

# MAPEAMENTO DAS ORGANIZAÇÕES BRASILEIRAS E ESTRANGEIRAS ATUANTES EM VIDROS METÁLICOS\*

Douglas Henrique Milanez<sup>1</sup>  
Braulio Salumão Oliveira<sup>2</sup>  
Daniel Rodrigo Leiva<sup>3</sup>  
Walter José Botta<sup>4</sup>  
Cláudio Shyinti Kiminami<sup>5</sup>

## Resumo

O avanço científico e tecnológico em vidros metálicos possibilita um rol de aplicações e inovações tecnológicas dada às propriedades atrativas desta classe emergente de materiais. Em decorrência da necessidade da aproximação academia-indústria para viabilizar tais desenvolvimentos, este estudo apresenta o mapeamento das organizações que tem contribuído para as pesquisas científicas e patenteamento em metais amorfos no Brasil. Dados bibliográficos de publicações científicas e documentos de patente coletados, respectivamente, nas bases Web of Science e DerwentInnovations Index foram utilizados. Os principais resultados verificam o peso brasileiro para as pesquisas científicas e tecnológicas e mostram o papel das instituições de pesquisa e empresas estrangeiras na atual conjuntura dentro do tema. Conclui-se que os resultados podem direcionar estudos de prospecção tecnológica, seleção de materiais e auxiliar na aproximação entre academia e indústria.

**Palavras-chave:** Metais amorfos; Informação tecnológica; Seleção de materiais.

## MAPPING BRAZILIAN AND FOREIGN ORGANIZATIONS INTERESETED ON METALLIC GLASSES

### Abstract

Scientific and technological advances on metallic glasses enables a list of applications and technological innovations due to their attractive properties. Nowadays, academia-industry collaborations are one of the relevant issues to enable such developments, thus, this study aims at mapping organizations that have contributed to the scientific research and patent activity of amorphous metals in Brazil. A set of bibliographical data on the scientific publications and patents were collected in Web of Science and Derwent Innovations Index databases, respectively. The main results verified the Brazilian interests and the role of research institutions and foreign companies. We conclude that the results can be used as a guide on technological forecasting, materials selection and support the approximation between academia and industry.

**Keywords:** Amorphous metals; Technological information; Materials selection.

<sup>1</sup> Engenheiro de Materiais, Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Pesquisador, Núcleo de Informação Tecnológica em Materiais (NIT/Materiais), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Doutorando, NIT/Materiais, DEMa, UFSCar, São Carlos, São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Materiais, Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Professor, NIT/Materiais, DEMa, UFSCar, São Carlos, São Paulo, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro de Materiais, Doutor em Metalurgia e Ciência de Materiais, Professor titular, Labnano, DEMa, UFSCar, São Carlos, São Paulo, Brasil.

<sup>5</sup> *Engenheiro de Materiais, Doktor-ingenieur, Professor titular, Labnano, DEMa, UFSCar, São Carlos, São Paulo, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

As ligas metálicas com microestrutura amorfa – ou vidros metálicos – são um assunto de grande interesse para as pesquisas científicas mundial e brasileira, visto seu alto potencial econômico e de engenharia [1,2]. Tais ligas destacam-se por suas propriedades mecânicas, tribológicas e químicas diferenciadas, sendo, geralmente, superiores às ligas análogas cristalinas. Como desdobramento, os vidros metálicos tornam-se potenciais candidatos aos processos de seleção de materiais e projetos de engenharia [2,3]. O uso das ligas metálicas amorfas em núcleos de transformadores elétricos já é uma realidade e novas aplicações incluem dispositivos eletrônicos, *coatings*, equipamentos de esporte e dispositivos odontológicos/médicos, conforme mapeado pelos autores em estudo anterior [1].

A formação da microestrutura amorfa é consequência da combinação de altas taxas de resfriamento (da ordem de 10.000 a 1.000.000 K/s, dependendo da liga), utilizando processos de fabricação especiais, com composições engenheiradas envolvendo pelo menos três elementos químicos distintos. Apesar dos desafios tecnológicos do processamento de tais ligas, uma ampla variedade de composições tem sido proposta (por exemplo, ver ref. [4–6]). O Brasil também tem se envolvido em estudos de proposição, fabricação, caracterização e aplicação de tais ligadas, embora num contexto acadêmico [1,7].

O potencial de inovação de processos e de produtos destas ligas metálicas especiais torna necessário o mapeamento das organizações que atuam tanto nas pesquisas científicas como nas pesquisas tecnológicas, de modo a facilitar a inovação por meio da aproximação entre universidade e empresa. A interação das universidades e institutos de pesquisa junto a empresas tem se tornado uma realidade, visto que é cada vez maior a dependência do avanço científico para que inovações tecnológicas ocorram. Esse sistema é conhecido como hélice tripla, por incluir também as políticas de Estado voltadas para inovação [8,9]. O reconhecimento dos atores envolvidos, sobretudo a academia e as indústrias, contribui para atividades de prospecção tecnológica e seleção de materiais, pois indicam quem está fazendo o quê, viabilizando a tomada de decisão em projetos de engenharia [1,8,10,11].

Por ser um assunto altamente dependente do conhecimento científico e tecnológico, as publicações científicas e os documentos de patentes são potenciais fontes de informação para encontrar instituições de pesquisa e empresas que estejam engajadas em pesquisas e desenvolvimentos envolvendo ligas metálicas amorfas [12–14]. O objetivo deste estudo foi mapear as organizações que tem desenvolvido pesquisa científica e desenvolvido tecnologias em vidros metálicos no Brasil tendo como base as informações contidas em publicações científicas e documentos de patente. É apresentado o procedimento metodológico que permitiu o mapeamento, os resultados do mapeamento para ambas as fontes, bem como as limitações inerentes ao processamento das informações e das fontes utilizadas.

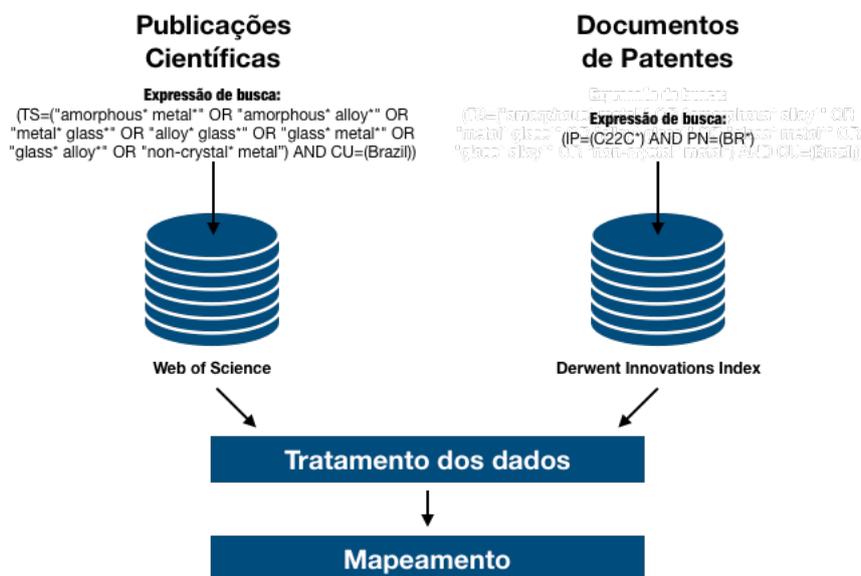
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Procedimento Experimental

O mapeamento das organizações interessadas em metais amorfos foi realizado com base no procedimento experimental apresentado na Figura 1. As publicações científicas brasileiras foram recuperadas com a aplicação de uma expressão de

busca elaborada com base em palavras chave que se referem ao tema, sendo a mesma desenvolvida e já aplicada em outras pesquisas conduzida pelos autores [1,7,15]. A busca foi realizada no campo tópico da base de dados Web of Science, que procura pelos termos no título, resumo e palavras chave dos registros bibliográficos indexados. A busca considerou apenas artigos, artigos de revisão, cartas e notas com o objetivo de limitar-se a publicações com resultados inéditos. Embora a Figura 1 indique a busca fora limitada às publicações científicas com pelo menos um autor brasileiro, salienta-se que a produção científica mundial em metais amorfos foi considerada para a elaboração de um dos indicadores. No total, foram encontradas 28.780 publicações científicas sobre vidros metálicos, sendo que o 342 tiveram contribuição do Brasil (1,2% do total).

No caso dos documentos de patente, a busca foi conduzida na base de dados *DerwentInnovations Index* e recuperou um conjunto de tecnologias sobre ligas metálicas em geral depositadas no Brasil, considerando residentes e não residentes, por meio do código CIP em nível de subclasse (C22C). O intuito de conduzir a busca para um tema mais amplo e não limitado a metais amorfos – embora o mesmo tenha sido recuperado, pois é descrito código CIP em nível de grupo C22C-45 – se relaciona com a necessidade de verificar o “peso tecnológico” das organizações em geral, não necessariamente limitadas ao patenteamento em metais amorfos. Adicionalmente, a base selecionada possui uma cobertura que indexa depósitos e concessões de patentes de mais de 40 escritórios nacionais e regionais, incluindo o Brasil, agrupando os registros bibliográficos em famílias de patente<sup>1</sup>. No total, foram encontrados 3.467 documentos de patente sobre ligas metálicas em geral, depositadas no Brasil, das quais apenas 35 foram envolvidas tecnologias de metais amorfos (1,0% do total).



**Figura 1.** Procedimento experimental para mapeamento das organizações.

Após a coleta e o armazenamento dos registros bibliográficos de ambos os tipos de documentos, os dados foram tratados separadamente, com suporte do software Vantage Point (v. 7.0). No caso das publicações científicas, foram importados os anos, os nomes das instituições de afiliação dos autores e o respectivo país de

<sup>1</sup> Uma família de patente refere-se a vários pedidos de patentes sobre uma mesma invenção depositados em países e regiões distintos. Esse agrupamento facilita a análise ao evitar duplicatas.

origem. Foi necessário padronizar o nome das instituições visto que o correto controle de afiliação das organizações não é fornecido pela base.

No caso dos documentos de patente, antes da importação dos dados, foi feito o pré-tratamento dos dados utilizando o software EarliestPrioritySelector[16]. Este passo é necessário, pois um pedido de patente pode receber diversas datas de prioridade e, por recomendação de práticas internacionais de tratamento de informação de patentes [17,18], a data da prioridade mais antiga deve ser considerada nas análises por ser a mais próxima da concepção da invenção. Seguindo a importação no software Vantage Point, foram obtidos os anos e os países da prioridade mais antiga encontrados nos registos bem com o nome das organizações que detém o direito sobre a patente – chamado de titulares. Os tópicos a seguir fornecem detalhamentos do tratamento das informações, cálculos estatísticos, visualização conforme a fonte.

## 2.2 Detalhes do mapeamento de organizações em publicações científicas

Foi verificado a evolução da produção científica mundial em metais amorfos considerando o número acumulado de publicações científica em períodos ( $\leq 1990$ , 1991-2000, 2001-2010 e 2011-2017, sendo este último período uma década incompleta). Foi calculado a contribuição percentual do Brasil nestes períodos através da Equação. 1, em que  $NPub_{Brasil}$  é o total de publicações científicas no período e  $NPub_T$  é o total de publicações científicas sobre vidros metálicos naquele mesmo período:

$$Contribuição (\%) = \frac{NPub_{Brasil} * 100}{NPub_T} \quad (1)$$

O mapeamento das organizações contou com a elaboração de uma rede de colaboração baseado em coautoria. Como critérios para elaboração, a rede envolveu apenas instituições e empresas que tivessem ligação com pelo menos outras três organizações – do total 168 organizações encontradas, 101 (60,1%) foram apresentadas no grafo. Entretanto, o nome de todas as empresas foram listadas posteriormente, visto que parcerias entre instituições de pesquisa e empresas potencialmente resultam em inovações e desenvolvimento tecnológico [8,19–21]. A análise da rede de colaboração também se voltou às organizações brasileiras e estrangeiras mais colaborativas, que acumularam mais publicações ou servem como intermediação entre os mapeados. Adicionalmente, o mapa foi elaborado com suporte do software VOSviewer (v. 1.6.7)

## 2.3 Detalhes do mapeamento das organizações em documentos de patente

O mapeamento organizacional envolvendo documentos de patente como fonte de informação diferenciou-se da abordagem adotada para publicações científicas. Para o conjunto de patentes em ligas metálicas em geral (C22C), foi feita a limpeza dos nomes para organizações que tivessem patenteado nos últimos cinco anos ou que possuíssem cinco ou mais patentes depositadas no Brasil em todo o período de cobertura da base. Tal restrição foi necessária dado o enorme número de com diversas organizações com variações de nomes encontradas. Foi elaborado um indicador que mostrava o número total de patentes por país de origem e o número de organizações com matriz naquele mesmo país com o objetivo de verificar a influência estrangeira no patenteamento em ligas metálicas em geral.

O mapa também partiu do conjunto de patentes sobre ligas metálicas (C22C) depositadas no Brasil, com o intuito de verificar o “peso tecnológico” da organização no país em termos de ligas metálicas. Foi feita a limpeza e padronização apenas dos

nomes das organizações que possuíam pelo menos um pedido de patente em ligas metálicas amorfas (C22C-45) – totalizando apenas 24 instituições de pesquisa e empresas, sendo excluídas patentes depositadas exclusivamente por pessoa física. Dessa forma, o mapa mostrará dois aspectos do patenteamento desta empresa: (i) o total de patentes em ligas metálicas em geral, mostrando o peso da organização para o desenvolvimento tecnológico no país; e (ii) o quanto de patentes em ligas amorfas que tais organizações possuem. Esses dois aspectos foram representados no mapa, também elaborado com auxílio do software VOSviewer, considerando o tamanho do nodo e a cor, respectivamente. O mapa também inclui o código CIP em nível subgrupo (C22C 45/02, C22C 45/04, C22C 45/08 e C22C 45/10) com o objetivo de identificar qual elemento metálico base para a liga amorfa.

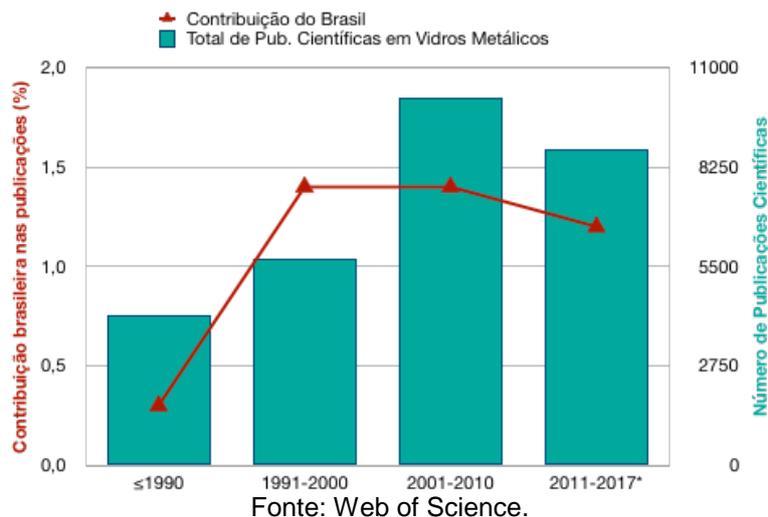
## 2.4 Informação complementar para análise dos resultados

Outras fontes de informação além das publicações científicas e documentos de patentes foram examinadas de forma a complementar as análises do estudo. A Biblioteca Virtual Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) foi consultada com o intuito de verificar projetos de pesquisa sobre vidros metálicos que a agência tem fomentado. A mesma consulta foi realizada na base do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC), embora a busca não tenha fornecido informações satisfatórias. Adicionalmente, os sites das empresas mapeadas nas duas fontes de informação foram acessadas de forma a avaliar sua atuação no território brasileiro.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Organizações envolvidas na pesquisa científica em vidros metálicos

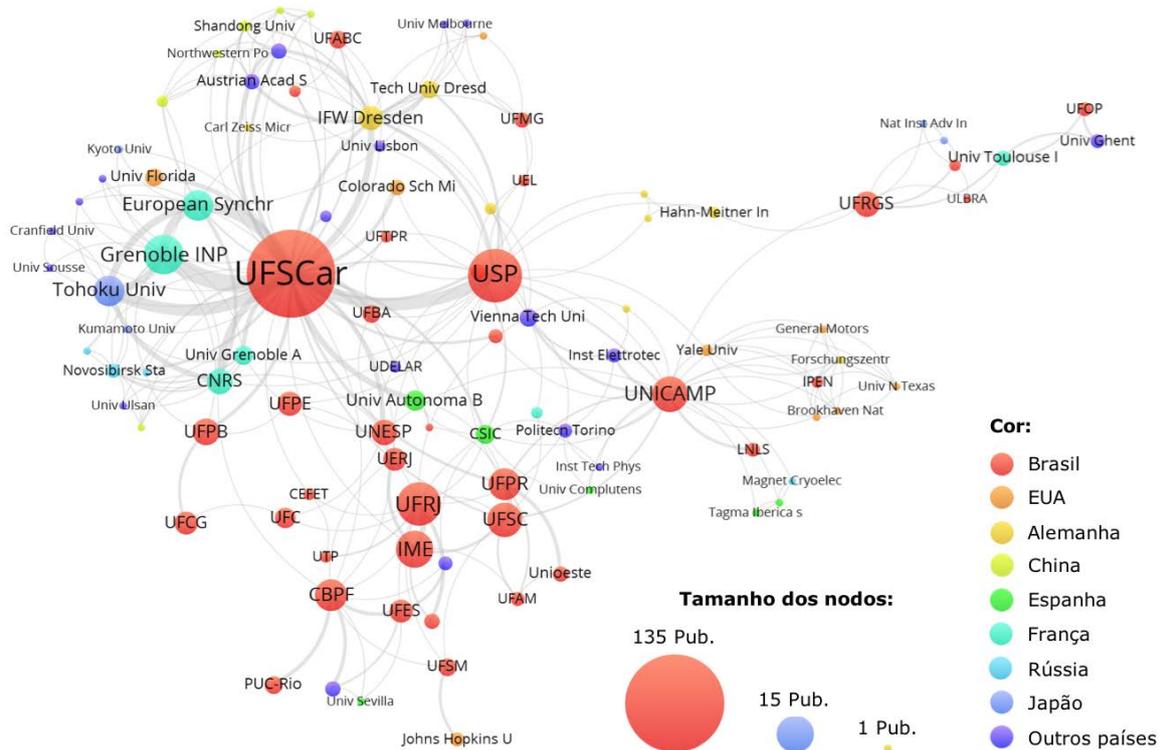
A produção científica sobre vidros metálicos tem aumentando consistentemente ao longo das últimas décadas, com considerável crescimento entre 2001 e 2010, conforme Figura 2. Esse indicador de crescimento permanecerá nesta tendência, inclusive, para o último período do gráfico, que está incompleto, caso seja considerado a média anual de publicações entre 2010 e 2017 (1250 pub. neste último ano). A perspectiva é que se atinja mais 12.510 publicações científicas para o período 2011-2020.



**Figura 2.** Evolução da produção científica em vidros metálicos e contribuição percentual brasileira.

A contribuição brasileira para as pesquisas científicas sobre metais amorfos permanece constante entre os períodos 1991-2000 e 2001-2010 (1,4%). Esse valor deve-se, particularmente, ao financiamento de projetos de pesquisas para desenvolvimento de infraestrutura laboratorial e de estudo microestruturais, de caracterização e de processamento de tais ligas especiais. Como exemplo, pode-se citar os programas e projetos individuais ou temáticos financiados pela FAPESP – por exemplo, números de processos: 96/1417-5, 01/01516-3, 05/59594-0, 13/059887-8, 14/14396-6, 16/21140-3, entre outros. Como o número de publicações científicas do período de 2011 a 2017 está incompleto, logo, não é possível afirmar se a contribuição do Brasil para o tema em questão de fato diminuirá, como indicado na Figura 2, dado a intermitência na publicação de artigos e indexação na base de dados consultada.

Do total de 340 publicações científicas com pelo menos um autor brasileiro, 37,4% foram em colaboração com instituições estrangeiras. A França foi a principal colaboradora (14,1%), seguida pelos EUA (6,76%), Alemanha e Japão (5,59% cada), Espanha (4,41%) e Áustria (2,65%). A rede de colaboração com os atores envolvidos na produção científica brasileira em vidros metálicos é mostrada na Figura 3.



Fonte: Web of Science.

**Figura 3.** Rede de colaboração baseada em coautoria de organizações com pelo menos um autor brasileiro.

A Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) ocupa um papel central nas pesquisas em metais amorfos, pois foi a instituição mais produtiva, contribuindo em 39,7% das publicações brasileiras. Além disso, é a instituição mais colaborativa, interagindo com 63 organizações distintas, totalizando 79,3% de publicações em colaboração, sendo 52,3% em colaboração internacional. As duas principais instituições estrangeiras parceiras da UFSCar nas pesquisas em vidros metálicos são o Instituto de Tecnologia de Grenoble, da França, e a Universidade de Tohoku, do Japão, que também figuram entre as instituições mundialmente reconhecidas pelo desenvolvimento científico do tema. Em parte, tal importância é reflexo do investimento realizado pela FAPESP e outras agências de fomento na instituição ao longo dos anos em projetos conduzidos por docentes e pesquisadores da UFSCar – informação verificável consultando os números dos projetos de pesquisa citados anteriormente na Biblioteca Virtual da agência de fomento.

A Universidade de São Paulo (USP), sobretudo por meio das pesquisas conduzidas no campus em São Carlos, é a segunda instituição que mais publicou no assunto (14,7%), sendo também altamente colaborativa - total de 72,0% de publicações em colaboração. A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) ocupa a terceira posição no ranking de organizações, contribuindo em 9,4% da produção científica. A Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) destacam-se por atuarem como agentes de intermediação, ligando redes específicas à rede principal de colaboração - inclusive empresas. Por fim, há uma concentração de universidades e institutos de pesquisa brasileiros na parte inferior do grafo da Figura 3, formando uma rede secundária com relativa baixa densidade de relacionamentos.

Nove empresas, que atuam em diferentes mercados e setores industriais, contribuíram na produção científica em vidros metálicos, conforme listado na Tabela

1. Todas colaboraram em apenas uma publicação cada e quatro delas são brasileiras (sendo uma estatal). Seis delas tem sua matriz localizada em outro país e apenas a Magneton (Rússia) não possui uma subsidiária ou distribuidora no Brasil. O interesse dos estudos efetuados por cada empresa está detalhado na Tabela 1 e se verifica interesse sobre propriedades magnéticas e eletroquímicas dos vidros metálicos e nanocristalinos.

**Tabela 1.** Lista de empresas que colaboraram com pesquisas científicas desenvolvidas no Brasil: principal instituição de pesquisa colaboradora e detalhes do estudo.

Empresa	Principal colab.	Detalhe do estudo
Bosch (Alemanha)	USP	Avaliação da formação de aglomerados magnéticos locais em ligas vidro-spin a base de $Au_{(1-x)}Cr_{(x)}$ contendo Fe diluído
Carl Zeiss (Alemanha)	UFSCar	Análise da melhoria da capacidade de formação vítrea e a plasticidade de um compósito de vidro metálico à base de TiCu pela adição de pequenas quantidades de Si
Electrocell (Brasil)	UFABC	Artigo de revisão sobre corrosão de placas bipolares de metal para células de combustível PEM, incluindo ligas metálicas amorfas
Eletrobras (Brasil)	UFMG	Estudo sobre o desempenho de transformadores de retorno de aterramento de fio único com núcleo de liga amorfa em um sistema de distribuição de energia elétrica rural
Fibra Forte (Brasil)	UFSC	Avaliação da brasagem a alta temperatura de componentes Inconel e aço inoxidável para um sistema de propulsão de satélite, sendo testa ligas de Ni em forma de folha metálica amorfa
General Motors (EUA)	UNICAMP	Análise da evolução guiada de nanoestruturas de vidro metálico volumoso utilizando uma plataforma para projetar superfícies eletrocatalíticas 3D
Magneton (Rússia) e Tagma Ibérica (Espanha)	UNICAMP	Processo de fabricação e análise das propriedades magnéticas de microfios finos da liga $Cu_{50}(Fe_{69}Si_{10}B_{16}C_5)$
Usiminas (Brasil)	UFRJ	Caracterização eletroquímica de depósitos de ligas amorfas Ni-p e Ni-Co-p obtidos por eletrodeposição
Vacuumschmelze (Alemanha)	UNICAMP	Análise do desenvolvimento da liga $Fe_{73,5}CuNb_3Si_{13,5}B_9$ nanocristalino com base no magnetismo e desordem estrutural

Fonte: Web of Science.

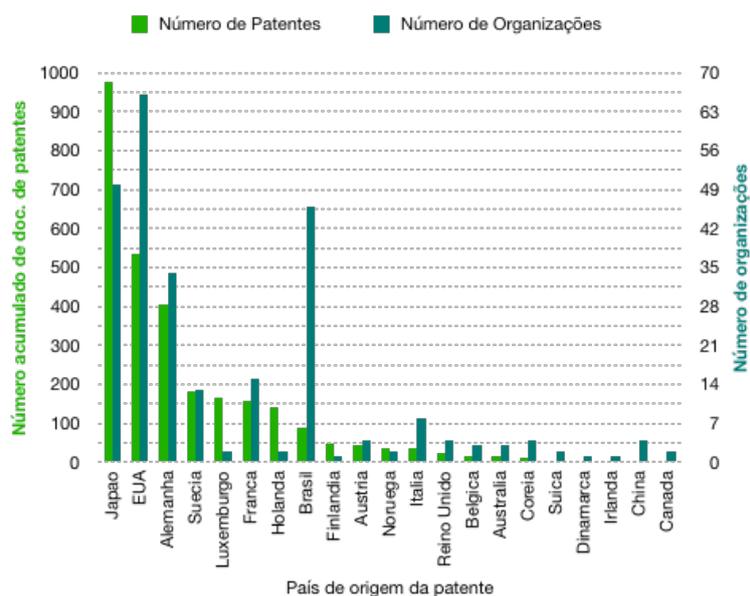
### 3.2 Organizações envolvidas em tecnologias de vidros metálicos

A evolução do patenteamento no Brasil em ligas metálicas amorfas não tem acompanhado a tendência mundial, visto que foram identificados apenas 35 pedidos realizados até o momento, um valor muito baixo frente aos mais de 4.000 pedidos já depositados [1]. Esse resultado indica que poucas tecnologias sobre vidros metálicos foram protegidas no país e, em parte, é um reflexo do próprio sistema brasileiro de proteção da Propriedade Industrial, da cultura do país em relação a proteção de novas tecnologias desenvolvidas e baixo interesse de empresas de outros países pelo mercado nacional. Essa configuração corrobora as críticas que retratam como emergente o sistema de ciência, tecnologia e inovação do país [22,23].

No contexto de ligas metálicas em geral, observa-se domínio de organizações estrangeiras, com destaque para empresas do Japão, EUA, Alemanha, Suécia, Luxemburgo, França e Holanda, que depositaram mais patentes no Brasil do que os próprios brasileiros, conforme Figura 4. Esse indicador mostra a influência tecnológica em ligas metálicas de outros países. Um comportamento curioso é o

grande número de empresas brasileiras (total de 46) que compartilham o relativo baixo número de patentes originadas no país (89).

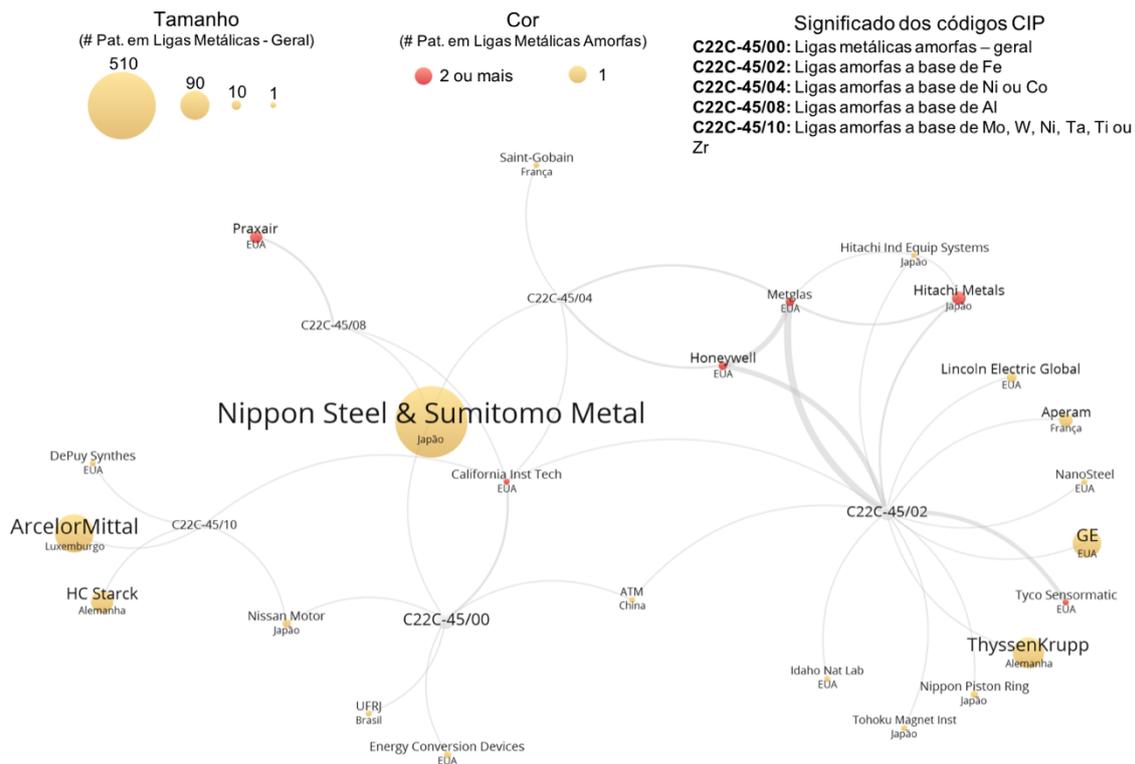
O grafo da Figura 5 apresenta as organizações que depositaram pelo menos um pedido de patente em vidros metálicos, porém o tamanho do nodo é proporcional ao total de patentes que a organização possui em ligas metálicas em geral, indicando o peso no desenvolvimento tecnológico de cada uma. Por exemplo, a japonesa Nippon Steel & Sumitomo tem uma única patente em liga amorfa, mas é a maior depositante de patentes em ligas metálicas no Brasil. A cor foi associada ao total de patentes em ligas metálicas amorfas, com destaque para as americanas Metglas, Honeywell e TycoSensormatic, que acumularam, respectivamente, sete, cinco e quatro depósitos de patentes. A ligação das organizações com os códigos específicos da CIP C22C-45 indicam a preferência de liga de cada organização, destacando-se as ligas metálicas a base de Fe, que agrega o maior número de organizações.



Fonte: Derwent Innovations Index.

**Figura4.** Principais países de origem dos depositantes e total de organizações por país para o conjunto de patentes sobre Ligas Metálicas (C22C).

De todos os titulares da Figura 5, apenas a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) é brasileira, inclusive se destacando no mapeamento científico da Figura 3. As outras duas organizações não empresariais são Instituto de Tecnologia da Califórnia e o Laboratório Nacional de Idaho, ambas dos EUA. No caso das empresas, embora todas possuam matriz no estrangeiro, algumas possuem estrutura física (fábrica, representante comercial ou distribuidor) no Brasil, o que pode indicar eventual interesse por conhecer as pesquisas desenvolvidas nas universidades e institutos de pesquisa mapeados anteriormente. Por fim, a americana Metglass destaca-se por ser a única empresa estritamente focada no desenvolvimento de produtos e processos em vidros metálicos, sobretudo envolvendo ligas amorfas a base de Fe e de Ni ou Co.



Fonte: Derwent Innovations Index.

**Figura5.** Organizações que patentearam tecnologias de ligas amorfas. Detalhe para as legendas apresentadas logo acima do grafo.

## 4 CONCLUSÃO

O mapeamento das organizações por meio das publicações científicas e documentos de patente possibilitou inferir sobre a atual conjuntura científica e tecnológica das ligas metálicas amorfas no Brasil. Os resultados podem direcionar estudos de prospecção tecnológica e seleção de materiais.

Há uma nítida atuação concentrada no contexto acadêmico e a contribuição brasileira na produção científica no tema tende a se manter dado o esforço de universidades que figuram entre as mais importantes do país, especialmente a UFSCar. Empresas brasileiras e estrangeiras que queiram desenvolver tecnologias em vidros metálicos podem se utilizar desse conhecimento científico. A colaboração científica com instituições estrangeiras correspondeu a 37,4%, embora permaneça estável ao longo dos anos, o que sugere que o país tem se consolidado na temática em questão. Algumas empresas têm participado ativamente das pesquisas científicas nacionais, sobretudo, em questões relacionadas a propriedades magnéticas e elétricas destas ligas.

O patenteamento por parte de organizações brasileiras (residentes) não segue a tendência científica, e há uma forte presença de organizações com sede no exterior. Tal indicativo segue a tendência de patenteamento de não residentes em ligas metálicas em geral. Por outro lado, pode-se dizer que há um mercado tecnológico em ligas metálicas amorfas no Brasil, porém menos relevante quando comparado ao patenteamento mundial no tema.

O método permitiu o mapeamento das organizações, conforme estabelecido no objetivo. Ressalta-se, entretanto, que outras instituições de pesquisa e empresariais

podem não terem sido consideradas por causa de limitações metodológicas, tais como cobertura das bases de dados consultadas e erros relativos ao processamento dos dados em decorrência de decisões tomadas durante o processo de elaboração dos mapas. Conclui-se, por fim, que o Brasil possui uma estrutura física e intelectual que pode gerar inovações dada as propriedades especiais dos vidros metálicos, porém pouco tem sido aproveitado por parte do setor produtivo, o que pode estar associado a uma dificuldade de comunicação entre os mesmos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (processos n. 2015/18878-8 e 2013/05987-8) e à CAPES pelo fomento e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da UFSCar.

## REFERÊNCIAS

1. Milanez DH, Faria LIL, Leiva DR, Kiminami CS, Botta WJ. Assessing technological developments in amorphous/glassy metallic alloys using patent indicators. *J Alloys Compd.* 2017 Sep;716:330–5.
2. Inoue A, Takeuchi A. Recent development and application products of bulk glassy alloys. *Acta Mater [Internet]. Acta Materialia Inc.*; 2011;59(6):2243–67.
3. Ashby MF, Greer AL. Metallic glasses as structural materials. *Scr Mater.* 2006;54(3):321–6.
4. Tian W-P, Yang H-W, Zhang S-D. Synergistic Effect of Mo, W, Mn and Cr on the Passivation Behavior of a Fe-Based Amorphous Alloy Coating. *Acta Metall Sin. The Chinese Society for Metals*; 2018;31(3):308–20.
5. Shu FY, Liu S, Zhao HY, He WX, Sui SH, Zhang J, et al. Structure and high-temperature property of amorphous composite coating synthesized by laser cladding FeCrCoNiSiB high-entropy alloy powder. *J Alloys Compd.* 2018, 731:662–6.
6. Khan MM, Nemati A, Rahman ZU, Shah UH, Asgar H, Haider W. Recent Advancements in Bulk Metallic Glasses and Their Applications: A Review. *Crit Rev Solid State Mater Sci.* 2018;43(3):233–68.
7. Oliveira BS de, Milanez DH, Leiva DR, Faria LIL de, Botta WJ, Kiminami CS. Thermal Spraying Processes and Amorphous Alloys: Macro-Indicators of Patent Activity. *Mater Res.* 2017 Dec 4;20(suppl 1):89–95.
8. Etzkowitz H, Leydesdorff L. The dynamics of innovation: from National Systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Res Policy.* 2000;29(2):109–23.
9. Sun Y, Negishi M. Measuring the relationships among university, industry and other sectors in Japan’s national innovation system: a comparison of new approaches with mutual information indicators. *Scientometrics.* 2010. 82(3):677–85.
10. Ashby MF. *Materials selection in mechanical design.* 3rd ed. Linacre House: Butterworth-Heinemann; 2005. 603 p.
11. Ashby MF, Bréchet YJM, Cebon D, Salvo L. Selection strategies for materials and processes. *Mater Des.* 2004;25(1):51–67.
12. Moed HF, Glänzel W, Schmoch U. *Handbook of Quantitative Science and Technology Research.* Kluwer Aca. Moed HF, Glänzel W, Schmoch U, editors. Dordrecht: Springer Netherlands; 2005. 785 p.

13. Martino JP. A review of selected recent advances in technological forecasting. *Technol Forecast Soc Change*. 2003 Oct [cited 2012 Jul 20];70(8):719–33.
14. Ashton WB, Klavans RA, editors. Keeping abreast of science and technology: technical intelligence for business. 1<sup>st</sup> ed. Columbus: Battelle Press; 1997. 560p.
15. Milanez DH, Oliveira BS De, Noyons, Everard Christiaan M, Faria LIL de, Botta WJ. Assessing collaboration and knowledge flow on coatings of metallic glasses obtained from thermal spraying processes using bibliometrics and science mapping. *Mater Res J Mater*. 2017;6–10.
16. Milanez DH, Milanez MG, Amaral RM do, Faria LIL de, Gregolin JAR. The Earliest Priority Selector for compiling patent indicators. In: 14th International Society of Scientometrics and Informetrics Conference. Vienna: AIT; 2013. p. 1877–80.
17. OECD. OECD Patent Statistics Manual. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264065574-en>
18. OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. The Measurement of Scientific and Technological Activities Using Patent Data as Science and Technology Indicators. 1994. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9294101e.pdf?expires=1515780205&id=id&acname=ocid54025470&checksum=4FF504A833BE75AA507E25CB357C48BB>
19. Tijssen RJW, Yegros-Yegros A, Winnink JJ. University-industry R&D linkage metrics: validity and applicability in world university rankings. *Scientometrics*. Springer Netherlands; 2016;109(2):1–20.
20. Schmoch U. Indicators and the relations between science and technology. *Scientometrics*. 1997;38(1):103–16.
21. Perkmann M, Tartari V, McKelvey M, Autio E, Broström A, D’Este P, et al. Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university–industry relations. *Res Policy*. 2013 Mar;42(2):423–42.
22. Albuquerque E da M, Baessa AR, Silva LA, Ribeiro LC, Silva CUG, Vieira JR, et al. Atividade de patenteamento no Brasil e no exterior. In: FAPESP, editor. *Indicadores de Ciência, Tecnologia e inovação em São Paulo 2010*. São Paulo: FAPESP; 2010.
23. Albuquerque E da M, Baessa AR, Silva LA, Lins C, Oliveira C, Righi H, et al. Atividade de patenteamento no Brasil e no exterior. In: FAPESP, editor. *Indicadores de Ciência, Tecnologia e inovação em São Paulo 2004*. São Paulo: FAPESP; 2004.