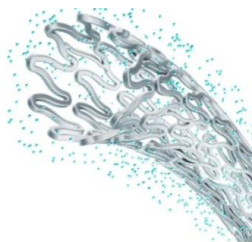
Figura 2: Grampos utilizados para otimizar a cicatrização do osso



Fonte: TECHIMPORT, 2021.

A Figura 3 apresenta outro dispositivo existente: o stent, ele é utilizado para angioplastia, é colocado de forma comprimida nos vasos sanguíneos via catetér e em seguida é aquecido pela própria corrente sanguínea, seu principal objetivo é garantir um reforço do vaso sanguíneo e manter seu diâmetro interno permitindo o fluxo correto do sangue (TARNIȚĂ ET AL., 2008).

Figura 3: Representação de um stent cardiovascular.

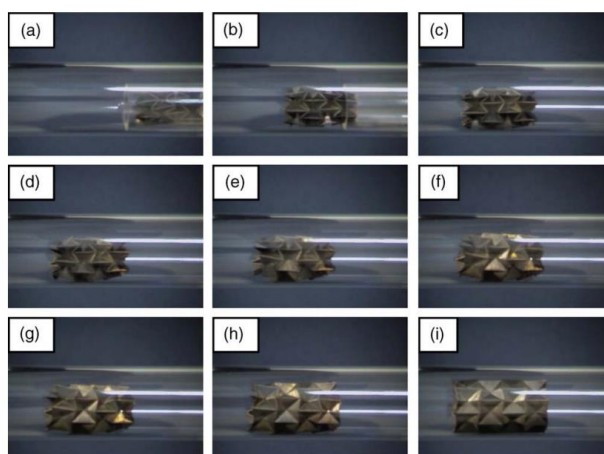


Fonte: MEDICALEXPO, 2021^a.

Além do stent ser utilizado na área cardiovascular, ele pode ser utilizado também no tratamento da obstrução biliar, da traqueia, estenose, e esofágica, retossigmoidal, estenoses prostáticas e uretrais. Para isso é necessário cobrir com um material polimérico podendo assim substituir a endoprótese (KURIBAYASHI ET AL., 2006).

Outra aplicação é relacionada a endoprótese, na Figura 4, uma LMF foi aplicada na construção de folhas de NiTi que cumprem a mesma função do stent. As Figuras 4 (a) e (b) apresentam a folha de NiTi testada, a qual está em forma de cilindro, sendo inserida em tubo de acrílico maior (que simula as artérias do corpo humano) por um tubo de acrílico menor (que representa o catetér utilizado durante o procedimento). Após passar completamente pelo tubo menor (Fig. 4-c-d), o componente será aquecido (Fig. 4-e). Representando o aquecimento da corrente sanguínea) e ao atingir o mesmo diâmetro do tubo maior (Fig. 4-f), terá atingido a mesma função do stent, reforçando a parede das artérias (KURIBAYASHI ET AL., 2006).

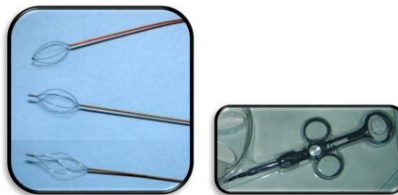
Figura 4: Ensaio da utilização da folha de NiTi em endoprótese.



Fonte: KURIBAYASHI ET AL., 2006.

Outro exemplo de aplicação das LMF na área médica é a sua utilização em diversos instrumentos cirúrgicos, como por exemplo em pinças de biópsia, endoscópios cirúrgicos e os abdutores de tecido. Esses instrumentos de LMF são produzidos com o principal objetivo de serem altamente flexíveis, resistentes a torção e fornecerem uma força constante (TARNIȚĂ ET AL., 2008). Outros exemplos são extratores de pedra de nitinol (Fig. 5), os quais têm por objetivo capturar e extrair pedras mesmo nas partes mais difíceis do corpo humano (TARNIȚĂ ET AL., 2008).

Figura 5: Apresenta o extrator de pedra.



Fonte: ALLWIN, 2021.

A Figura 6 apresenta a haste espinhal com memória de forma que utilizada para auxiliar na correção da escoliose. Esta haste apresenta EMF, e tem a capacidade de retornar a sua forma pré-definida no tratamento térmico. É utilizada normalmente em crianças e jovens, pois ela irá permitir um alongamento com o tempo, não precisando trocar com frequência. Espera-se que a haste seja colocada na coluna durante uma cirurgia invasiva e após isso a curvatura da mesma seja corrigida parcialmente e assim ocorra a fusão vertebral, durante a recuperação do cirurgia, para que a haste tenha uma vida útil longa (BAHRAMINASAB E SAHARI, 2013).

Figura 6: Haste espinhal de LMF.



Fonte: SUZHOU KANGLI ORTHOPAEDICS INSTRUMENT, 2021.

A Figura 77 apresenta placas para osso fraturado, que são utilizadas para recuperar o osso fraturado em áreas onde não se pode colocar gesso, como nariz e mandíbula. Eles são colocados na fratura e fixados com parafusos, após isso as placas são aquecidas onde tendem a recuperar sua forma anterior unindo as duas partes fraturadas, permitindo assim que ajude na cicatrização (BAHRAMINASAB; SAHARI, 2013)

Figura 7: Placas para osso fraturado.

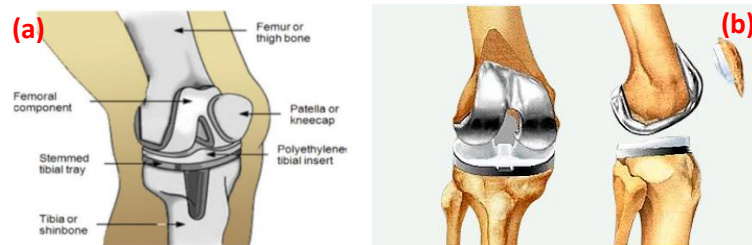


Fonte: SICHUAN HESHUN MEDITECH, 2021.

A Figura 8 apresenta um componente composto de metal e de plástico, como polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) ou polietileno reticulado (XLPE), para isso o componente femoral e a bandeja tibial, são compostas de metal, podendo ser de LMF, a

fim de permitir que o osso possa ter uma articulação próxima da normal (BAHRAMINASAB E SAHARI, 2013).

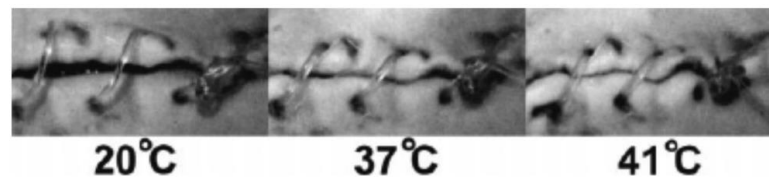
Figura 8: Representação da prótese no joelho.



Fonte: a) BAHRAMINASAB E JAHAN, 2011. B) TOSTES, 2021.

A Figura 9 apresenta as ligas com memória de forma sendo utilizada em suturas, onde o fio foi colocado a 20°C e foi feito um aquecimento até 41°C, ou seja, da fase martensita para a fase austenita. Este fio foi escolhido, pois permite uma cicatrização mais rápida (SERRANO; AMEER, 2012).

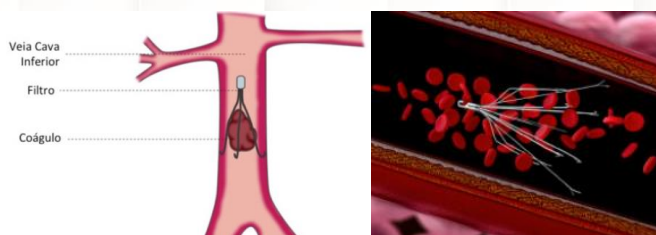
Figura 9: Utilização de um fio de LMF em suturas.



Fonte: APUD SERRANO E AMEER, 2012.

A Figura 10, apresenta outra aplicação médica das LMF: o Filtro Simon. Ele é utilizado para prevenir embolias pulmonares. Seu principal objetivo é capturar oágulos que estão na corrente sanguínea e com o tempo eles serem dissolvidos pela própria corrente sanguínea. Para colocar o dispositivo é necessário que o dispositivo esteja na fase martensita para que possa ser deformado, para isso o dispositivo estará em uma solução salina, que permitiu uma baixa temperatura e é colocado no corpo através do cateter, em seguida o dispositivo é liberado e é retirada a solução salina, permitindo que a corrente sanguínea esquente o dispositivo e ele mude da fase martensita para austenita, recuperando assim sua forma inicial (MACHADO E SAVI, 2003).

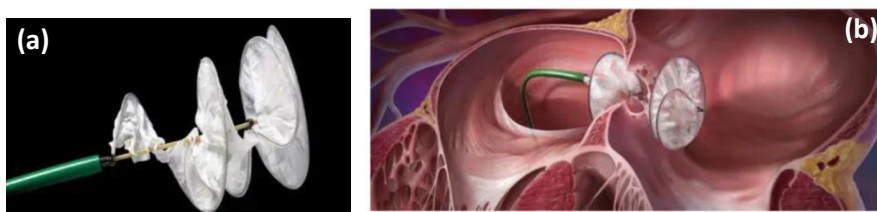
Figura 10: Apresenta o filtro simon sendo utilizado na veia cava



Fonte: BATAGINI, 2021.

Outra aplicação médica das LMF é o dispositivo de oclusão do septo atrial, apresentado na Figura 11-a, que tem como principal objetivo fechar o orifício atrial localizado nos átrios esquerdo e direito de forma minimamente invasiva. Este dispositivo é composto por fios de LMF e por um filme impermeável de poliuretano. Para colocar o dispositivo é necessário que a primeira parte esteja na fase martensita para que possa ser deformado é utilizado um cateter que irá passar pela veia cava até o coração, então será colocado no orifício e aberto, recuperando sua forma original, a Figura 11-b é uma imagem ilustrativa da forma como o dispositivo é utilizado (MACHADO E SAVI, 2003).

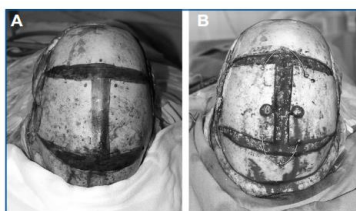
Figura 11: Dispositivo de oclusão do septo atrial. a) visão geral. b) Posição correta a ser colocado o dispositivo de oclusão do septo atrial



Fonte: a) MEDICALEXPO, 2021^b. b) SKIN AND HEART CLINIC, 2021.

As ligas de NiTi também são utilizadas na craniossinostoses. Na Figura 12 é apresentado um tratamento de osteogênese. Neste caso, os ossos do crânio são frágeis e por isso estão separados por uma tensão, assim, para melhorar a condição do paciente, são utilizados anéis de nitinol, o qual é colocado para unir os segmentos do crânio, porém com um certo espaço entre eles, permitindo a expansão quando necessária do cérebro (HORNBOGEN, 2009).

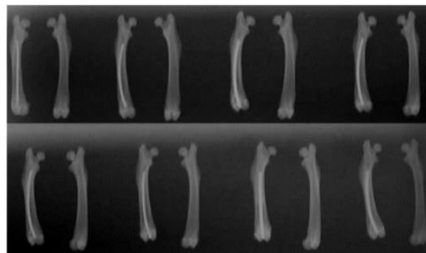
Figura 12: Representação do fio de NiTi utilizado no tratamento de osteogênese



Fonte: KOBUS, ET AL., 2007.

Na Figura 13, é apresentado um ensaio que foi realizado em ratos no laboratório de Centro de Animais da Universidade de Oulu, na Finlândia. Para esse trabalho um fio de Ni-Ti, foi utilizado no osso diafisário, localizado próximo aos ossos longos do corpo observando sua mudança de curvatura. Foi observado que essa curvatura poderia ser controlada com uma haste intramedular, porém o raio de curvatura variava de acordo com o osso e quanto mais profundo o fio estivesse no osso. Este estudo teve importância para a análise de espessura, com um tamanho máximo de 1,4mm e comprimento do osso máximo de 26 mm e também para confirmar que o fio poderia ser utilizado de forma a se obter um menor tempo de recuperação e permitir a substituição de peças mais robustas e que não daria o mesmo movimento. (HORNBOGEN, 2009)

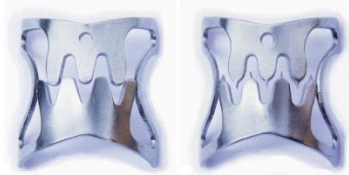
Figura 13: Ensaio para observar o comportamento do fio de NiTi no osso diafisário



Fonte: HORNBOGEN, 2009.

Na Figura 14, é apresentado o dispositivo de nitinol, utilizado nos problemas gastrointestinais, como perfurações e controle de alimentações. O clipe é colocado onde há o problema, a partir de um endoscópio que irá liberar o dispositivo, esse dispositivo tem 4,5mm e quando comparado com outros, apresenta uma força de 8 a 9 N, sendo isso suficiente para interromper o sangramento (SONG, 2010).

Figura 14: Dispositivo utilizado nos problemas gastrointestinal

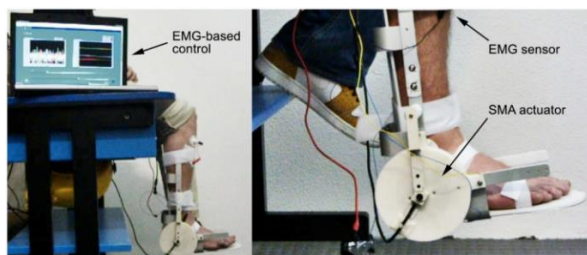


FONTE: APUD SONG, 2010

A Figura 15 apresenta o Toe-Up, que é um equipamento que permite a movimentação dos membros inferiores dos pacientes, após sofrerem paresia, este equipamento tem um fio de

NiTi, o qual é aquecido ou resfriado, dependendo o movimento que deseja, esse equipamento permite que os membros inferiores se movimente para cima e para baixo, para a esquerda e para a direita, o objetivo desse equipamento é que com a movimentação o eletromiógrafo (EMG), capture alguns sinais de espasmos, e assim determinar se há chances do paciente recuperar sua força motora (PITTACCIO ET AL., 2015)

Figura 15: Toe-Up de NiTi



Fonte: PITTACCIO ET AL., 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os aspectos observados pode-se concluir que as LMF podem ser utilizadas em diversas áreas da medicina, como por exemplo na cardiologia, na neurologia e na ortopedia, devido as suas propriedades de recuperar a forma inicial mesmo após serem deformadas. De acordo com os trabalhos estudados, percebe-se que com a utilização das LMF na medicina foi possível fazer uma quantidade maior de procedimentos de forma minimamente invasiva, além de permitir também o desenvolvimento de equipamentos em outras áreas relacionadas, como a de fisioterapia, em que os pacientes podem usar dispositivos para recuperação de movimentos.

Pode-se concluir ainda que as ligas com memória de forma de NiTi, por serem biocompatíveis, continuarão sendo altamente demandadas na área da medicina, tanto no uso mais intenso dos dispositivos já desenvolvidos, como no projeto de novos, o que permitirá a redução de procedimentos mais invasivos e a substituição de equipamentos maiores por equipamentos mais compactos, práticos e acessíveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do IFPB e CNPq, disponibilizados através dos editais: Chamada 01/2020- Interconecta - Coordenador de Projeto; Edital de Pesquisa 16/2020 - PIBIC/CNPq; Edital de pesquisa 27/2021 - PIBITI/CNPq;

REFERÊNCIAS

ALLWIN. **Sonda Extratora de Cálculo em Nitinol ALLWIN**. Disponível em: <https://eicmedical.com.br/wp-content/uploads/2019/09/IU-BASKET-DE-NITINOL.pdf>.

Acesso em 14-10-2021.

BAHRAMINASAB, M.; SAHARI, B. BIN. NiTi Shape Memory Alloys, Promising Materials in Orthopedic Applications. **Shape Memory Alloys - Processing, Characterization and Applications**, n. May 2014, 2013.

BATAGINI, N., **Filtro veia cava**. Disponível em: <https://www.dranayarabatagini.com.br/tratamentos/trombose-venosa-profunda/filtro-de-veia-cava/>. Acesso em: 27-09-2021.

HORNBOGEN, E. Shape memory alloys: metallurgy, biocompatibility, and biomechanics for neurosurgical applications. **Praktische Metallographie/Practical Metallography**, v. 26, n. 6, p. 279–294, 2009.

KOBUS K, WEGRZYN M, LEKSTON Z, MORAWIEC H, DRUGACZ J: Modeling of scaphocephaly using superelastic titanium- nickel rings: A preliminary report. **J Craniofac Surg** 18:504–510, 2007

KURIBAYASHI, K. et al. Self-deployable origami stent grafts as a biomedical application of Ni-rich TiNi shape memory alloy foil. **Materials Science and Engineering A**, v. 419, n. 1–2, p. 131–137, 2006.

MACHADO, L. G.; SAVI, M. A. Medical applications of shape memory alloys. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 36, n. 6, p. 683–691, 2003.

^a MEDICAL EXPO. **D Eurocor**. Disponível em: <https://www.medicalexpo.com/prod/eurocor/product-89765-1002340.html>. Acesso: 14-10-2021.

^b MEDICAL EXPO. **Dispositivo de oclusão para correção de comunicação interatrial HELEX®**. Disponível em: <https://www.medicalexpo.com/pt/prod/gore/product-84515-541231.html>. Acesso: 27-09-2021.

MORGAN, N. B. Medical shape memory alloy applications - The market and its products. **Materials Science and Engineering A**, v. 378, n. 1- 2 SPEC. ISS., p. 16–23, 2004.

NEUROCIRURGIA. **Espacador interespinhoso**. Disponível em: <https://neurocirurgia.com/espacador-interespinhoso/>. Acesso em: 01 de outubro de 2021.

OMID, S. O. et al. Self-expanding stents based on shape memory alloys and shape memory polymers. **Journal of Composites and Compounds**, v. 9, p. 1179061X1876788, 2020.

PETRINI, L.; MIGLIAVACCA, F. Biomedical Applications of Shape Memory Alloys. **Journal of Metallurgy**, v. 2011, n. Figure 1, p. 1–15, 2011.

PITTACCIO, S. et al. Applications of Shape Memory Alloys for Neurology and Neuromuscular Rehabilitation. **Journal of Functional Biomaterials**, v. 6, n. 2, p. 328–344, 2015.

SERRANO, M. C.; AMEER, G. A. Recent insights into the biomedical applications of shape-memory polymers. **Macromolecular Bioscience**, v. 12, n. 9, p. 1156–1171, 2012.

SICHUAN HESHUN MEDITECH. **Placa de osso da liga da memória do TiNi**. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/tini-shape-memory-alloy-bone-fixation-implant-60621508986.html>. Acesso: 29-09-2021.

SKIN AND HEART CLINIC. **ASD /VSD /PDA/ RSOV Device Closure**. Disponível em: <https://www.skinandheartclinic.com/asd-vsd-pda-rosv-closure.html>. Acesso em: 27-09-2021.

SONG, C. History and Current Situation of Shape Memory Alloys Devices for Minimally Invasive Surgery. **The Open Medical Devices Journal**, v. 2, n. 2, p. 24–31, 2010.

SUZHOU KANGLI ORTHOPAEDICS INSTRUMENT. **Espinha cirurgia ortopédica k3.2, sistema de unhas de titânio haste**. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/spinal-surgery-k3-2-orthopedic-titanium-rod-nail-system-1435949423.html>. Acesso em: 27-09-2021.

TARNIȚĂ, D. et al. Properties and medical applications of shape memory alloys. **Romanian Journal of Morphology and Embryology**, v. 50, n. 1, p. 15–21, 2008.

TECHIMPORT. **Grampo com componente não absorvível para osteossíntese ou ligamentoplastia**. Disponível em: https://techimportimplantes.com.br/uploads/81118460032_rev0.pdf. Acesso em: 14-10-2021.

TOSTES, M. Artrose: **Cirurgia - Prótese de joelho**. Disponível em: <https://www.drmarcelotostes.com/joelho/artrose/protese-do-joelho>. Acesso em: 29-09-2021.