



University of
Texas Libraries



e-revist@s



Centro Unversitário Santo Agostinho

revistafsa

www4.fsnet.com.br/revista

Rev. FSA, Teresina, v. 20, n. 7, art. 8, p. 167-181, jul. 2023

ISSN Impresso: 1806-6356 ISSN Eletrônico: 2317-2983

<http://dx.doi.org/10.12819/2023.20.7.8>

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

WZB
Wissenschaftszentrum Berlin
für Sozialforschung



MIAR



Prospectivo da Influência das Impurezas nas Propriedades do Cobre Refinado a Fogo (FRHC)

Prospective Influence of Impurities on the Properties of Fire Refined Copper (FRHC)

Maria Ivonete Nunes Costa

Graduada em Física pelo Instituto Federal do Piauí
mivonetenes@gmail.com

Francisco Valdivino Rocha Lima

Doutor em Ciência da Propriedade Intelectual Universidade Federal de Sergipe
Professor do Instituto Federal do Piauí
valdifino@ifpi.edu.br

Ayrton de Sá Brandim

Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos
brandim@ifpi.edu.br

Endereço: Maria Ivonete Nunes Costa

Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina-Central.
Praça da Liberdade, 1597, Departamento de Gestão e
Negócios, Prédio B, Centro, 64000040 - Teresina, PI -
Brasil.

Endereço: Francisco Valdivino Rocha Lima

Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina-Central.
Praça da Liberdade, 1597, Departamento de Gestão e
Negócios, Prédio B, Centro, 64000040 - Teresina, PI -
Brasil.

Endereço: Ayrton de Sá Brandim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Piauí, Diretoria de Pesquisa, Pos-Graduação e Inovação.
Praça da Liberdade 1597, Centro, 64000040 - Teresina,
PI - Brasil

**Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar
Rodrigues**

Artigo recebido em 20/05/2023. Última versão
recebida em 06/05/2023. Aprovado em 07/05/2023.

Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review
pelo Editor-Chefe; e b) Double Blind Review
(avaliação cega por dois avaliadores da área).

Revisão: Gramatical, Normativa e de Formatação



RESUMO

Cobre refinado a fogo (FRHC) possui diversas aplicações, principalmente na produção de fios e cabos elétricos; metal com alto teor de impurezas, especialmente de oxigênio, cuja elevada concentração de impurezas pode afetar as propriedades do material. Dentre as propriedades, sobressai a alta condutividade térmica e elétrica. Este artigo tem como objetivo realizar uma prospecção científica e tecnológica sobre a influência das impurezas nas propriedades do cobre, a fim de compreender os efeitos provocados durante os processos de fabricação de fios e cabos. A metodologia utilizada é uma revisão bibliométrica, tomando como bases científicas Web of Science e ScienceDirect is Elsevier's, para busca de artigos, e um mapeamento patentário na plataforma do EPO e Google Patents. Como resultados, 34 artigos e 13 patentes relacionadas, sendo perceptível nos últimos anos a falta de evolução e inovação de novos métodos e tecnologias de refino de cobre, principalmente voltados para a contenção de impurezas, com tendências China, Estados Unidos, Austrália, Polônia, Canadá, Reino Unido e Alemanha.

Palavras-chave: Cobre (FRHC). Impurezas. Oxigênio. Propriedades.

ABSTRACT

Fire-refined copper (FRHC) has several applications, mainly in the production of electrical wires and cables; metal with a high content of impurities, especially oxygen, whose high concentration of impurities can affect the properties of the material. Among the properties, the high thermal and electrical conductivity stands out. This article aims to conduct a scientific and technological survey on the influence of impurities on copper properties. The methodology used is a bibliometric review based on Web of Science and ScienceDirect is Elsevier's scientific bases, to search for articles, and patent mapping on the EPO and Google Patents platform. As a result, 34 articles and 13 related patents were obtained, being noticeable in recent years, the lack of evolution and innovation of new methods and technologies for refining copper, mainly aimed at containing impurities, with trends in China, the United States, Australia, poland, canada. United Kingdom and Germany.

Keywords: Copper (FRHC). Impurities. Oxygen. Properties.

1 INTRODUÇÃO

O cobre é um dos metais mais relevantes no cenário global de produção e consumo, devido à sua ampla gama de aplicações, especialmente no setor de fios e cabos elétricos. Isso se deve às suas excelentes propriedades, como alta condutividade térmica e elétrica, maleabilidade, ductilidade e resistência à corrosão e fadiga (FERREIRA, 2018).

O cobre é altamente valorizado em vários setores industriais, devido à sua versatilidade e desempenho excepcional em diversas aplicações, tornando-se um material fundamental na produção de produtos elétricos e eletrônicos.

De acordo com JFPasqua (2015), o cobre refinado a fogo (FRHC), por manifestar qualidade e pureza de 99,9%, normalmente pode ser empregado em grande escala na produção de fios e cabos elétricos. Ademais, sendo possível aplicação em outros setores, como na construção civil, indústria automobilística, telefonia, eletroeletrônicos, barras coletoras, contatos elétricos e telecomunicações.

Como mencionado, o cobre é um excelente condutor térmico e elétrico, o que o torna ideal para uso em fios e cabos elétricos, motores elétricos, transformadores e outros equipamentos elétricos. Isso porque são fins elétricos que requerem alta condutividade elétrica e, portanto, baixa resistividade e alta resistência à tração mecânica e à corrosão (SAFRA, 2011).

A condutividade elétrica de qualquer material normalmente obedece ao padrão de cobre definido em 1913 como 100% IACS (“International Annealed Copper Standard”) a 20 °C, valor de resistividade padrão do cobre recozido (0,017241 $\mu\Omega\cdot m$) (CELEBI EFE *et al.*, 2012). Padilha (2007) afirma que a condutividade determina a facilidade com que a corrente elétrica flui através de um material condutor. Para Callister Jr e Rethwisch (2008), a resistência, resistividade e condutividade são amplamente dependentes da pureza do material.

A condução de calor é outra propriedade importante do cobre. Em materiais metálicos, a condutividade térmica é definida como o fluxo de energia térmica de regiões de temperatura mais alta para regiões de temperatura mais baixa.

Além da condutividade, outra característica do cobre é a maleabilidade e a ductilidade que permitem que ele seja facilmente moldado em diferentes formas e tamanhos, tornando-o útil para uma variedade de aplicações, incluindo tubulações para sistemas de aquecimento e resfriamento, chapas metálicas para cobrir telhados e paredes externas e peças de máquinas e equipamentos.

Outra vantagem importante do cobre é sua resistência à corrosão e à fadiga. O cobre é resistente à oxidação e à corrosão, tornando-o adequado para uso em ambientes corrosivos, como nas indústrias química e petroquímica.

O desempenho das propriedades do material, tanto elétrico quanto mecânico, está diretamente associado a sua composição química, cuja quantidade de impurezas na estrutura pode prejudicar a condutividade elétrica e flexibilidade, dentre outras propriedades. Bravo (1996) afirma que a presença de impurezas, mesmo em concentrações de partes por milhão ou partes por bilhão, pode afetar a condutividade do cobre em maior ou menor grau. Quanto ao estudo, faz-se necessário o seguinte questionamento: “Como as impurezas presentes no cobre afetam as propriedades do material durante os processos de fabricação de fios e cabos?”

Durante o processo de fabricação de fios e cabos elétricos, as impurezas podem dificultar a obtenção do alongamento dos fios, condutividade e resistência elétrica. No caso do oxigênio, uma de muitas das impurezas, dependendo da quantidade, pode tornar o material frágil, acarretando em diversos problemas no processo de fábrica, principalmente do processo de trefilação, torção e desbaste.

Tendo em vista o melhoramento do comportamento mecânico e elétrico do cobre refinado a fogo FRHC, aplicado a fios e cabos elétricos, o trabalho tem como objetivo realizar uma prospecção científica e tecnológica sobre a influência das impurezas nas propriedades do cobre, a fim de compreender os efeitos provocados durante os processos de fabricação de fios e cabos. Para isso, foi identificado, na literatura, as principais impurezas que afetam as propriedades do cobre em processos de fabricação de fios e cabos. Assim como o mapeamento e análise de patentes que descrevam tecnologias, métodos e dispositivos para a detecção e remoção de impurezas no processo. Além de propor recomendações para a melhoria dos processos de fabricação de fios e cabos de cobre, com base nas informações coletadas na prospecção científica e tecnológica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Influência das Impurezas no Cobre Refinado a Fogo

O cobre refinado ao fogo (FRHC) contém altos níveis de impurezas que podem ter efeitos prejudiciais. Essas impurezas, especialmente chumbo, antimônio, bismuto e oxigênio, causam fragilização e estão diretamente relacionadas à baixa ductilidade (CAMURRI; LÓPEZ; LEÓN, 2001).

Segundo norma NRB 14733, vergalhão de cobre FRHC para uso elétrico deve apresentar qualidade e pureza de 99,9%, uma vez que a resistividade é diretamente afetada pela sua pureza, ou seja, quanto maior a pureza, maior a capacidade de conduzir eletricidade (MORENO, 2014).

Segundo Bravo (1996), as impurezas contidas no cobre se manifestam das seguintes formas em termos de suas propriedades físicas e químicas: a) todas as impurezas reduzem em alguma medida a condutividade do cobre; b) a influência de impurezas específicas na condutividade do cobre depende se ele entra em solução sólida ou forma um óxido estável na presença de oxigênio; c) O efeito cumulativo de múltiplas impurezas presentes no desempenho é muito maior. A formação de óxidos precipitados leva a um aumento da resistividade (POPS, 1995), (POPS, 1997).

As impurezas no cobre podem ser divididas nos seguintes grupos, de acordo com seus efeitos deletérios na condutividade elétrica, qualidade da superfície e processamento: (a) têm um efeito menor nos elementos Cr, Fe, Sn, P, Si e Ag; efeitos prejudiciais do arsênio e antimônio; (c) Efeitos graves sobre Bi, Te e Se (BARBOUR, 2011). Os efeitos individuais dos elementos são brevemente relatados como segue:

O enxofre, selênio e telúrio são os elementos mais nocivos para o cobre, visto que formam os compostos Cu_2S , Cu_2Se e Cu_2Te e prejudicam as propriedades mecânicas do cobre. Durante a usinagem, a presença de excesso de enxofre (> 10 ppm) pode levar ao enrugamento da superfície, porosidade, trincas e fissuras. Um aumento de apenas 1 ppm de selênio e telúrio resulta em uma alteração de 40 a 60 mm no alongamento helicoidal (um teste físico para avaliar a ductilidade do cobre). Já o estanho possui pouca influência nociva no cobre.

Bismuto é quase insolúvel em cobre, sendo particularmente prejudicial porque ocorre como um filme fino nos contornos da reticulação das ligações metálicas, o que pode tornar o cobre quebradiço em níveis acima de 10 ppm. No caso do arsênio, é solúvel em cobre e não forma óxidos estáveis. Na faixa de 1.000 a 10.000 ppm, aumenta a densidade, a resistência mecânica e a ductilidade do cobre, mas afeta muito a condutividade em concentrações superiores a 1 ppm.

Em pequenas quantidades, o chumbo não prejudica as propriedades mecânicas, podendo até ser adicionado ao cobre para melhorar essas propriedades. Contudo, concentrações acima de 15 ppm afetam a condutividade elétrica, e níveis acima de 400 ppm tornam o cobre quebradiço. Além de formar óxido de chumbo quando o oxigênio está sempre presente, precipitando e torna-se inerte. O antimônio acima de 1 ppm afeta a condutividade.

O chumbo e o antimônio têm um efeito significativo na capacidade de recozimento e na condutividade elétrica do cobre, que está relacionada ao teor de oxigênio na estrutura do material. Portanto, na faixa de 0,035 e 0,04% de 0-25 ppm de antimônio, a condutividade diminui em aproximadamente 0,15% IACS para cada 5 ppm de antimônio e, na faixa 0,035 e 0,045% a faixa de 0-25 ppm chumbo, reduz a condutividade em cerca de 0,120 e 0,10% IACS para cada 5 ppm de chumbo, respectivamente (HSU E O'REILLY, 1977).

A prata forma os compostos Ag_2Se e Ag_2Te , que têm impacto direto na condutividade. Níquel em solução sólida não forma um óxido estável e afeta a condutividade. O ferro não tem efeito óbvio nas propriedades mecânicas do cobre, mas reduz a condutividade elétrica. Aparece como inclusões contaminadas durante a fusão e laminação.

O oxigênio, por ser insolúvel em cobre, forma um eutético com cobre metálico na forma de Cu_2O , dissolve-se em metal líquido e reduz seu ponto de fusão. Um nível constante de oxigênio deve ser mantido, pois afeta diretamente a ductilidade do cobre. O óxido cuproso com teor de oxigênio superior a 600 ppm é suficiente para causar quebra (transformação em arame) durante a trefilação. Cu_2O reduz a resistência mecânica e torna o cobre quebradiço. Em pequenas quantidades favorece a condutividade e ajuda a formar 17 óxidos insolúveis de Fe e Pb, fazendo-os precipitar e mantendo-os inertes.

Em concordância com Camurri; López e León (2001), o oxigênio pode ter um efeito nocivo no comportamento mecânico do cobre, levando à fragilização e à redução da ductilidade. De acordo com Pops (2010), o alto teor de oxigênio é capaz de reduzir a condução e conformação a frio, e o baixo teor pode ocasionar trincas a quente, sendo considerado ideal teor próximo a 250 ppm. Menor quantidade de oxigênio é capaz de afetar tanto a condutividade elétrica quanto recristalização, e proporção maior tende a gerar grande quantidade de óxido cuproso (Cu_2O), podendo diminuir a condutividade e causar fragilidade (SILVA; QUINTÃO; CARIA, 2016).

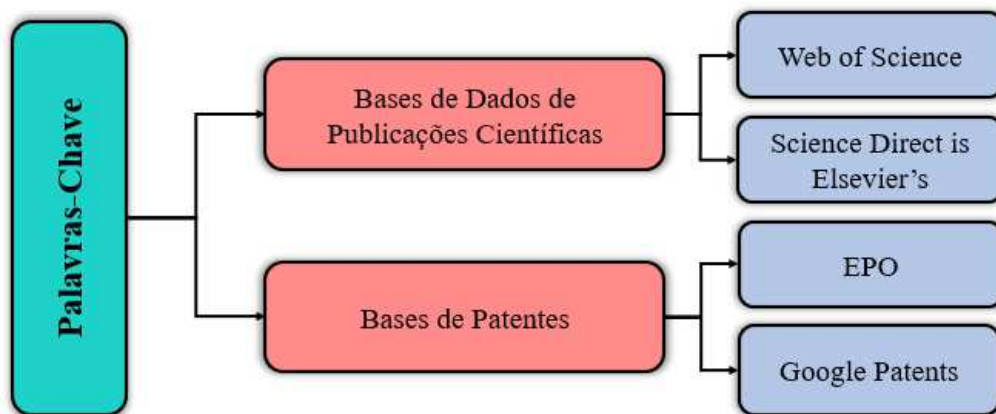
Conforme a NBR 14733, o limite máximo estabelecido de oxigênio contido no cobre para uso elétrico deve ser na faixa de 450 ppm. Silva *et al* (2011) consideram que o teor apropriado de oxigênio é capaz de precipitar impurezas, conseqüentemente podendo melhorar as propriedades do material.

3 METODOLOGIA

O estudo prospectivo foi realizado através de buscas em bases científicas, em nível nacional e internacional, com o uso de algumas palavras-chave e termos conjugados para

delinear a pesquisa, acerca dos efeitos que as impurezas provocam nas propriedades do cobre FRHC. As impurezas estão diretamente associadas ao refinamento a fogo de cobre. Então, as buscas por patentes foram realizadas na plataforma do *Google Patents* e *European Patent Office – EPO*, e os artigos nas bases da *Web of Science* e *ScienceDirect is Elsevier’s*.

Figura 1 – Metodologia para busca das palavras-chave e termos conjugados.



Fonte: Autores (2023).

A metodologia utilizada na busca dos artigos foi uma revisão bibliométrica acerca dos efeitos que as impurezas provocam nas propriedades do cobre FRHC. Métodos exploratórios qualitativos e quantitativos foram usados na avaliação dos artigos científicos revisados, com o propósito de detalhar os efeitos provocados pelas impurezas, principalmente o oxigênio na composição química do cobre em estudo. A investigação das patentes seguiu um mapeamento patentário sobre os impactos que os níveis de impurezas contidos no cobre refinado a fogo causam nas propriedades.

As palavras-chave e termos conjugados encontrados nas bases de patentes e artigos científicos foram: Fire refined copper (Cobre refinado a fogo), Impurities and fire-refined copper (Impurezas e cobre refinado ao fogo), Oxygen and fire-refined copper (Oxigênio e cobre refinado ao fogo), Fire-refined copper wire (fio de cobre refinado a fogo), Electrical conductors and fire-refined copper (Condutores elétricos e cobre refinado a fogo), Properties of fire-refined copper (Propriedades do cobre refinado ao fogo), fire-refined copper conductivity (condutividade do cobre refinado ao fogo), conforme ilustrado na tabela.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prospecção tecnológica procurou identificar todos os artigos e pedidos de patentes realizados, em nível nacional e internacional, destacando o comportamento que as impurezas desempenham nas propriedades do cobre refinado a fogo. A busca das palavras-chave e termos conjugados foram realizados nas bases de dados da *Web of Science* e *ScienceDirect is Elsevier's*, e as patentes nas bases do *Google Patents* e *European Patent Office – EPO*, representado na tabela abaixo.

Tabela 1 – Quantidade de palavras-chave encontradas nas buscas de artigos científicos e patentes.

Palavras- chave e termos conjugados	Artigos Científicos		Patentes	
	Web of Science	ScienceDirect is Elsevier's	EPO	Google Patents
“Fire Refined Copper”	4	2	80	77
“Impurities” and “Fire-refined copper”	1	1	43	40
“Oxygen” and “Fire-refined copper”	2	1	46	39
“Fire-refined copper wire”	3	0	4	4
“Electrical conductors and “fire-refined copper”	1	0	0	1
“Properties of fire-refined copper”	2	0	0	0
“Fire-refined copper conductivity”	0	0	0	0

Fonte: Autores (2023).

Com a análise da Tabela 1, verifica-se que o número de artigos relacionados às palavras-chave e termos conjugados “*Fire Refined Copper*” é significativamente baixo, com apenas 17 artigos revisados por pares, sendo que 13 deles foram encontrados no banco de dados da *Web of Science* e apenas 4 na base da *ScienceDirect is Elsevier's*. Por outro lado, pode-se observar que o resultado encontrado na base de dados *EPO* e *Google Patents* é significativamente alto, com expressividade na base de dados *EPO*. Contudo, o mapeamento apresenta uma queda considerável na quantidade de depósitos na medida em que há conjugação dos termos relacionados à expressão “*Fire refined copper*”. Na base da *EPO* e *Google Patents*, foram encontrados 334 depósitos, sendo que após a identificação, seleção e elegibilidade, por não estarem relacionados ao tema ou tratarem de patentes de outros metais que não o cobre refinado a fogo, 159 foram excluídos, estão inclusos os depósitos considerados inelegíveis por não se adequarem ao objetivo deste trabalho. Quanto às duplicadas, foram encontradas 184 patentes. Portanto, apenas 11 patentes foram consideradas elegíveis.

O maior resultado para as buscas foi o termo “*Fire Refined Copper*”, foram encontradas 4 publicações no banco de dados da *Web of Science* e apenas 2 na *ScienceDirect is Elsevier’s*. Por outro lado, pode-se verificar que o resultado encontrado na base de dados *EPO* e *Google Patents* para o termo “*Fire refined copper*” é significativamente alto, com expressividade a base de dados *EPO*. Contudo, o mapeamento patentário apresenta uma queda considerável na quantidade de patentes na medida em que há conjugação dos termos relacionados à expressão “*fire refined copper*”.

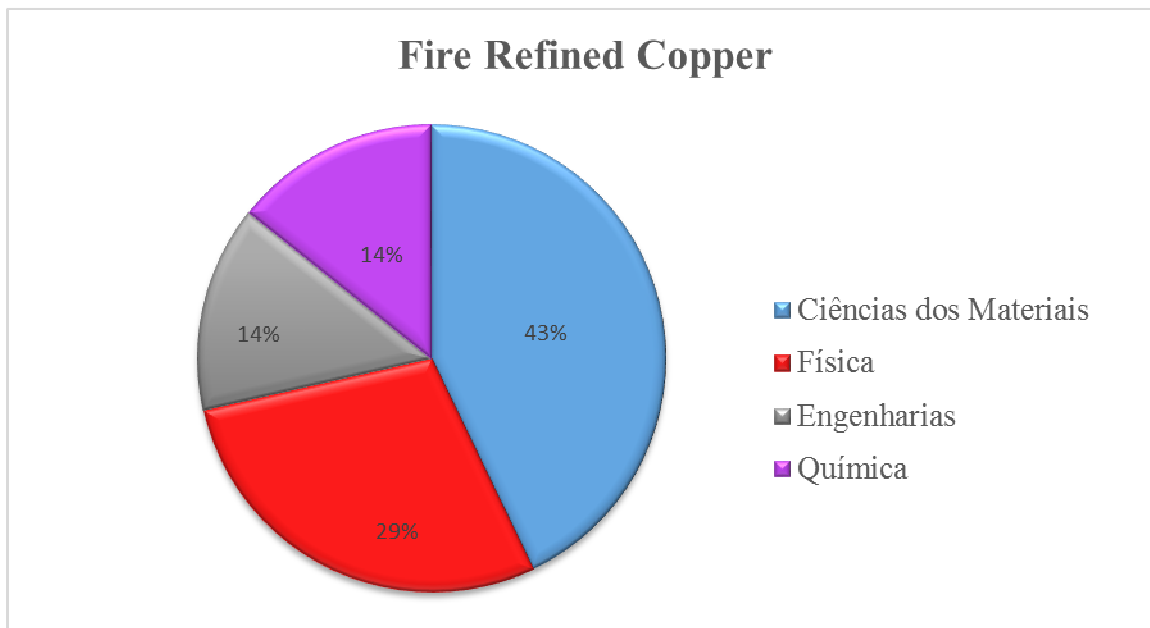
A pesquisa por “*Impurities*” and “*Fire-refined copper*” resultou em apenas um registro em ambas as bases de publicação de artigos. No entanto, a busca por patentes obteve um número significativo, com 43 depósitos na *EPO* e 40 no *Google Patents*. Nas bases *Web of Science* e *ScienceDirect* da Elsevier, a busca por “*Oxygen*” and “*Fire-refined copper*” foi pouco expressiva, 2 e 1, respectivamente. Quanto às patentes, foram 46 na *EPO* e 39 *Google Patents*. Por outro lado, na *ScienceDirect is Elsevier’s* foram dois e um, respectivamente.

A busca por “*Properties of fire-refined copper*” teve uma redução, com quatro artigos na base *Web of Science* e um na *ScienceDirect is Elsevier’s*. Também, verifica-se que os termos “*Impurities of fire-refined copper*” e “*Oxygen and fire-refined copper*” apresentaram quantidade de artigos muito inferior em comparação aos outros, com dois cada na base *Web of Science*. Enquanto, na base da *ScienceDirect is Elsevier’s* foram dois e um, respectivamente.

A busca por artigos na base de dados *ScienceDirect da Elsevier* para os quatro últimos termos demonstrou não existir, até o momento do levantamento, nenhuma pesquisa científica. Os resultados obtidos na *Web of Science* incluem três para o termo “*Fire-refined copper wire*”, um para “*Electrical conductors and fire-refined copper*”, dois para “*Properties of fire-refined copper*” e nenhum resultado para “*Fire-refined copper conductivity*”. Em relação às patentes, a pesquisa por “*Fire-refined copper wire*” apresentou resultados idênticos em ambas as bases. Agora, a busca por “*Electrical conductors and fire-refined copper*” teve apenas um resultado, encontrado exclusivamente na base do *Google Patents*. Não há nenhum depósito para os dois últimos termos nas bases *EPO* e *Google Patents* após a pesquisa por patentes.

A Figura 2 apresenta um demonstrativo das áreas de publicação de artigos sobre a palavra-chave e termos associados *Fire Refined Copper*. Ciências dos materiais foi a área que obteve maior percentual de publicações, representando 43%; a física, em segundo lugar representando 29%. As áreas de engenharias e química foram as que ficaram em último com menor índice representando 14%.

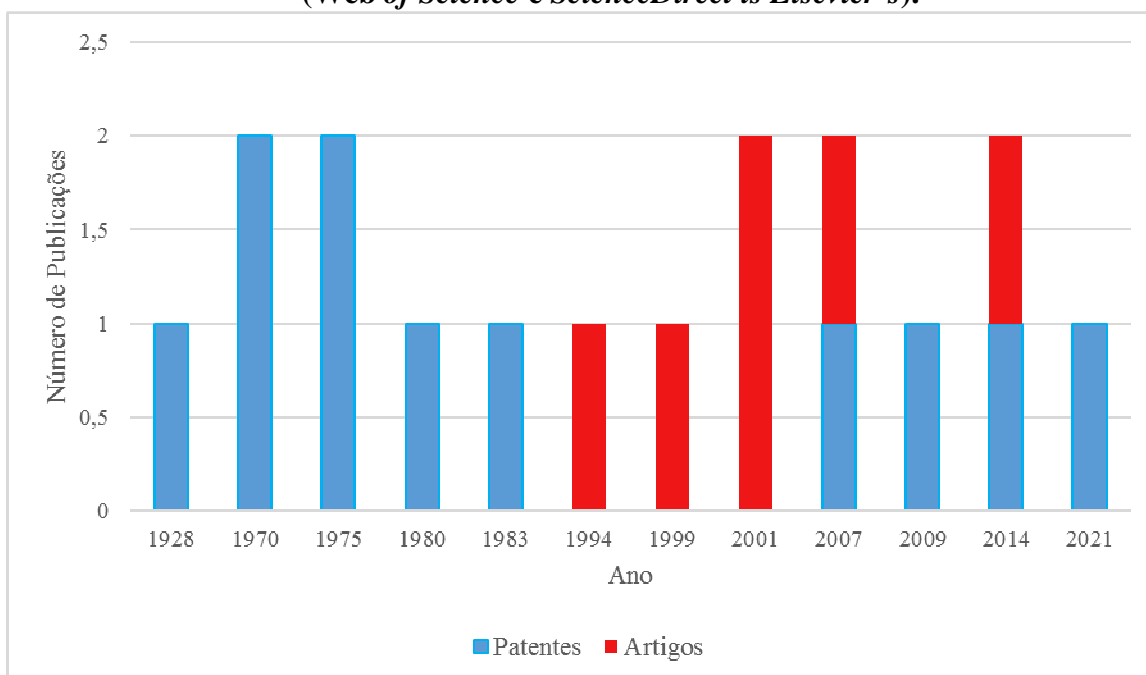
Figura 2 – Áreas de publicação sobre Fire Refined Copper.



Fonte: Baseada em dados coletados na base Web of Science e ScienceDirect is Elsevier's (2023).

Na Figura 3, pode-se observar a evolução anual no número de patentes e artigos publicados entre 1928 e 2021. O artigo com publicação mais recente é sobre aspectos tecnológicos da minimização dos tamanhos de uma unidade de laminação contínua na produção de fio-máquina de cobre refinado a fogo (SMIRNOV, *et al.*, 2020).

Figura 3 – Evolução anual de número de patentes (EPO e Google Patents) e Artigos (Web of Science e ScienceDirect is Elsevier's).



Fonte: Baseada em dados coletados nas bases de dados de patentes e artigos (2023).

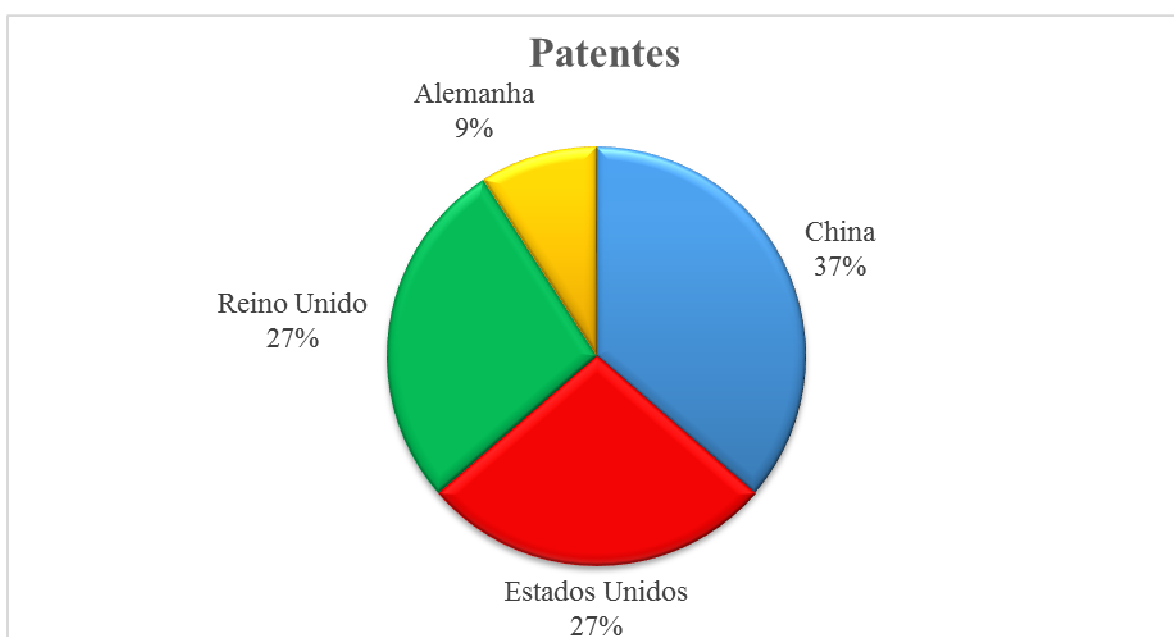
Ao analisar a Figura 3, é evidente o baixo equilíbrio na produção de artigos científicos e no depósito de patentes relacionados aos efeitos das impurezas nas propriedades do cobre refinado a fogo. O ano de 2001 foi o período em que mais houve publicações de artigos, duas publicações. Quanto ao depósito de patentes, foram os anos 1970 e 1975, com dois depósitos.

Métodos de refino a fogo de cobre com ação redutora de impurezas começou a ser pauta em 1928, com a publicação da primeira patente sobre refino pirometalúrgico de cobre (US1817935A). O método envolve a produção de um produto piro-refinado a um custo menor com propriedades químicas e físicas superiores às produzidas por métodos de refino conhecidos anteriormente.

Nos últimos anos, o crescimento de publicação de patentes tem sido gradativo, com pouco depósitos, apenas 11 patentes depositadas, isso mostra a estagnação no desenvolvimento de tecnologia de refinamento de cobre a fogo voltada para a contenção de impurezas. O depósito mais recente, em 2021, com o código (CN113046565A) refere-se a um método para remoção adicional de impurezas do cobre pirorefinado. Este método pode efetivamente remover impurezas como arsênico, antimônio e chumbo no processo de pirorefinação (YUAN, *et al.*, 2021), conforme ilustrado na Figura 3.

A análise dos dados permite identificar os países mais ativos e relevantes acerca dos efeitos que as impurezas causam no cobre refinado a fogo, compreendendo a distribuição geográfica do conhecimento e da pesquisa.

Figura 4 – Países que efetuaram depósitos de patentes.



Fonte: Baseada em dados coletados na base da EPO e Google Patents (2023).

De acordo com os dados da Figura 4, a China possui o maior número de patentes acerca dos efeitos que as impurezas provocam no cobre refinado a fogo, representando 37%. Isso mostra que a China está mais avançada em P&D nesse campo em comparação com outros países. Os Estados Unidos e o Reino Unido ocupam o segundo lugar na lista com 27% de participação, o que mostra que esses países também têm uma presença considerável neste campo. Alemanha ficou em último lugar com 3% de participação, sugerindo que esse país não está tão avançado em P&D nessa área quanto os outros.

Dentre os depósitos, a patente chinesa CN 101314819A apresenta o vínculo mais forte com a pesquisa. É caracterizado pelo uso de processo de refino de fogo de cobre não oxidativo e não redutor, no qual o oxigênio reage com as impurezas para obter impurezas únicas e remoção de oxigênio. A invenção tem as vantagens de operação simples e conveniente, alta eficiência de produção, baixo consumo de energia, sem agente redutor e sem poluição de fumaça preta e é adequada para produção industrial em larga escala.

A busca incessante por transformação ou criação de novos materiais com qualidade superior, aliado com o grande consumo do cobre, pode incentivar o desenvolvimento de novas técnicas de refino de cobre a fogo, com o intuito de remover cada vez mais as impurezas e, assim, aumentando a quantidade de publicações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo prospectivo acerca da influência das impurezas nas propriedades do cobre refinado a fogo, especialmente os impactos durante os processos de produção de fios e cabos elétricos, até o momento do levantamento, não houve nenhum depósito de patentes nas bases em estudo. Quanto aos impactos provocados pelas impurezas no cobre, há poucos artigos com abordagem clara e eficiente. Quanto ao mapeamento e análise de patentes que descrevem tecnologias, métodos e dispositivos para a detecção e remoção de impurezas obteve poucas publicações nos últimos anos, com estagnação significativa, sendo a China o país com maior número de depósitos, além de ser o país que apresenta publicações mais recentes.

Da aplicação dessas patentes, foram encontradas invenções que utilizaram métodos de refino a fogo do cobre com ação redutora de impurezas, principalmente de oxigênio. Tal informação se mostra como uma resposta para o cuidado com os níveis de impurezas contidos no cobre durante o processo de refino, apontando tendência para as refinarias. Outras patentes abordam a preocupação com o aquecimento global, visto que estão usando métodos que

agridem menos o meio ambiente, como exemplo as técnicas sem poluição por fumaça preta, injeção de gás natural e as que envolvem baixo consumo de energia.

Embora o resultado mostre alguns artigos cujos temas estão relacionados às impurezas contidas no cobre refinado a fogo, são necessárias pesquisas mais aprofundadas para especificar e quantificar os subtemas que estão sendo pesquisados nesse campo, a fim de orientar com mais precisão as possibilidades de pesquisas futuras.

A implementação de novos métodos e tecnologias na remoção de impurezas contidas no cobre refinado a fogo, a fim de melhorar as propriedades do material destinado à fabricação de fios e cabos elétricos é um caminho a ser trilhado pelo setor. A partir dos resultados encontrados, é notória a falta de produções voltadas para esse fim, acredita-se em breve tenha mais desenvolvimento científico nessa área, visto que o cobre de maneira geral é um dos metais não ferrosos mais consumidos no mundo. Nos últimos anos, a China tem investido em pesquisa e desenvolvimento nesse setor. Isso pode levar ao surgimento de novos métodos mais simples, eficientes, acessíveis e com melhores propriedades para os fins que serão destinados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14733 – **Vergalhão de cobre para uso elétrico**. Rio de Janeiro, 2001.

BARBOUR, R. **Determinação de impurezas em cobre eletrolítico por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado**. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Química, Salvador, Bahia, 2011.

BRAVO, J. L. **Eletrólise**, in Curso ministrado na Caraíba Metais, Dias D'Ávila, Bahia, 1996.

CALLISTER JR., W. D. RETHWISCH, D. G. **Fundamentals of Materials Science and Engineering** – An Integrated Approach – International Student Version – Editora John Wiley & Sons, 3ª Edition, 2008.

CAMURRI, C. P; LÓPEZ, M. J; LEÓN, R. C. **Rheology and metal forming of fire-refined copper**. 47 (3-4), Department of Metallurgy, University of Concepción, Edmundo Larenas 270, Casilla 53-C, Concepción, Chile.

CELEBI EFE, G. *et al.* An investigation of the effect of SiC particle size on Cu-SiC composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 4, p. 1813–1822, 2012.

CUNNINGHAM, T. *et al.* Kennecott Corp. **Verfahren zur Herstellung hoch reiner Kupferdrahte**. Int. Cl. B21C 37/04. Den. DE2062557A1. 18 Dec. 1970, 24 Jul. 1971. Escritório de Patentes Alemão.

FERREIRA, F. R. R. **Estudo da recristalização do cobre em liga comercialmente pura**. Monografia, Engenharia Metalúrgica. Fortaleza – CE, 2018.

HSU Y. T; O'REILLY. B. **Impurity effects in high-conductivity copper**. JOM, 29(12), 1977, 21-24; Doi:10.1007/BF03354339.

MORENO, H. **Cabos elétricos de Tensão**. IFC Cobrecom NBR 5410 Fios e Cabos Elétricos, Itu (SP), Agosto de 2014.

PADILHA, A. F., **Materiais de Engenharia - Microestrutura e Propriedades** – Ed. Hemus, 2007.

POPS, H. **The role of the conductor in the manufacture and performance of magnet wire**. Electrical Insulation Magazine, IEEE, 11, p. 17-23,1995.

POPS, H. **The metallurgy of copper wire**. Copper Development Association Inc., 1997.

POPS, H. **Influence of oxygen in copper**. Tech News Magazine. 2010; 5: 230-232.

SAFRA, L. C. P. G. **Obtenção de fios em ligas de cobre para utilização em linhas de transmissão e em eletrodos para contatos elétricos**. Mestrado em Ciências e Tecnologia Nuclear – Materiais. São Paulo, 2011.

SÁNCHEZ M. *et al.* Influence des additions de Pb et de Sn sur la ductilité du cuivre OFHC entre la température ambiante et 1000 °C. **Mem Sci Rev Metall** 1981;78(2):101 – 9.

SILVA, B. P, *et al.* In: **14º Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa**: 2011, Salvador, BA. Anais. Salvador, BA: UFBA, 2011, p16-19.

SILVA, B. P; QUINTÃO, V. M; CARIA. M. F. In: **7º Seminário de trefilação: arames, barras e tubos de metais ferrosos e não ferrosos**: 2016, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABM Week, 2016, p.10-18

SMIRNOV, E. N, *et al.* Technological Aspects of Minimization of the Sizes of a Continuous Casting-Rolling Unit in the Production of Wire Rods from Fire-Refined Copper. **Metallurgist**, 64(5-6), 553–565. Russia, 2020.

SONGLIN, Z; HAO, Z. **无氧化无还原火法精炼铜工艺**. Escritório Estatal de Propriedade Intelectual da República Popular da China. Int. Cl. C22815/00 (2006.01) C228 9/05 (2006.01). Den. CN 101314819A. 28 Mar. 2007. 03 Dec 2008. Agência de Patentes Tongling Tiancheng Procurador do Escritório de Patentes Cheng Jia.

STOUT, H. H. Clifton, Arizona, **Pyrometallurgical copper refining**. Int. Cl. C22B15/00; C22B15/14. Den. US1817935A. 15 Aug. 1928, 11 Aug 1931. Desoxidação de cobre CCR, New York, NY.

YUAN, J, *et al.* **Escritório Estatal de Propriedade Intelectual da República Popular da China. 种火法精炼铜进一步脱除杂质的方法**. Int. Cl. C22B9/00 (2006.01); C228 5/12

(2006.01); C22B 15/14 (2006.01). Den. CN113046565A. 02 Mar. 2021, 29 Jun. 2021. Agência de Patentes Xi'an Yanchuang Tianxia.

Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:

COSTA, M. I. N; LIMA, F. V. R; BRANDIM, A. S. Prospectivo da Influência das Impurezas nas Propriedades do Cobre Refinado a Fogo (FRHC). **Rev. FSA**, Teresina, v. 20, n. 7, art. 8, p. 167-181, jul. 2023.

Contribuição dos Autores	M. I. N. Costa	F. V. R. Lima	A. S. Brandim
1) concepção e planejamento.	X		
2) análise e interpretação dos dados.	X	X	X
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.	X	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.	X	X	X