

ESTUDO PROSPECTIVO DA APLICAÇÃO TECNOLÓGICA DO NIÓBIO AO SETOR AEROESPACIAL

Matheus dos Santos Araújo Mendes¹; Harlykson Soares Magalhães²; Mayllon Veras da Silva³; Wanderson de Vasconcelos Rodrigues da Silva⁴; Renata Silva-Mann⁵

¹Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
matheusshmendes@gmail.com

²Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
harlykson.magalhaes@gmail.com

³Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
veras@ifpi.edu.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual – PPGPI/UFS
Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
wanderson.vasconcelos@ifpi.edu.br

⁵Departamento de Engenharia Agrônômica – DEA
Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
renatamann@gmail.com

Resumo

O nióbio é um minério que tem sua importância destacada principalmente pela resistência, sendo utilizado na fabricação de superligas para aplicação nos mais diferentes setores, entre eles o aeroespacial. Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo realizar um mapeamento das tecnologias que envolvem o nióbio associado à indústria aeroespacial, tendo como fonte de dados as patentes disponíveis nas bases do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, do Escritório Europeu de Patentes e da Organização Mundial da Propriedade Intelectual. O mapeamento tecnológico realizado permitiu obter uma visão geral sobre as aplicações do minério, constatando que o nióbio é de fundamental importância à indústria, particularmente, para o setor aeroespacial, e o Brasil, embora ainda esteja em processo de amadurecimento nesta abordagem tecnológica, pode se configurar como um protagonista em virtude das enormes jazidas do minério.

Palavras-chave: nióbio; aeroespacial; patentes; tecnologia.

1 Introdução

As descobertas e inovações, frutos do intelecto humano, sempre fizeram parte da história das civilizações. Concebidos para atender as necessidades da humanidade, esses adventos permitiram alcançar o atual nível de desenvolvimento social, econômico, tecnológico e de qualidade de vida.

Uma das atividades criadas pelo homem desde os tempos da pré-história e que se mantém até os dias de hoje é a mineração. Inicialmente desenvolvida apenas para fabricação de utensílios e armas, atualmente a mineração é uma das atividades mais importantes para a economia mundial, principalmente para o setor primário, uma vez que desempenha um papel imprescindível na produção e distribuição de matérias-primas para a indústria. As indústrias tecnológicas, farmacêuticas, alimentícias, têxtil e de diversos outros setores utilizam componentes ou subprodutos derivados de minérios na fabricação de quase todos os seus bens manufaturados, ou seja, grande parte dos produtos utilizados atualmente contém algum elemento ou partes deles fabricados a partir de minérios (CARNEIRO, 2016).

A mineração é a prática de extração de minérios a partir de rochas naturais para fins comerciais. Devida sua utilização econômica, algumas rochas e minerais possuem alta valorização no mercado, como por exemplo: ouro, ferro, cobre e muitos outros. Todas as rochas possuem minerais em sua composição, podendo ocorrer à retirada deste material para, em seguida, ser tratado e transformado em minério. Um dos minérios que tem ganhado destaque por ser essencial às tecnologias atuais é o nióbio, visto que o mesmo tem sido empregado na fabricação de superligas bastante resistentes que por sua vez são utilizadas em tubos de gasodutos, motores aeroespaciais, propulsores de foguetes, bem como seu emprego na indústria eletrônica, nucleares e tantas outras (MATSUNO et al., 2001)

Para o Brasil, o nióbio tem sua relevância principalmente pela abundância da quantidade desse minério em seu território. Cerca de 98,5% do nióbio mundial encontra-se em solo brasileiro, em seguida vem o Canadá com 1,1% e Austrália com 0,4%. Além de possuir as maiores reservas de nióbio do mundo, o Brasil também assume o posto de maior produtor, sendo a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) a maior concessionária do setor, assumindo 85% de toda a produção mundial (PEREIRA JÚNIOR, 2016).

O que favorece ainda mais essa produção extraordinária é a facilidade de extração do minério, visto que as minas brasileiras, em grande parte são a céu aberto, diferente das canadenses. A companhia citada anteriormente também se destaca na produção de aços especiais, os quais suas propriedades e particularidades permitem o desenvolvimento de novas aplicações e a criação de novas tecnologias, entretanto, é mais utilizado como um material de resistência (BRASIL, 2010).

Um dos principais setores dentre os quais a utilização do nióbio se destaca é o aeroespacial, sendo empregado desde a produção de equipamentos de bordo até aeronaves, foguetes e satélites. Nesse sentido, o nióbio tem sido essencial nos setores de transportes aéreos, nas telecomunicações e nas pesquisas feitas por agências de exploração espacial (A INDÚSTRIA, 2015).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo prospectivo sobre as tecnologias que associam o nióbio ao setor aeroespacial, tendo por base os depósitos de patentes disponíveis nas bases do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), do Escritório Europeu de Patentes (EPO) e da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO).

2 Fundamentação Teórica

O nióbio é um metal refratário, ou seja, mantém sua resistência a altas temperaturas e se consegue distender ou comprimir sem que haja rompimento. Em seu estado puro detém uma aparência cinza prateada e uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado. O número atômico deste elemento na tabela periódica é 41, seu ponto de fusão corresponde a 2.468°C e seu ponto de ebulição é igual a 4.744°C, ou seja, a 0°C e ao nível do mar (CNTF - Condições Normais de Temperatura e Pressão) encontra-se em estado sólido. No quesito dureza, tem valor 6 em uma escala de Mohs, onde o valor mínimo corresponde a 0 e o valor máximo a 10 (MATSUNO et al., 2001; PEREIRA JÚNIOR, 2009).

De acordo com Carneiro (2016), seu descobrimento data do ano 1801 e se deu com o resultado da análise de um fragmento de rocha que se encontrava no Museu Britânico. Sabendo que aquela rocha havia sido coletada nos Estados Unidos, o elemento foi inicialmente chamado de

Colúmbio em homenagem a Cristóvão Colombo, descobridor da América. Mesmo com a nomenclatura colúmbio sendo utilizada constantemente por muitos, a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) aconselhou que o elemento fosse chamado de nióbio, fazendo referência à mitologia grega, onde Niobe era a filha do rei Tântalo, e a associação destas nomenclaturas se deve a grande semelhança entre as propriedades químicas dos dois elementos.

Nos últimos anos, vem crescendo fortemente a produção de concentrado de Nióbio no mundo, especialmente no Brasil e no Canadá, que juntos, representam 99% da produção global. Os outros 1% da produção estão divididos entre Austrália, Ruanda, Nigéria, Moçambique e Etiópia, países cuja produção encontra-se em declínio (BRASIL, 2010).

O nióbio distingue-se dos outros metais refratários quando se trata de suas aplicações, sendo utilizado principalmente na indústria siderúrgica. O processo de aluminotermia é responsável pela produção da liga ferro-nióbio, que faz parte, fundamentalmente, dos processos de fabricação de alguns tipos de aços, como os inoxidáveis e os microligados. A maior utilização do nióbio, cerca de 75%, é destinada a fabricação de aços microligados, seguido da produção de aços inoxidáveis, que tem como característica a resistência ao calor, representando 12% da sua utilização, e das demais aplicações tais como nas indústrias de automóveis, construção civil, aeronáutica, espacial, ferramentas de alta precisão, tubulações e dutos (PEREIRA JÚNIOR, 2014; SILVA, 2001).

A respeito das reservas brasileiras de nióbio, de acordo com Brasil (2010), o país possui uma potencialidade extremamente significativa neste ramo, visto que além de ocupar o cargo de maior detentor de reservas, é também o maior produtor e exportador mundial, não apenas da forma concentrada do minério, mas também do óxido de nióbio e da liga ferro-nióbio, seu mais importante produto, possuindo quase a totalidade deste mercado, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 - Dados da produção e exportação do nióbio brasileiro

Ano	Liga de Ferro-Nióbio		Óxido de Nióbio	
	Produção (t)	Exportação (Bi US\$)	Produção (t)	Exportação (Bi US\$)
2011	53.691	1.840.942,00	4.388	60.630,64
2012	50.562	1.811.073,00	6.157	52.408,30
2013	46.555	1.606.353,00	6.200	56.770,34
2014	51.737	1.735.529,00	4.857	33.741,01
2015	51.874	1.568.413,00	2.630	19.885,26

Fonte: Adaptado de Pereira Júnior (2014, 2018).

Para demonstrar o potencial das empresas de mineração instaladas no Brasil, pode-se assumir que, ainda que as mesmas fossem únicas no mercado, teriam capacidade de atender os níveis atuais da demanda mundial. Isso se deve à modernidade de suas estruturas e os investimentos destinados à ampliação e implementação de novas tecnologias aos parques de produção e também às pesquisas e criação de novos produtos que tenham o nióbio em sua base, provocando a expansão e enriquecimento deste ramo do mercado. Em consequência desta significativa produção de nióbio no Brasil, o mercado interno é autossuficiente, ou seja, não precisa importar qualquer tipo de matéria prima relacionada a este material para suprir seu mercado (BRASIL, 2010).

De acordo com Dias (2013), a utilização de metais refratários tais como o nióbio para a fabricação de superligas é crescente e tende a continuar em ascensão, especialmente em virtude destas propriedades, uma vez que o aumento na eficiência e resistência de tais produtos possuem grande importância para o mercado. São exatamente estas propriedades que fazem com que o nióbio possua um valor tão significativo na fabricação de elementos como turbinas de termelétricas e, especialmente, no segmento aeroespacial para a produção de sistemas de propulsão e outras estruturas.

A indústria aeroespacial se divide nos setores aeronáutico e espacial. O aeronáutico se responsabiliza pela fabricação de transportes aéreos e seus componentes, como estruturas, motores e

equipamentos de bordo utilizados para a segurança e comunicação. Por outro lado, o setor espacial envolve a fabricação de ônibus e bases espaciais, foguetes de sondagem e veículos lançadores, satélites e suas estruturas, e outros serviços especializados (A INDÚSTRIA, 2015).

3 Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada no desenvolvimento deste estudo envolveu aspectos tanto descritivos quanto exploratórios. A princípio foi realizada uma busca na literatura em artigos e documentos publicados para apresentação e contextualização do tema, demonstrando sua relevância e justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa tecnológica.

Este estudo prospectivo realizou o mapeamento tecnológico sobre o uso do nióbio associado ao setor aeroespacial por meio do levantamento de dados dos documentos de patentes depositadas nas seguintes bases: *Espacenet* do Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office* - EPO), *Patentscope*, serviço de busca de patentes da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (*World Intellectual Property Organization* - WIPO) e banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. As buscas pelas informações tecnológicas foram realizadas em fevereiro de 2019.

Adotou-se uma estratégia de busca avançada que combinou por meio de operadores lógicos as palavras-chave em língua portuguesa e inglesa pesquisadas no campo título e/ou resumo das bases de dados definidas para o estudo. Dessa forma foi utilizada a expressão “(nióbio AND aeroespacial) OR (*niobium* AND *aerospace*)”, permitindo restringir a busca ao escopo da pesquisa.

Inicialmente os dados coletados foram submetidos a exames a fim de detectar erros. Em seguida, foram tabulados em planilhas eletrônicas do *Microsoft Excel*® para serem processados e demonstrados em tabelas e gráficos. A seção seguinte apresenta o mapeamento da tecnologia estudada por meio da análise quantitativa dos dados dos documentos de patentes encontrados, atribuindo aos mesmos significados mais amplos, vinculando-os a outros conhecimentos teóricos já existentes na literatura.

4 Resultados e Discussão

O mapeamento tecnológico constatou um total de 100 processos de depósitos de Patentes de Invenção (PI) e Modelos de Utilidade (MU) relacionados ao uso do nióbio em associação ao setor aeroespacial, dos quais 44 estão disponíveis no *Espacenet*, 55 no *Patentscope* e 1 no INPI, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 – Depósitos de patentes por base de dados

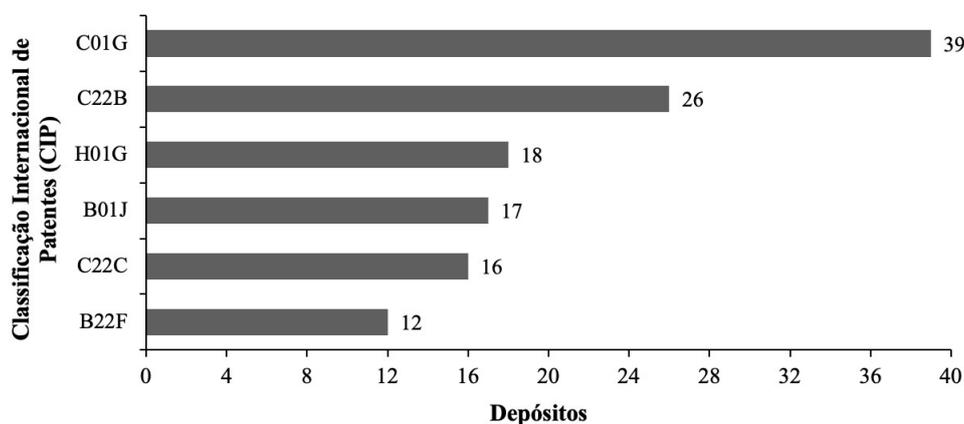
Base	Quantidade
<i>European Patent Office (Espacenet)</i>	44
Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)	1
<i>World Intellectual Property Organization (Patentscope)</i>	55
Total	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A patente encontrada no INPI foi depositada pela Universidade Federal do Paraná e consiste em um processo a plasma de corrente contínua pulsada para obtenção de produtos à base de nióbio para diferentes aplicações da indústria metal-mecânica, tais como na área aeroespacial. Para complementar o estudo, foi realizada uma busca simples no INPI com o termo “nióbio” no campo de título da patente a qual foram encontrados 135 depósitos, sendo que, conforme os dados apresentados pela Figura 1, a maioria dessas patentes estão relacionadas às seguintes aplicações: compostos contendo metais não abrangidos por outras subclasses (CIP C01G); produção ou refino de metais ou pré-tratamento de matérias-primas (CIP C22B); capacitores, retificadores, detectores,

dispositivos de chaveamento, dispositivos sensíveis à luz ou à temperatura do tipo eletrolítico (CIP H01G); e processos químicos/físicos ou aparelhos pertinentes aos mesmos (CIP B01J).

Figura 1 – Classificação das patentes depositadas no INPI

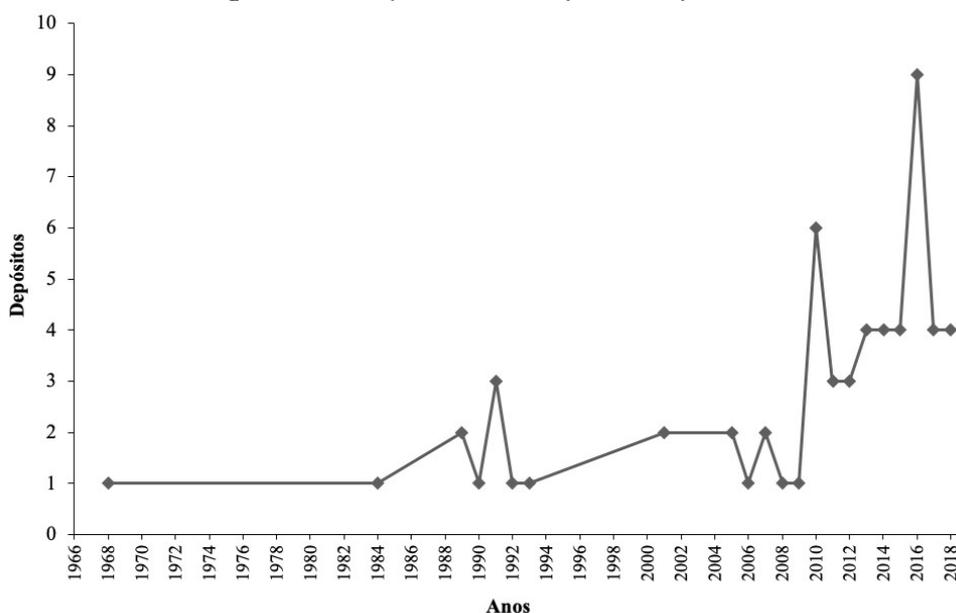


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Após análise de dados dos documentos de patentes, verificou-se a existência de documentos duplicados, os quais foram eliminados para não comprometer a pesquisa, restando 60 patentes que foram analisadas em relação ao ano de depósito, país de origem, Classificação Internacional de Patentes (CIP), inventores e depositantes.

O primeiro documento de patente depositada do nióbio associado ao setor aeroespacial foi submetido em 27 de maio de 1968 no Reino Unido pela *Cabot Corporation*, uma empresa líder global em materiais de desempenho e produtos químicos especiais, com sede em *Massachusetts*, EUA. Porém, somente a partir de 1984 os depósitos nesse setor foram contínuos, tendo seu pico com 9 patentes no ano de 2016. A Figura 2 mostra que existe uma tendência discreta de crescimento no número de patentes, impulsionada pelo aumento na quantidade de investimentos em ampliação da capacidade de produção do minério e pelos avanços das pesquisas sobre as aplicações promissoras do nióbio para o setor aeroespacial.

Figura 2 – Evolução anual dos depósitos de patentes

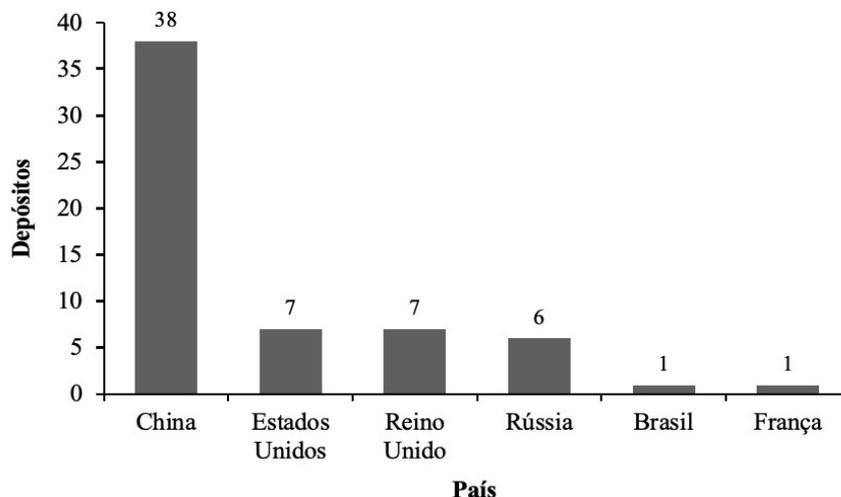


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Com relação aos depósitos de patentes por país, observa-se que a China foi o maior depositante, tendo realizado 38 depósitos, o que equivale a 63,3% das patentes, seguida dos Estados

Unidos e Reino Unido, ambos com 7 patentes (11,7%), Rússia com 6 (10%) e, por fim, Brasil e França com 1 patente cada (1,65%), conforme apresenta a Figura 3. A notoriedade da China se deve por, além de ser um dos grande compradores do minério brasileiro, o país também tem se destacado cada vez mais no setor aeroespacial, seja na produção ou no lançamento de veículos espaciais (RIBEIRO; ROSTÁS, 2018).

Figura 3 – Distribuição das patentes depositadas por país

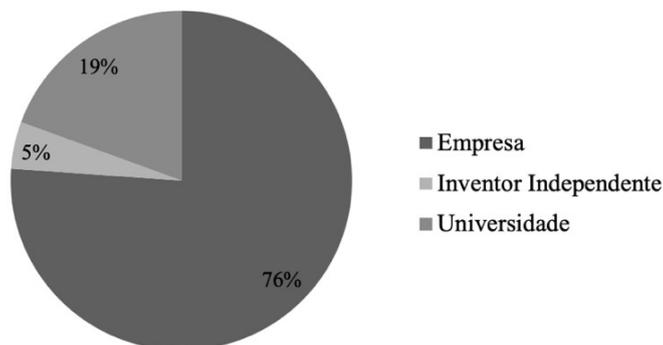


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Quanto à Classificação Internacional de Patentes, a maioria dos depósitos (58,3%) se concentra na subseção que trata de ligas (C22C). As outras classificações encontradas foram: revestimento de materiais metálicos (C23C) em 21,7% das patentes, modificação da estrutura física de metais não-ferrosos ou de ligas não-ferrosas (C22F) em 18,3%, trabalho mecânico com pó metálico (B22F) em 11,7%, entre outras. Essa distribuição entre diversas subseções se dá pelo fato de que as patentes não se limitam a uma única classificação, podendo ter diferentes aplicações.

No tocante aos inventores que participaram no processo de desenvolvimento tecnológico do nióbio associado ao setor aeroespacial, verificou-se que existe uma distribuição uniforme quanto ao número de patentes depositadas. Em primeiro lugar está TOBIN ALBERT G com 5 patentes (8,3%), seguido de WANG FENG com 4 (6,7%). Outros inventores como YU JILIANG, ZHANG XUHU e ZHENG XIN possuem 3 patentes (5%) e a grande maioria apresenta 1 patente (1,7%). A existência de inventores que também atuam como titulares depositantes é outro fator que merece atenção visto que 19% das patentes depositadas pertencem a inventores individuais. Porém, a grande maioria das patentes (76%) pertencem às empresas e apenas 5% às universidades e institutos de pesquisas, conforme apresenta a Figura 4.

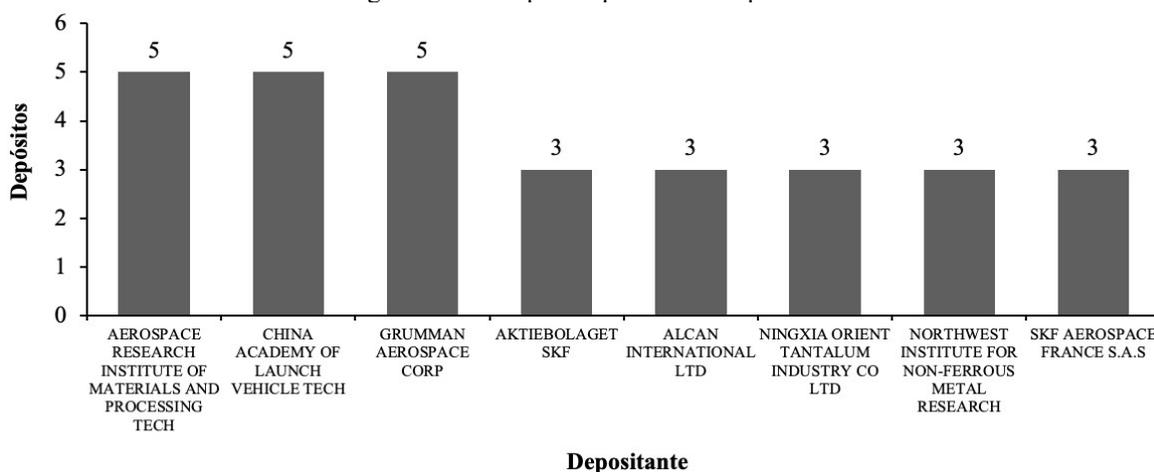
Figura 4 – Perfil dos depositantes



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Ao analisar os titulares com mais de 4 patentes depositadas, verificou-se a existência de duas empresas chinesas situadas em Pequim: *Aerospace Research Institute of Materials and Processing Tech*, que atua na pesquisa e desenvolvimento de materiais metálicos e não metálicos, processamento de soldagem e superfícies, e análise de falha de materiais; e *China Academy of Launch Vehicle Tech*, que fabrica, desenvolve e testa mísseis e veículos de lançamento. Outra empresa que se destaca com 5 patentes é a americana *Grumman Aerospace Corporation*, que foi uma das maiores empresas aeroespaciais do século XX a qual depois de se fundir com outra empresa formou a *Northrop Grumman Corporation*, atuando na indústria aeroespacial e tecnologia militar. A Figura 5 apresenta outros depositantes que se destacaram neste estudo e que atuam diretamente no setor aeroespacial ou fornecendo matéria-prima para o mesmo.

Figura 5 – Principais depositantes de patentes



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A China se destaca não apenas como o país com o maior número de pedidos de patentes, como também possui as empresas com as maiores quantidades de depósitos. Embora tenha sido identificada a participação de universidades chinesas no desenvolvimento da tecnologia estudada, as mesmas possuem apenas uma patente depositada, sendo uma tecnologia mais explorada pela iniciativa privada ainda que muitas delas com participação governamental com intuito de promover o avanço das pesquisas aeroespaciais.

5 Considerações Finais

Tendo em vista que o exame dos documentos das patentes depositadas nos órgãos de concessão constitui uma ferramenta essencial para a pesquisa tecnológica, as informações apresentadas neste estudo permitiram identificar o atual nível de desenvolvimento da tecnologia abordada. A pesquisa apontou que o nióbio é um minério que tem sua importância destacada principalmente pela resistência dos produtos construídos a partir do mesmo, sendo utilizado na confecção de ligas ultrarresistentes para aplicação nos mais diferentes setores da indústria. Em se tratando da indústria aeroespacial o nióbio tem sido largamente utilizado, seja na fabricação de artefatos espaciais, ou nas pesquisas de desenvolvimento para melhoria da tecnologia e de novas aplicações do minério.

O Brasil possui a maior jazida de nióbio do mundo e existem atualmente diversas tecnologias já depositadas nas bases de patentes envolvendo o minério. Porém, no que tange a indústria aeroespacial, essa tecnologia ainda se apresenta tímida no país, uma vez que grande parte do minério é destinada à exportação para ser utilizada no desenvolvimento de tecnologias em países como China, Estados Unidos, entre outros. Esse cenário reforça a característica extrativista ainda

presente no Brasil, a qual o país exporta grande parte dos minérios produzidos como matéria-prima para vários países e importa a tecnologia desenvolvida pelos mesmos.

O estudo também reafirma os avanços da China na tecnologia aeroespacial e outras tecnologias relacionadas ao setor militar. Esse potencial chama atenção do mundo, seja pelos acordos de transferência de tecnologia, ou pelos temores e conflitos que essa tecnologia pode ocasionar, em especial, junto aos países que já tem uma indústria espacial tradicionalmente reconhecida, como é o caso dos Estados Unidos e Rússia. Nesse sentido o Brasil pode se configurar como um importante aliado, não apenas fornecendo matéria-prima, como também o conhecimento advindo das pesquisas que o país pode desenvolver caso haja melhores investimentos neste setor.

Referências

A INDÚSTRIA Aeroespacial Brasileira. **Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.aiab.org.br/industria-aeroespacial.asp>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Relatório Técnico 20: Perfil da Mineração do Nióbio**. 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/a-mineracao-brasileira>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

CARNEIRO, T. Nióbio – desenvolvimento tecnológico e liderança. In: MELFI, A. J. et al. (Org.) **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 60-68. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-7006.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

DIAS, V. Superliga de nióbio tem eficiência energética e econômica. **Agência USP de Notícias**, 2013. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=127517>>. Acesso em: 7 fev. 2019.

MATSUNO, H.; YOKOYAMA, A.; WATARI, F.; UO, M.; KAWASAKI, T. Biocompatibility and osteogenesis of refractory metal implants, titanium, hafnium, niobium, tantalum and rhenium. **Biomaterials**, [S.l.], v. 22, n. 11, p. 1253-1262, jun. 2001.

PEREIRA JÚNIOR, R. F. Nióbio. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Economia Mineral do Brasil**. Brasília-DF: DNPM, 2009. p. 129-147. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

PEREIRA JÚNIOR, R. F. Nióbio. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sumário Mineral 2014**. Brasília-DF: DNPM, 2014. p. 94-95. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral>>. Acesso em: 08 fev. 2019

PEREIRA JÚNIOR, R. F. Nióbio. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sumário Mineral 2016**. Brasília-DF: DNPM, 2018. p. 80-81. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

RIBEIRO, I.; ROSTÁS, R. **CBMM vê retomada da demanda de nióbio e projeta crescer 7% no ano**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/empresas/5348467/cbmm-ve-retomada-da-demanda-de-niobio-e-projeta-crescer-7-no-ano>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SILVA, C. S. Nióbio. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Balanco Mineral 2001**. Brasília: DNPM, 2001. p. 445-461. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 07 fev. 2019.