

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PUBLICAÇÕES LATINO-AMERICANAS SOBRE LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA

Danilo Maia de Oliveira, danilo.maia@unesp.br¹
Estephania Nobre Dantas Grassi, end.grassi@hotmail.com¹
Carlos José De Araújo, carlos.araujo@ufcg.edu.br¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB

Resumo: Bancos de dados científicos e acadêmicos como o Scopus mantém em sua plataforma uma enorme quantidade de artigos de periódicos indexados. As informações contidas nessas plataformas como citações, palavras-chave, títulos, periódicos, autores e instituições fornecem material valioso para realizar pesquisas de avaliação da produção científica usando análises bibliométricas. Este estudo aborda a análise da publicação científica latino-americana sobre ligas com efeito memória de forma (ou SMA, do inglês, Shape Memory Alloys) por meio da análise de indicadores bibliométricos fornecidos pela base Scopus. A área foi escolhida em razão das demandas particulares da sociedade nos diversos setores como industrial, biomédico e aeroespacial, que geram muitos desenvolvimentos no campo das estruturas adaptativas com as SMA. Analisar os dados de pesquisas realizadas nessa área é importante pois serve como um procedimento de investigação de mudanças, tendências e oportunidades. Objetiva-se com esse estudo oferecer uma análise classificatória quantitativa e qualitativa utilizando métricas refinadas na avaliação da produção científica, como o indicador Field-Weighted Citation Impact (FWCI), para mapear o nível de esforço que foi dirigido por pesquisadores latino-americanos em desenvolver pesquisas utilizando SMA. A partir da análise de artigos científicos publicados em periódicos indexados na base de dados SCOPUS, foram selecionados 220 artigos no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021 e categorizados com base na área de aplicação, ano de publicação, país de origem, instituição de pesquisa e financiador do estudo. Para isso, foi utilizada a ferramenta Scival, que agrega dados de publicação e citações a partir da base de dados Scopus, e a ferramenta VOSviewer para construção e combinação bibliográfica ou de relações de coautoria por meio dos dados obtidos. A interpretação dos dados permite confirmar o expressivo crescimento da produção científica de pesquisadores vinculados a instituições latino americanas no tema e da grande contribuição de países como Brasil, Argentina e México para essa evolução. Foi observado ainda que existem oportunidades em diversas áreas de pesquisa que podem direcionar pesquisadores para futuras trabalhos no campo de SMA.

Palavras-chave: Ligas com Memória de Forma, SMA, Produção Científica, Bibliometria, FWCI.

1. INTRODUÇÃO

A análise bibliométrica é um método que já vem sendo muito utilizado para explorar e analisar grandes volumes de dados científicos. Esse tipo de análise permite desvendar as nuances evolutivas de um campo específico, enquanto lança luz sobre as áreas emergentes nesse campo (DONTU et al., 2021). Como a pesquisa científica se tornou cada vez mais competitiva, com maior demanda por demonstrar um retorno do investimento, os tomadores de decisão em universidades, órgãos de financiamento e agências governamentais estão cada vez mais contando com abordagens quantitativas para apoiar o processo de avaliação da pesquisa (PURKAYASTHA et al., 2019). Vale ressaltar que o surgimento de base de dados da ciência, como Scopus (da Elsevier) e Web of Science (da Clarivate Analytics), tornaram o acesso de grandes volumes de dados bibliométricos relativamente fáceis e softwares bibliométricos como Gephi, Leximancer e VOSviewer permitem a análise de tais dados de uma forma muito pragmática, aumentando assim o interesse dos acadêmicos em análise bibliométrica nos últimos tempos (DONTU et al., 2021). Como resultado, a bibliometria tornou-se, no contexto contemporâneo, uma ferramenta essencial para avaliar e analisar a produção dos pesquisadores (ELLEGAARD; WALLIN, 2015), colaboração entre instituições (SKUTE et al., 2019), impacto do investimento científico estatal na produtividade nacional de P&D (FABREGAT-AIBAR et al., 2019) e qualidade acadêmica (VAN RAAN, 1999), a cooperação entre universidades e na eficiência educacional, entre outras aplicações (MORAL-MUÑOZ et al., 2020). A análise bibliométrica, pode ser dividida em dois grandes campos de estudo ou áreas temáticas: análise de desempenho e mapeamento científico. Portanto, estudos bibliométricos bem elaborados podem construir bases sólidas para o avanço de um campo de significativas maneiras, permitindo capacitar melhor os pesquisadores, identificar lacunas de pesquisa, derivar novas ideias e posicionar contribuições importantes pretendidas para a área de estudo.

Uma vez cientes do potencial dos estudos bibliográficos, no que tange o tema das SMA, verifica-se uma falta de estudos voltados para a análise da produção científica latino-americana na área de ligas com efeito memória de forma.

Vale salientar ainda que, particularmente no Brasil, as *SMA* fazem parte do quadro de áreas estratégicas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), especificamente na área de Tecnologias Habilitadoras, subárea de Materiais Avançados. Sendo assim, a intensificação deste tipo de estudo nesta área é desejável, visando contribuir para a elaboração de políticas e estratégias voltadas à superação das carências e limitações do setor, bem como à necessidade de melhor compreender as especificidades de seus processos de desenvolvimento científico, tecnológico e econômico. Neste contexto, objetiva-se com esse estudo oferecer uma análise classificatória para mapear o nível de esforço dirigido por pesquisadores latino-americanos no desenvolvimento de pesquisas utilizando *SMA*, permitindo um diagnóstico da produção científica sobre o tema.

1.1 Ligas com Efeito Memória de Forma

Entre os materiais inteligentes mais importantes tecnologicamente estão as Ligas com Memória de Forma (ou *SMA*, do inglês, *Shape Memory Alloys*), termo utilizado para caracterizar uma série de ligas metálicas que possuem alta capacidade de recuperação da sua forma previamente definida após serem submetidos a um ciclo termomecânico apropriado (MOHD JANI *et al.*, 2014). Isso se deve principalmente aos efeitos de memória de forma e à superelasticidade das *SMA*. Essas propriedades tornam esses materiais uma excelente alternativa para serem utilizados em sistemas de controle passivo, semiativo e ativo em uma série de aplicações de engenharia (ZAREIE *et al.*, 2020).

As *SMA* apresentam propriedades termomecânicas distintas em relação a ligas metálicas convencionais típicas de engenharia. Quando submetidas a uma grande deformação, que é aparentemente plástica, essas ligas podem recuperar sua forma original aplicando-se calor, o que é denominado efeito memória de forma (EMF) (ZAREIE; ZABIHOLLAH, 2020). A aplicação de calor leva o material acima de sua temperatura de transformação de fase e faz com que a *SMA* recupere sua forma inicial. Outra característica importante das *SMA* é sua superelasticidade (SE), que é a capacidade de recuperar sua forma original após a aplicação e remoção de carga/tensão (SUN *et al.*, 2019), ocorrendo quando a liga é deformada a uma temperatura superior a uma temperatura crítica.

A mudança nas microestruturas cristalinas da *SMA* é a principal responsável pelo EMF e SE. Para alterar a estrutura cristalina, a energia livre de Gibbs deve ser alterada aplicando carga mecânica e/ou gradiente de temperatura. Uma *SMA* pode apresentar duas estruturas cristalinas e o efeito de memória da forma envolve transformações de fases entre essas duas estruturas. A primeira das duas fases denomina-se Austenita e tem uma estrutura cúbica de corpo centrado que existe em temperaturas mais altas. A segunda fase denomina-se Martensita, com uma estrutura que pode ser tetragonal, ortorrômbica ou monoclinica (dependendo da composição da liga), ocorrendo à uma temperatura mais baixa. A mudança à forma se deve a uma mudança na estrutura cristalina que ocorre sem difusão de átomos, apenas por cisalhamento da rede, o que possibilita sua reversão mecânica. Por isso, esta transformação é chamada de transformação martensítica termoelástica.

Existe uma grande variedade de ligas metálicas que apresentam os comportamentos de EMF e SE (SAUD *et al.*, 2014). Estes materiais são tecnologicamente relevantes para diversos setores da indústria, tais como: setor petróleo e gás, indústria aeronáutica, automotiva, aeroespacial, biomecânica, automação, internet das coisas e outras tecnologias utilizadas para assistência de montagem (MOTZKI; SEELECKE, 2022).

Visto o potencial de aplicação das *SMA*, e com a intenção de quantificar as pesquisas em torno desses materiais, foi utilizada neste trabalho a análise de dados como um procedimento de investigação, fornecendo informações para identificar mudanças e disponibilizar informações que podem ser utilizadas para recomendar soluções e apoiar decisões em diferentes cenários e estágios de desenvolvimento científico-tecnológico (MALEK; DESAI, 2020). Neste trabalho, foi realizado um resumo dos dados das publicações oriundas da América Latina sobre *SMA*, reunindo o trabalho de pesquisadores que, através de abordagens teóricas, numéricas e experimentais, aprimoram os atributos das *SMA* e estudam o comportamento de diversas ligas que produzem o EMF e a SE.

2. MÉTODO DA PESQUISA

A bibliometria possibilita a observação do estado da arte da ciência e tecnologia por meio da produção científica registrada em um repositório de dados. É um método que permite situar um país em relação ao mundo, uma instituição em relação a um país, cientistas em relação às próprias comunidades científicas. Baseia-se na contagem de artigos científicos, patentes, citações e órgãos de financiamento.

Para realizar uma análise bibliométrica, a primeira etapa é decidir a melhor fonte de dados que se encaixa com a área de pesquisa a ser avaliada. É importante destacar que o número de bases de dados bibliográficos é alto (por exemplo, Web of Science, Scopus, SpringerLink, entre outras), mas nem todas fornecem informações que permitem realizar análises bibliométricas com facilidade.

Na presente pesquisa foram utilizados dados de produção científica latino-americana baseada em artigos publicados em periódicos e anais de congressos indexados na base de dados Scopus em diversas áreas do conhecimento e sobre ligas com memória de forma. Os desenvolvedores do Scopus afirmam que a base Scopus é o maior banco de dados de resumos e citações da literatura com revisão por pares: revistas científicas, livros, anais de eventos e publicações do setor. Oferecendo um panorama abrangente da produção de pesquisas do mundo nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades, a solução Scopus disponibiliza ferramentas inteligentes para monitorar, analisar e visualizar pesquisas. De fato, o Scopus é bastante utilizado como base de dados para estudos bibliométricos, uma vez que

essa base é responsável por indexar inúmeros títulos acadêmicos de qualidade e com rigor metodológico, revisados por pares, anais de eventos, publicações comerciais, livros, páginas da web de conteúdo científico e patentes (CARDOSO, 2021).

No presente trabalho, como critério de seleção dos dados, foi utilizada a palavra-chave com três termos: “*Shape Memory Alloy*”, considerando ser a nomenclatura de busca padrão. Foram considerados artigos latino-americanos aqueles que pelo menos um autor possua filiação com instituições de ensino e/ou pesquisa de países latino-americanos. Foram selecionados 210 artigos científicos, sendo 216 (98,2%) artigos de pesquisa e 4 (1,8%) artigos de revisão publicados em periódicos acadêmicos. A busca contempla o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021. Como critério de refinamento adicional, foram considerados apenas os idiomas: inglês ($n = 217$), português ($n = 2$) e espanhol ($n = 1$). Para manter a qualidade do presente estudo, foram incluídos apenas artigos de periódicos e excluíram-se capítulos de livros, conferências, notas editoriais e cartas.

Para chegar-se a uma métrica mais refinada na avaliação da produção científica no tema analisado, esse estudo também utilizou o indicador de impacto de citação ponderada em campo (*Field-Weighted Citation Impact - FWCI*). Este indicador representa o impacto médio da citação, comparando o número real de citações recebidas por um documento com o número esperado de citações para documentos do mesmo tipo (artigo, revisão e livro), ano de publicação e área temática. O *FWCI* é sempre definido com relação a uma base global de 1 e mostra diferenças no acúmulo de citações ao longo do tempo, diferenças nas taxas de citações para diferentes tipos de documentos (por exemplo, artigos de revisão normalmente atraem mais citações do que artigos de pesquisa), bem como diferenças específicas de assuntos nas frequências de citação em geral e também ao longo do tempo (PURKAYASTHA *et al.*, 2019). Para uma rápida interpretação do *FWCI*, de acordo com o Scopus, se o *FWCI* é igual a 1, número de citações recebidas pelo artigo é igual à média global esperada; um *FWCI* n vezes maior que 1 significa que o artigo foi $(n-1) \times 100\%$ mais citado que o esperado; e um *FWCI* menor que 1 representa um número menor de citações que o esperado, de acordo com a média global.

Com o sentido de mapear as palavras-chaves mais utilizadas nos artigos analisados nesta pesquisa, foi empregada a ferramenta Scival, que agrega dados de publicação e citações a partir da base de dados Scopus. Essa tecnologia de *big data* permite aos usuários visualizar e analisar rapidamente grandes volumes de dados e gerar gráficos com nuvens de palavras.

Para visualizar as redes bibliométricas com periódicos, pesquisadores ou publicações individuais com base em cocitação e coautoria, foi utilizado o VOSviewer, que é uma ferramenta (*software*) desenvolvida para construção de combinação bibliográfica ou de relações de coautoria por meio dos dados obtidos na base Scopus (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para esse estudo, foram selecionados cinco principais países da América Latina (Argentina, Brasil, Colômbia, Chile e México) que mais produzem e publicam artigos indexados na base de dados Scopus. Na Figura 1 é possível visualizar o número de publicações indexadas sobre Ligas com Memória de Forma por país e classificados por número de publicações.

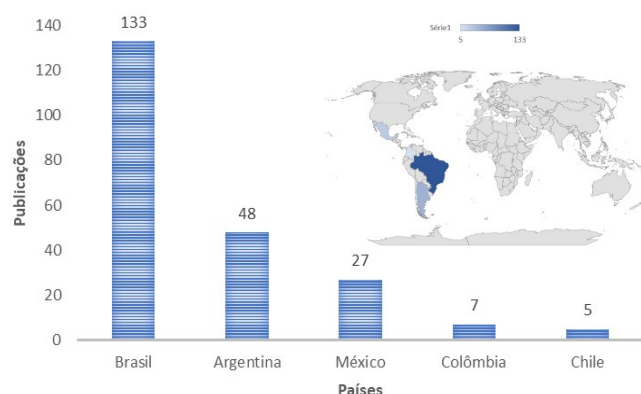


Figura 1. Número de publicações indexadas por País (SCOPUS, 2022).

Utilizando a categorização dos artigos selecionados com base no ano de publicação (Fig. 2) é revelado um indicativo de que o número de publicações a respeito das SMA pela região nos últimos cinco anos (2017 a 2021) se mantém na média de 43,6 artigos por ano.

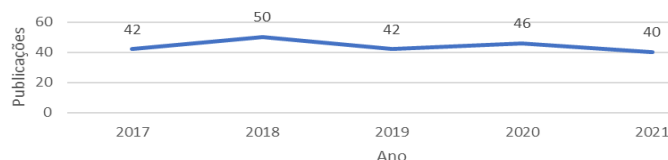


Figura 2. Evolução das publicações latino-americanas sobre SMA (SCOPUS, 2022).

Contudo, no ano de 2021 houve uma discreta, porém, clara diminuição no número de publicações, tornando esse ano o de menor produtividade no período analisado. Esse fato pode ter sido ocasionado pelas restrições contra a disseminação da Covid-19, como o fechamento de laboratórios e distanciamento social.

A base Scopus classifica os artigos por áreas temáticas das revistas onde foram publicados, sendo importante lembrar que um artigo pode ser classificado em mais de um campo das ciências. A Figura 3 revela que mais de 80% dos artigos com o tema ligas com memória de forma publicados no período analisado estão inseridos em apenas 3 (três) áreas principais: Ciência dos Materiais, Engenharia e Física e Astronomia. Observa-se também que os campos de Bioquímica, Genética e Biologia Molecular e Odontologia concentram apenas 1,2% e 1,2%, respectivamente, das publicações da área de pesquisa nesses campos. Em seguida, Ciências da Computação e Matemática representam 3,2% das publicações, cada. Essas áreas podem ser observadas como oportunidades de pesquisas com possibilidade de descoberta de lacunas científico-tecnológicas.

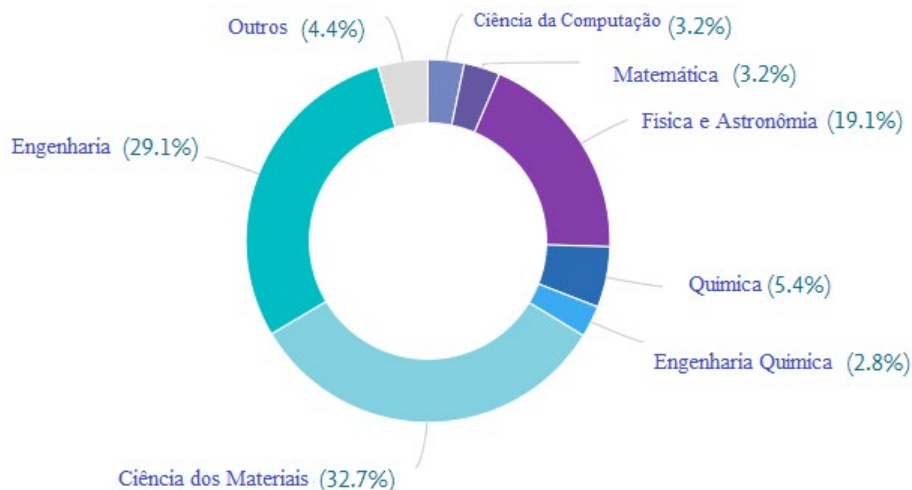


Figura 3. Publicações categorizadas indexadas por área de estudo (SCIVAL, 2022).

Na Figura 4 é utilizado o recurso gráfico nuvem de palavras (*Wordclouds*), que representa frequências de palavras-chaves (*Keywords*) utilizadas nas publicações analisadas. Por meio de algoritmos é possível construir imagens formadas por dezenas de palavras cujas dimensões indicam sua frequência ou relevância temática em meio a centenas ou milhares de publicações. Pode-se observar os tópicos de tendências com base na frequência de palavras-chave obtidas nos artigos analisados, que indicaram que no período de 2017 a 2021 palavras-chave como "*Shape Memory Effect*", "*Martensitic Transformation*" e "*Manganese*" foram predominantes no Scopus, seguidos por tópicos como "*Nitinol*", "*Titania Nickelide*" e "*Smart Structure*". "*Wire*" também aparece em destaque entre as palavras-chave, o que mostra uma preferência dos pesquisadores pela utilização de *SMA* em formato de fios. Vale salientar que a literatura mostra que outros formatos como por exemplo molas helicoidais, placas anisotrópicas e designs mais complexos obtidos por corte a laser ou manufatura aditiva também têm sido usados com sucesso quando é necessário projetar o comportamento mecânico do material para aplicações sob medida. Assim, há também uma oportunidade local para utilização de *SMA* em formatos outros que não fios.

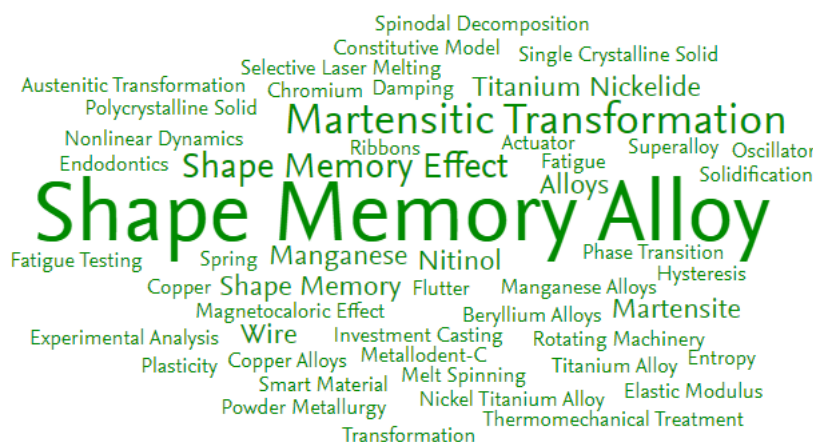


Figura 4. Nuvem de palavras-chaves nos artigos submetidos no SCOPUS (SCIVAL, 2022).

Dadas as limitações amplamente reconhecidas do uso de métricas tradicionais, como contagens brutas de citações, fator de impacto do periódico e índice h, a pesquisa bibliométrica tem se concentrado no desenvolvimento de métricas mais avançadas no nível do artigo, que medem o impacto da citação enquanto também contabilizam o campo de estudo e

o tempo de publicação. Para suprir tais limitações, nas tabelas a seguir é utilizado o indicador *FWCI* para a classificação das instituições, autores, periódicos e das publicações analisadas no período avaliado.

A análise de conteúdo dos artigos selecionados revela que muitas instituições estão trabalhando ativamente na área de *SMA*. Algumas das instituições mais ativas em termos do número de publicações são apresentadas na Tab. 1. Quando se trata da produção científica, as instituições localizadas no Brasil são as principais, com a Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (31) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (29) ocupando a primeira e a segunda posição, respectivamente.

Em relação ao número de citações e, concomitantemente, ao *FWCI*, duas instituições brasileiras se destacaram em termos de impacto, se considerarmos o impacto como sendo proporcional ao número de citações. São elas a Universidade de São Paulo, que segundo o *FWCI*, publicou artigos que receberam 83% a mais de citações em relação à média esperada; e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, estando 18% acima da média esperada.

Tabela 1. Frequência de publicações sobre SMA associadas às instituições de ensino e pesquisa (SCOPUS, 2022).

Instituição	País	Artigos	Field-Weighted Citation Impact	Citações
Universidade Federal de Campina Grande	Brasil	31	0.51	116
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	29	1.18	237
Comisión Nacional de Energía Atómica	Argentina	26	0.39	140
Universidad Nacional de Cuyo	Argentina	20	0.33	119
Universidad Nacional de Rosario	Argentina	19	0.67	105
Universidade de São Paulo	Brasil	16	1.83	195
Universidade Federal da Paraíba	Brasil	16	0.44	55
Universidade Federal de São Carlos	Brasil	15	0.59	94
Instituto Potosino de Investigacion Cientifica y Tecnologica	México	14	0.93	145

Observando a Figura 5, onde são ranqueados os maiores financiadores de estudos de pesquisadores ligados a instituições latino-americanas, nota-se que seis das dez maiores instituições de financiamento de pesquisas latino-americanas são localizadas no Brasil, todas financiadas por organizações de fomento públicas. Três destas agências de fomento são ligadas ao governo de estados do Brasil, sendo elas de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (12), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ (25) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (26)). Três instituições são ligadas ao governo Federal brasileiro: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI (40), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES (69) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (71). Em seguida, temos três instituições de fomento à ciência argentinas (*Ministerio de Ciencia, Tecnologia e Innovacion Productiva* (12), *Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica* (18) e *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas* (24)) e uma instituição mexicana (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (11)). Não há instituições colombianas ou chilenas entre os 10 maiores financiadores de pesquisas sobre o tema *SMA*.

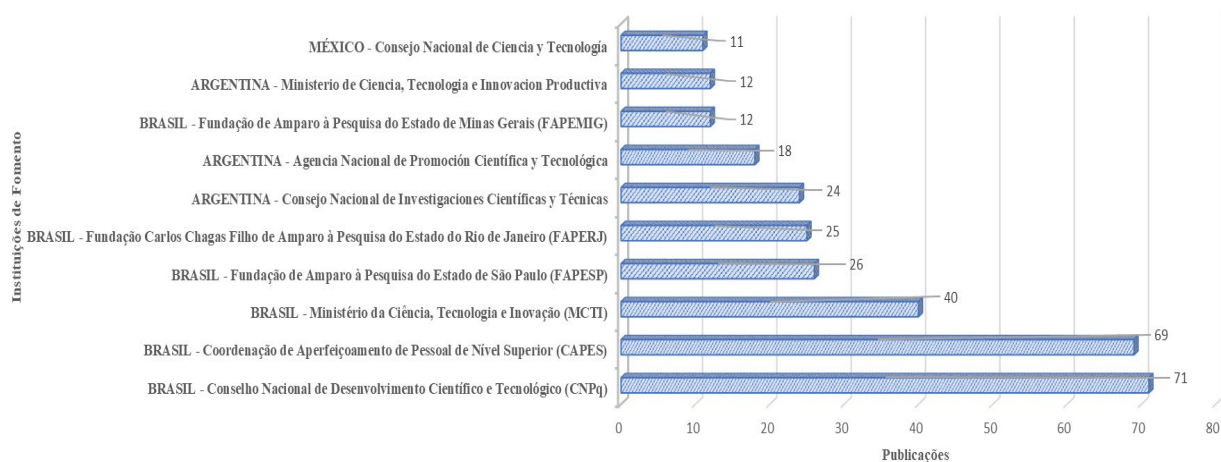


Figura 5. Frequência de publicações sobre SMA associadas às maiores agências de financiamento de C&T (SCOPUS, 2022).

A editora científica Elsevier tem campos para reconhecimento de financiamento das pesquisas que geraram os artigos submetidos em sua plataforma e esses dados são compartilhados pela Scopus. Considerando que os resultados científicos de alto impacto são majoritariamente divulgados à comunidade científica por meio de revistas científicas, a importância dos estudos é avaliada pelo número de citações nesses periódicos. Nesta etapa do presente estudo foram mapeados os números de citações que os artigos publicados por pesquisadores latino-americanos receberam no período de 2017 a 2021. Segundo dados da plataforma Scopus, os 220 artigos analisados foram citados 1.153 vezes. O número de citações anuais aumentou consideravelmente na base de dados nos últimos anos, conforme mostrado na Figura 6.

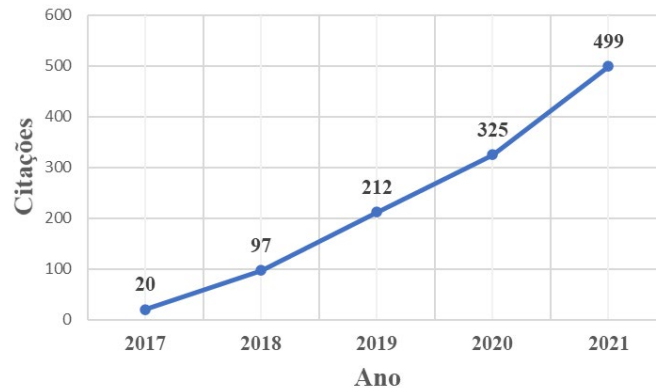


Figura 6. Número de citações das publicações científicas indexadas sobre SMA (Scopus, 2022).

A Tabela 2 classifica o número de publicações científicas por autor. É possível verificar os sete pesquisadores que mais publicaram artigos no período estudado. O pesquisador Marcelo A. Savi, da COPPE/UFRJ, lidera o *ranking* com 22 publicações. Seu principal tema de pesquisa é Ligas com Memória de Forma, pseudoelasticidade e modelos constitutivos. Em segundo lugar, com 20 publicações, está o pesquisador Carlos José de Araújo, da UFCG, que trabalha com pesquisas na área de fabricação, caracterização e aplicação de Ligas com Memória de Forma. Em terceiro lugar está o pesquisador Marcos Leonel Sade Lichtmann da *Comisión Nacional de Energía Atómica* da Argentina, com 10 publicações. Juntos, estes três pesquisadores participaram de 58% das pesquisas publicadas no tema e período analisados.

Tabela 2. Número de publicações por autor indexadas na base de dados Scopus (SCIVAL, 2022).

Autor	Afiliação	País	Artigos	Field-Weighted Citation Impact	Citações
Savi, Marcelo A.	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	22	1,38	211
De Araújo, Carlos José	Universidade Federal de Campina Grande	Brasil	20	0,58	83
Sade, Marcos Leonel	Comisión Nacional de Energía Atómica	Argentina	10	0,4	74
Flores-Zuñiga, Horacio	Instituto Potosino de Investigacion Científica y Tecnológica	México	8	0,95	92
La Roca, P.	Centro Atómico Bariloche/CONICET	Argentina	8	0,82	86
Malarria, J.	Instituto de Física Rosario	Argentina	8	0,75	69
Gargarella, Piter	Universidade Federal de São Carlos	Brasil	7	0,56	67
Kiminami, C. S.	Universidade Federal de São Carlos	Brasil	7	0,33	33

A Tabela 3 apresenta os periódicos que mais publicaram artigos com a temática Ligas com Memória de Forma na base Scopus nos últimos cinco anos, destacando os artigos de autores com vínculo com instituições latino-americanas. É apresentada a listagem dos dez periódicos na base Scopus com maior número de publicações sobre SMA. Esse indicador é relevante por mostrar os principais periódicos científicos da área nos quais os pesquisadores latino-americanos mais publicam, constituindo importante canal de comunicação científica, além da possibilidade de servir como direcional para recém pesquisadores. Com a Tabela 3 também é possível verificar o *FWCI* das publicações de cada periódico, como também o número de citações que esses artigos receberam. Através deste indicador é possível constatar que as revistas onde os artigos tiveram maior impacto foram a *Materials and Design*, *Journal of Alloys and Compounds* e *Corrosion Science*. Vale salientar que o impacto excepcional apresentado pelas publicações da revista *Materials and Design* (que de fato possui indicadores de impacto altos), cujos artigos analisados foram citados 144% acima da média esperada segundo o *FWCI*, pode também estar relacionado ao fato de que este periódico, desde janeiro de 2019, publica exclusivamente artigos em modalidade de acesso aberto (*open access*), o que aumenta a visibilidade da publicação.

Tabela 3. Frequência de publicação em SMA por periódico indexado na Scopus (SCIVAL, 2022).

Periódico	Artigos	Field-Weighted Citation Impact	Citações
Journal of Alloys and Compounds	13	0,99	92
Shape Memory and Superelasticity	11	0,36	81
Journal of Intelligent Material Systems and Structures	10	0,39	43
Materials Research	10	0,15	19
Smart Materials and Structures	8	0,47	23
Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering	7	0,43	30
Materials and Design	6	2,44	63
Materials Characterization	6	0,59	42
Revista Matéria	6	0,05	5
Corrosion Science	5	0,81	32

A Tabela 4 classifica os artigos pelo *FWCI*. Observa-se que uma pesquisa obteve destaque por essa métrica, o estudo “*Laser welding of H-phase strengthened Ni-rich NiTi-20Zr high temperature shape memory alloy*”. Trata-se de um artigo brasileiro da Universidade Federal de São Carlos (UFScar) que recebeu uma ponderação de 11,99, valor muito acima da média dos outros artigos. O estudo aborda a soldagem a laser de uma liga com memória de forma de alta temperatura de NiTi-20Zr, cujos testes mecânicos revelaram uma resistência mecânica das amostras soldadas da ordem de 500 MPa. Assim, este estudo inicial mostra novas possibilidades para o uso de métodos avançados de união a laser nessas ligas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Tabela 4. Publicações indexadas sobre SMA classificadas pelo FWCI (SCIVAL, 2022).

Título do Artigo	Ano	Journal	Citações	Field-Weighted Citation Impact
Laser welding of H-phase strengthened Ni-rich NiTi-20Zr high temperature shape memory alloy (Brasil)	2021	Materials and Design	23	11,99
Shape memory alloy-based mechanism for aeronautical application: Theory, optimization and experiment (Brasil)	2018	Aerospace Science and Technology	37	4,32
Fatigue on shape memory alloys: Experimental observations and constitutive modeling (Brasil)	2021	International Journal of Solids and Structures	6	3,74
Using 0–1 test to diagnose chaos on shape memory alloy dynamical systems (Brasil)	2017	Chaos, Solitons and Fractals	28	3,67
Nonlinear dynamics of an origami wheel with shape memory alloy actuators (Brasil)	2019	Chaos, Solitons and Fractals	16	3,04
Influence of NiTi alloy on the root canal shaping capabilities of the ProTaper Universal and ProTaper Gold rotary instrument systems (Brasil)	2017	Journal of Applied Oral Science	25	2,83
Tunable metamaterial beam with shape memory alloy resonators: Theory and experiment (Brasil)	2018	Applied Physics Letters	36	2,5
Magnetically tunable damping in composites for 4D printing (Argentina)	2021	Composites Science and Technology	4	2,47
Adaptive locally resonant metamaterials leveraging shape memory alloys (Brasil)	2018	Journal of Applied Physics	35	2,26
High temperature cyclic oxidation behavior of a low manganese Fe12Mn9Cr5Si4Ni-NbC shape memory stainless steels (Brasil)	2021	Journal of Alloys and Compounds	4	2,25

O 2º artigo com maior *FWCI* foi o “*Shape memory alloy-based mechanism for aeronautical application: Theory, optimization and experiment*” (4,32), que tem como um dos autores o pesquisador Marcelo A. Savi, da COPPE/UFRJ - Brasil. O estudo destaca que existem limitações na atuação de modernos componentes construídos com materiais tradicionais e o uso de materiais inteligentes vem recebendo mais atenção. Sabe-se que o nível de prontidão técnica para

alguns desses materiais inteligentes é alto o suficiente para permitir o desenvolvimento de novas aplicações aeroespaciais. Uma possível aplicação para essa tecnologia é substituir mecanismos pneumáticos por atuadores com Ligas com Memória de Forma (LEAL; SAVI, 2018). O 3º artigo melhor posicionado nessa classificação é o estudo: “*Fatigue on shape memory alloys: Experimental observations and constitutive modeling*” (3,74) da UFRJ do Brasil, que trata da fadiga de Ligas com Memória de Forma considerando abordagens experimentais e teóricas. Testes experimentais são realizados considerando fios pseudoelásticos de NiTi submetidos a diferentes condições de carregamento mecânico. A fadiga funcional e estrutural é investigada considerando situações relacionadas às transformações de fase e ao comportamento plástico. Os resultados mostram que as respostas do modelo proposto estão de acordo com os dados experimentais (DORNELAS *et al.*, 2021).

A Figura 7 apresenta um mapa de cocitação, onde são analisadas as referências que foram citadas nos 220 artigos. Esta análise é realizada por meio de uma rede de relações entre os diferentes trabalhos e autores que citam as mesmas bases bibliográficas, considerando como parâmetro de corte o número de no mínimo duas citações por autor, gerando uma rede de autores distribuídos em sete *clusters* (áreas de aglomeração). O mapeamento das redes bibliométricas foi elaborado por meio do VOSviewer, que se baseia em nós, linhas e *clusters*. O tamanho dos círculos retrata a relevância do autor em relação ao número de publicações e as linhas representam a existência de uma relação entre os autores. Além disso, a cor de cada círculo caracteriza o cluster e a espessura das bordas das linhas corresponde à frequência com que os temas aparecem juntos (SILVA; ABLANEDO-ROSAS; ROSSETTO, 2018). Um exemplo é o *cluster* na rede onde está localizado o autor Marcelo A. Savi, em uma área de aglomeração representada pela cor vermelha, junto a outros autores expressando-se como os principais trabalhos citados, que por sua vez, indica que essas foram as principais referências científicas citadas nos artigos analisados por este estudo.

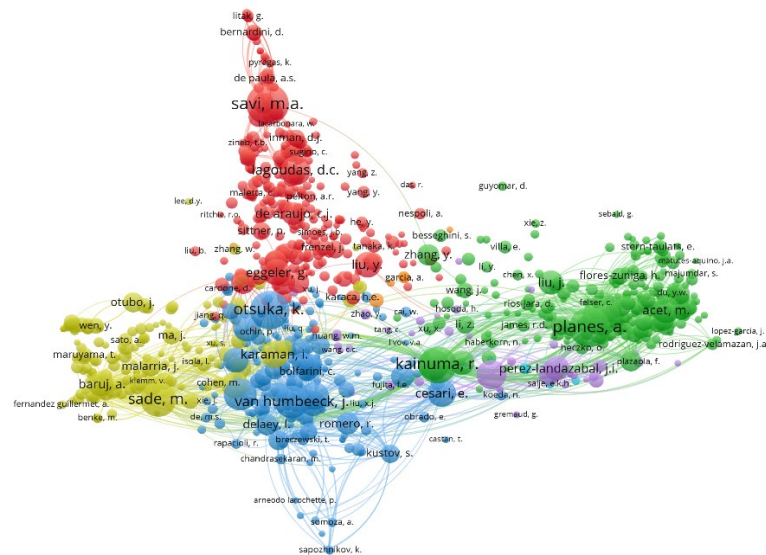


Figura 7 - Mapa de Cocitação elaborado por meio do software VOSviewer (VOSVIEWER, 2022).

Com a Figura 8 é possível observar o mapa de coautoria, utilizando o tipo de análise “autor” no VOSviewer. Os laços de coautoria são considerados um indicador de colaboração científica, uma vez que envolve a associação de dois ou mais autores na produção de uma pesquisa, concebendo uma rede social de autores que ajudam no desenvolvimento científico de determinado campo do conhecimento.

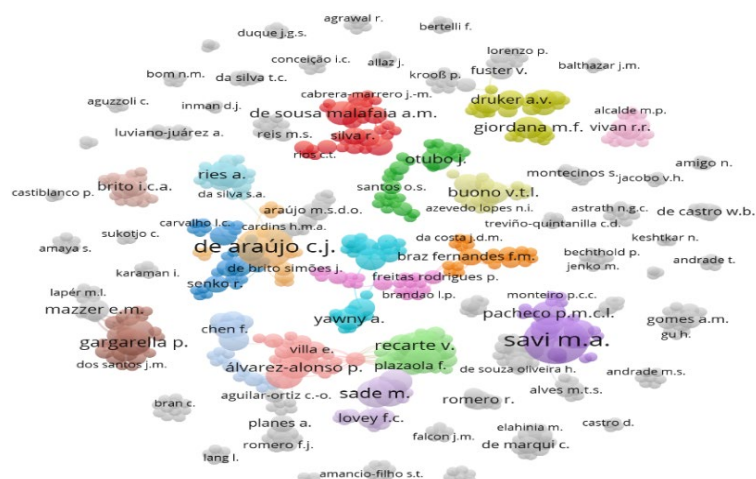


Figura 8 - Mapa de Coautoria elaborado por meio do software VOSviewer (VOSVIEWER, 2022).

Através desta figura é possível observar que vários clusters (identificados pelas diferentes cores) aparecem praticamente isolados. Isto mostra uma oportunidade de colaboração e possível crescimento e valorização das pesquisas brasileiras acerca das *SMA*, destacando-se o intercambio e o possível compartilhamento de infraestrutura.

4. CONCLUSÃO

Este estudo abordou uma análise bibliométrica apresentando um mapeamento por meio de dados obtidos da base Scopus e Scival, discutindo-se sobre as publicações vinculadas a instituições latino-americanas que abordavam o tema Ligas com Memória de Forma divulgados em periódicos científicos entre os anos de 2017 e 2021. Verificou-se claramente que, na região latino-americana, o Brasil é o país mais produtivo em pesquisas científicas sobre *SMA*. Foram apontados alguns aspectos relacionados às suas áreas de aplicação, ano de publicação, país, financiador da pesquisa, número de citações e colaboração autoral. Com os dados obtidos foi possível constatar que existem muitas pesquisas sobre o tema, com possibilidade de oportunidades, futuras direções de pesquisa e tendências que podem e devem ser consideradas em futuras pesquisas. Observou-se que podem existir lacunas de pesquisa em campos menos explorados como aplicações nas áreas de Bioquímica, Genética e Biologia Molecular e Odontologia e Ciências da Computação. Os financiamentos, principalmente por parte de instituições de fomento públicas, contribuem fortemente para o avanço científico do tema no país. Vê-se também que uma colaboração autoral mais intensa entre os principais autores pode favorecer o desenvolvimento das pesquisas realizadas. Esse estudo mostrou que há várias instituições envolvidas em pesquisas com Ligas com Memória de Forma, como instituições de ensino e pesquisa públicas e instituições que trabalham apenas com a pesquisa. Contudo, a internacionalização e a troca de conhecimento ocorrem à medida que os pesquisadores colaboram além de suas fronteiras e instituições. Em suma, espera-se que os resultados deste estudo forneçam uma visão para pesquisadores, especificamente os iniciantes em Ligas com Efeito Memória de Forma, em relação ao atual cenário de pesquisa e possibilidade de acesso a pesquisas melhor fundamentadas. Um foco é dado aos jovens pesquisadores que estão começando suas pesquisas na área, para que possam identificar rapidamente os principais artigos, periódicos, instituições e os principais pesquisadores com alto nível de produção e de pesquisa no campo de Ligas com Efeito Memória de Forma nos países latino-americanos.

5. REFERÊNCIAS

- Cardoso, D. M., 2021. "Brazilian states with greater scientific production about family practice have greater life expectations". *Brazilian Journal of Development*. [s. l.]. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-504>.
- Donthu, N.; Kumar, S.; Mukherjee, D.; Pandey, N.; Lim, W. M., 2021. "How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines". *Journal of Business Research*, v. 133, p. 285–296. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Dornelas, V. M.; Oliveira, S. A.; Savi, M. A.; Pacheco, P. M. C. L.; De Souza, L. F. G., 2021. "Fatigue on shape memory alloys: Experimental observations and constitutive modeling". *International Journal of Solids and Structures*, v. 213, p. 1–24. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2020.11.023>
- Ellegaard, O.; Wallin, J. A., 2015. "The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?" *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 1809–1831. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Fabregat-Aibar, L.; Barberà-Mariné, M. G.; Terceño, A.; Pié, L., 2019. "A Bibliometric and Visualization Analysis of Socially Responsible Funds". *Sustainability*, v. 11, n. 9. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11092526>
- Leal, P. B. C.; Savi, M. A., 2018. "Shape memory alloy-based mechanism for aeronautical application: Theory, optimization and experimente". *Aerospace Science and Technology*, v. 76, p. 155–163. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2018.02.010>
- Malek, J.; Desai, T. N., 2020. "A systematic literature review to map literature focus of sustainable manufacturing". *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 120345. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120345>.
- Mohd Jani, J.; Leary, M.; Subic, A.; Gibson, M. A., 2014. "A review of shape memory alloy research, applications and opportunities". *Materials & Design (1980-2015)*, v. 56, p. 1078–1113. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2013.11.084>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- Moral-Muñoz, J. A.; Herrera-Viedma, E.; Santisteban-Espejo, A.; Cobo, M. J., 2020. "Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review". *Profesional de la Información*, v. 29, n. 1. Disponível em: <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- Motzki, P.; Seelecke, S., 2022. "Industrial Applications for Shape Memory Alloys". *Encyclopedia of Smart Materials*, p. 254–266. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11723-0>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- Oliveira, J. P.; Shen, J.; Escobar, J. D.; Salvador, C. A. F.; Schell, N.; Zhou, N.; Benafan, O., 2021. "Laser welding of H-phase strengthened Ni-rich NiTi-20Zr high temperature shape memory alloy". *Materials & Design*, v. 202, p. 109533. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2021.109533>. Acesso em: 22 mar. 2022.

- Purkayastha, A.; Palmaro, E.; Falk-Krzesinski, H. J.; Baas, J. "Comparison of two article-level, field-independent citation metrics: Field-Weighted Citation Impact (FWCI) and Relative Citation Ratio (RCR)". *Journal of Informetrics*, v. 13, n. 2, p. 635–642, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.03.012>
- Saud, S. N.; Hamzah, E.; Abubakar, T.; Zamri, M.; Tanemura, M., 2014. "Influence of Ti additions on the martensitic phase transformation and mechanical properties of Cu–Al–Ni shape memory alloys". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 118, n. 1, p. 111–122. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-014-3953-6>
- Silva, J. T. M.; Ablanado-Rosas, J. H.; Rossetto, D. E., 2018. "A longitudinal literature network review of contributions made to the academy over the past 55 years of the IJPR". *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 15–16, p. 4627–4653. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1484953>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- Skute, I.; Zalewska-Kurek, K.; Hatak, I.; De Weerd-Nederhof, P., 2019. "Mapping the field: a bibliometric analysis of the literature on university–industry collaborations". *The Journal of Technology Transfer*, v. 44, n. 3, p. 916–947. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10961-017-9637-1>
- Sun, L.; Wang, T. X.; Chen, H. M.; Salvekar, A. V.; Naveen, B. S.; Xu, Q.; Weng, Y.; Guo, X.; Chen, Y.; Huang, W. M., 2019. "A brief review of the shape memory phenomena in polymers and their typical sensor applications". *Polymers*, v. 11, n. 6, p. 1049.
- Van Eck, N. J.; Waltman, L., 2010. "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping". *Scientometrics*, v. 84, n. 2, p. 523–538. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S11192-009-0146-3/FIGURES/7>.
- Van Raan, A., 1999. "Advanced bibliometric methods for the evaluation of universities". *Scientometrics*, v. 45, n. 3, p. 417–423. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02457601>
- Zareie, S.; Issa, A. S.; Seethaler, R. J.; Zabihollah, A., 2020. "Recent advances in the applications of shape memory alloys in civil infrastructures: A review". *Structures*, v. 27, p. 1535–1550. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.058>
- Zareie, S.; Zabihollah, A., 2020. "Design and Analysis of SMA-Based Tendon for Marine Structures". *Emerging Trends in Mechatronics*, p. 119.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF LATIN AMERICAN PUBLICATIONS ON SHAPE MEMORY ALLOYS

Danilo Maia de Oliveira, danilo.maia@unesp.br¹

Estephania Nobre Dantas Grassi, end.grassi@hotmail.com¹

Carlos José De Araújo, carlos.araujo@ufcg.edu.br¹

¹Federal University of Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB

Abstract. Academic databases such as Scopus maintain a huge amount of data concerning indexed journal articles. The information contained in these databases such as citation number, keywords, titles, journals, authors and institutions provide valuable information to carry out science assessment research using bibliometric analysis. This study approaches the analysis of the Latin American scientific publication on Shape Memory Alloys (SMA) through the analysis of bibliometric indicators provided by Scopus. The area was chosen because of the particular demands of society in different sectors such as industrial, biomedical and aerospace, which generate many developments in the field of adaptive structures with SMA. Analyzing data from research carried out in this area is important as it serves as a procedure for investigating changes, trends and opportunities. The objective of this study is to offer a quantitative and qualitative classification analysis using refined metrics in the evaluation of scientific production, such as the Field-Weighted Citation Impact indicator, to map the level of effort that was directed by Latin American researchers in developing research using SMA. From the analysis of scientific articles published in journals indexed in the Scopus database, a total of 220 articles were selected from January 2017 to December 2021 and categorized based on the area of application, year of publication, country of origin, research institution and study funder. For this, the Scival tool was used, which aggregates publication and citation data from the Scopus database, and the VOSviewer tool for construction and bibliographic combination or co-authorship relationships through the obtained data. The interpretation of the collected data allows us to confirm the significant growth in the scientific production of researchers linked to Latin American institutions on the subject and the great contribution of countries such as Brazil, Argentina and Mexico to this evolution. We further note that there are several opportunities that can direct researchers towards future research in the field of SMA.

Keywords: Shape Memory Alloys, SMA, Scientific production, Bibliometrics, FWCI.