

ESTUDO SOBRE TECNOLOGIAS ENVOLVENDO POLÍMEROS NO SETOR FERROVIÁRIO E MINERAÇÃO

Eduarda C. B. Araujo¹; Juan P. B. Roa¹

¹*Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri*
eduarda.brites@ufvjm.edu.br

Palavras-Chave: Prospecção tecnológica; Inovação; Patentes

Introdução

O modal ferroviário desempenha um papel estratégico na logística da mineração brasileira, consolidando-se como um dos principais modais responsáveis pelo escoamento de grandes volumes de minério de ferro e outros recursos minerais até portos e centros de processamento. Apesar de sua importância, esse setor enfrenta desafios significativos relacionados ao desgaste mecânico, à corrosão e à necessidade de manutenções frequentes, fatores que aumentam os custos operacionais e reduzem a eficiência do sistema. Nesse cenário, a aplicação de materiais poliméricos surge como uma alternativa inovadora e sustentável para enfrentar tais obstáculos, oferecendo propriedades diversificadas capazes de transformar o desempenho do setor ferroviário de mineração.

Os polímeros, por sua versatilidade, resistência e leveza, têm sido amplamente estudados e aplicados em diversos segmentos industriais. No setor ferroviário, são empregados em diferentes partes da infraestrutura como dormentes, revestimentos protetivos de vagões e soluções de aspersão em cargas, contribuindo para reduzir a degradação de equipamentos, minimizar perdas e mitigar impactos ambientais. Esses avanços evidenciam um movimento de substituição de materiais convencionais por soluções poliméricas, que proporcionam maior durabilidade, segurança, ganhos econômicos e ambientais relevantes. Além de que os polímeros, por serem recicláveis, favorecem a economia circular e fortalecem a sustentabilidade.

A introdução de polímeros na indústria foi um marco decisivo para o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, permitindo a criação de materiais de alto desempenho e aplicações específicas em setores diversos. No contexto ferroviário de mineração, estudos recentes apontam que tecnologias como revestimentos poliméricos, aspersão de polímeros para controle de poeira e a utilização de compósitos estruturais representam soluções eficazes para enfrentar problemas recorrentes, como a abrasão intensa, a corrosão acelerada e a dispersão de partículas. Assim, a incorporação desses materiais no setor não apenas amplia a eficiência operacional, mas também dialoga com as demandas atuais por práticas industriais mais sustentáveis.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo geral reconhecer e discutir as aplicações de materiais poliméricos no setor ferroviário vinculado à mineração, evidenciando seus benefícios em termos de desempenho, eficiência e sustentabilidade. Entre os objetivos específicos, destacam-se: identificar a relevância crescente dos polímeros como materiais versáteis e eficientes nas operações ferroviárias voltadas à mineração; analisar as principais tecnologias aplicadas nesse setor, por meio de prospecção tecnológica; e levantar informações atualizadas sobre tendências, patentes e perspectivas futuras relacionadas ao tema.

A relevância deste estudo justifica-se pelo papel fundamental da mineração no desenvolvimento econômico brasileiro, responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB). De acordo com informações do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e do Ministério de Minas e Energia (MME), a economia mineral foi responsável por aproximadamente 2,5% a 4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro nas últimas décadas. Isso representa um valor estimado entre R\$150 bilhões e R\$340 bilhões em

2021. Entretanto, essa atividade também é associada a desafios ambientais e sociais de grande magnitude, que exigem soluções inovadoras e responsáveis. A utilização de polímeros insere-se nesse contexto como alternativa promissora para equilibrar eficiência operacional, redução de custos e mitigação de impactos ambientais. Além disso, no setor ferroviário, onde a manutenção de equipamentos e a integridade da infraestrutura são fatores determinantes para a competitividade, os polímeros apresentam potencial para prolongar a vida útil de componentes, reduzir paradas não programadas e otimizar processos logísticos.

Assim, a proposta deste trabalho é contribuir para a compreensão das possibilidades de aplicação dos polímeros na interseção entre os setores de mineração e transporte ferroviário, destacando sua importância para a modernização tecnológica, a sustentabilidade e a segurança operacional.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem metodológica em duas etapas principais: revisão bibliográfica e prospecção tecnológica. A revisão bibliográfica consistiu no levantamento de artigos, livros, documentos técnicos e publicações científicas sobre o uso de polímeros no setor ferroviário, com ênfase na indústria de mineração. Essa etapa permitiu compreender a relevância crescente desses materiais e identificar como suas propriedades, como resistência à corrosão, abrasão, leveza e reciclagem, podem contribuir para a eficiência operacional e a sustentabilidade, alinhando-se aos princípios da economia circular.

A revisão começou abordando a história dos polímeros, desde a utilização de resinas naturais por antigas civilizações até o surgimento dos polímeros sintéticos contemporâneos, que transformaram o progresso tecnológico ao longo do século XX. Em seguida, analisou-se o setor ferroviário brasileiro, enfatizando sua importância estratégica para o transporte de cargas e logística da mineração. Apesar da redução da malha ferroviária, as ferrovias permanecem essenciais pelo menor custo de transporte, capacidade de carga elevada e menor impacto ambiental em comparação com o modal rodoviário.

Na sequência, foi abordada a mineração no Brasil, atividade importante para a economia nacional e mundial. O país está entre os maiores produtores de minério de ferro, bauxita, ouro e outros minerais, contribuindo significativamente para o PIB. Entretanto, a atividade é acompanhada de desafios ambientais, como geração de rejeitos e impactos sobre a qualidade do ar, do solo e os recursos hídricos. Nesse contexto, torna-se necessário incorporar soluções tecnológicas capazes de mitigar os efeitos negativos, entre as quais se destacam as aplicações de polímeros.

Entre as principais aplicações dos polímeros no setor ferroviário de mineração foram identificadas duas áreas de destaque a aspersão de polímeros em vagões de minério, técnica que consiste em aplicar uma solução polimérica sobre a carga transportada, formando uma película protetora que evita a dispersão de partículas, reduz perdas econômicas e minimiza a poluição atmosférica; e os revestimentos poliméricos, aplicados por técnicas como a aspersão térmica, que oferecem alta resistência à abrasão e à corrosão, além de facilitar o descarregamento de minérios e aumentar a vida útil de vagões, caçambas.

A segunda etapa metodológica consistiu na prospecção tecnológica, realizada por meio da base de dados ESPACENET, que reúne patente mundial. Foram utilizados termos de busca relacionados a polímeros, ferrovias e mineração, para mapear tendências tecnológicas, identificar os principais países e empresas depositantes de patentes, além de analisar a classificação internacional (IPC) mais recorrente. Essa abordagem permitiu observar o cenário de inovações, bem como compreender a posição do Brasil em relação ao contexto global.

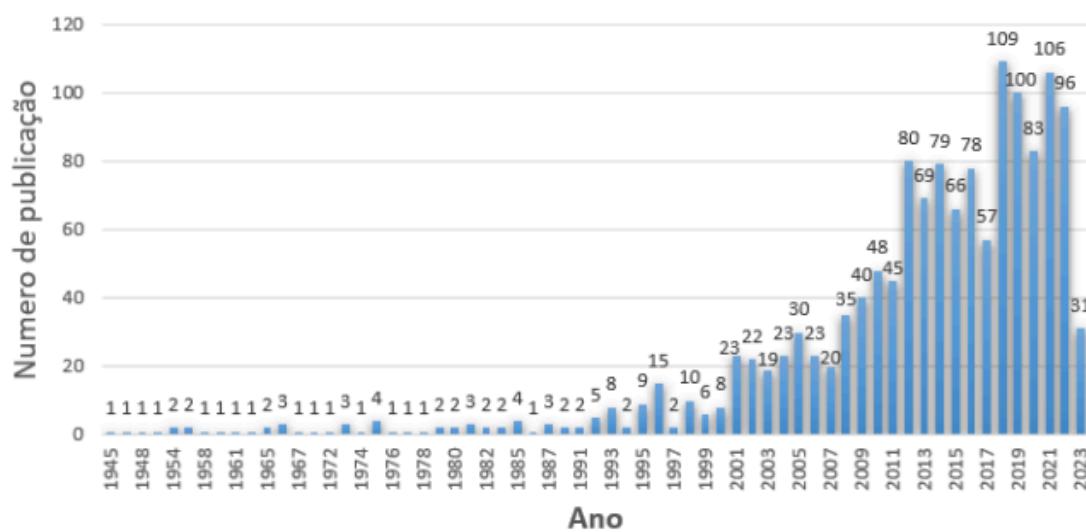
Resultados e Discussão

Na prospecção tecnológica foram identificadas 29,4 mil famílias de patentes relacionadas aos termos *polymer* e *railway*, das quais aproximadamente 4,7% também

apresentaram vínculo direto com a mineração. Esse resultado evidencia que, embora a aplicação dos polímeros em sistemas ferroviários seja consolidada mundialmente, sua associação ao setor mineral ainda representa um campo relativamente restrito, mas em franca expansão. O dado reforça a percepção de que existe um espaço significativo para o desenvolvimento tecnológico e científico nessa interface, especialmente em países de forte tradição mineradora, como o Brasil.

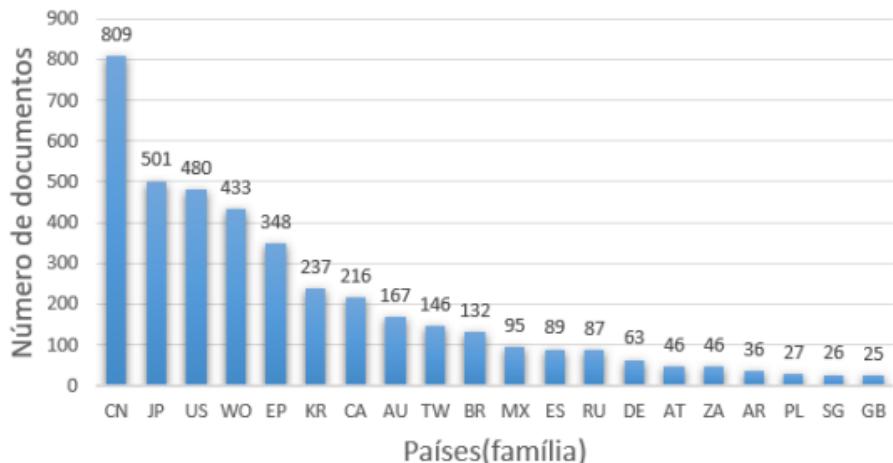
A análise temporal das publicações na base de dados ESPACENET revelou que, entre 1945 e 2023, o número de patentes cresceu de forma gradual até alcançar picos expressivos a partir dos anos 2000, com destaque para 2018, quando foram registrados 109 pedidos de patentes globais relacionados ao tema. Esse aumento está diretamente associado ao avanço das pesquisas em polímeros de alto desempenho, capazes de substituir materiais tradicionais em aplicações críticas. No Brasil, a primeira publicação sobre o tema ocorreu em 1975, e o maior volume de depósitos foi registrado em 2016, com 14 documentos. Embora o país apresente apenas 132 patentes na área, o que representa uma fração modesta do cenário global, observa-se um potencial de crescimento, considerando a relevância nacional tanto no setor minerador quanto no ferroviário.

Figura 1– Número de publicação no ESPACENET por ano



Quanto à distribuição geográfica, os resultados mostraram que China, Japão e Estados Unidos concentram o maior número de patentes depositadas no segmento de polímeros aplicados a ferrovias e mineração, com 809, 501 e 480 registros, respectivamente. O Brasil ocupa a décima posição, ao lado da Argentina, sendo os únicos países sul-americanos presentes no ranking. Essa concentração em países industrializados evidencia não apenas a maturidade tecnológica dessas nações, mas também a prioridade estratégica dada à inovação em setores-chave para a infraestrutura e a sustentabilidade.

Figura 2 - Número de publicação de família no ESPACENET por Países

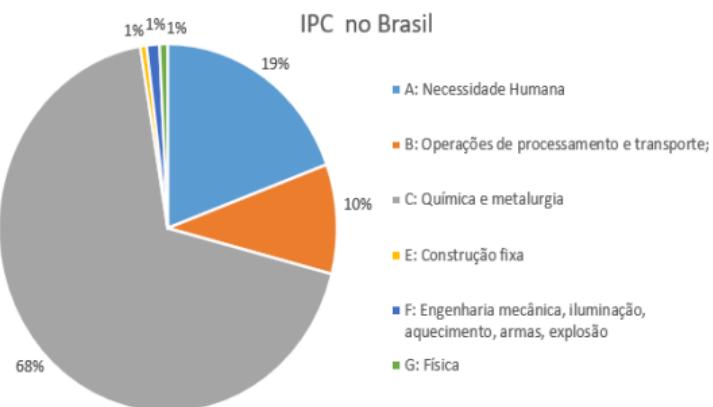


Fonte: Autoria própria (2024)

Em relação ao idioma de publicação, observa-se a predominância do inglês, responsável por aproximadamente 40% das patentes, seguido do chinês e do japonês. O português aparece em apenas 31 publicações, o que corresponde a uma parcela bastante reduzida. Isso demonstra que, mesmo em pesquisas realizadas no Brasil, há forte tendência em publicar em línguas de maior circulação científica, ampliando a visibilidade internacional, mas, ao mesmo tempo revelando a necessidade de maior estímulo à produção nacional de conhecimento.

Outro aspecto relevante foi a classificação internacional de patentes (IPC). A análise mostrou a predominância da seção C – Química e Metalurgia, que abrange compostos macromoleculares orgânicos e processos de preparação ou aplicação de polímeros. Essa seção respondeu por cerca de 68% dos registros no Brasil, indicando que as pesquisas priorizam o desenvolvimento de materiais com propriedades específicas, como resistência química, mecânica e térmica, aplicáveis às condições severas do transporte mineral. As seções A – Necessidades Humanas e B – Processamento e Transporte também apresentaram representatividade, embora em menor escala, reforçando a abrangência das aplicações poliméricas.

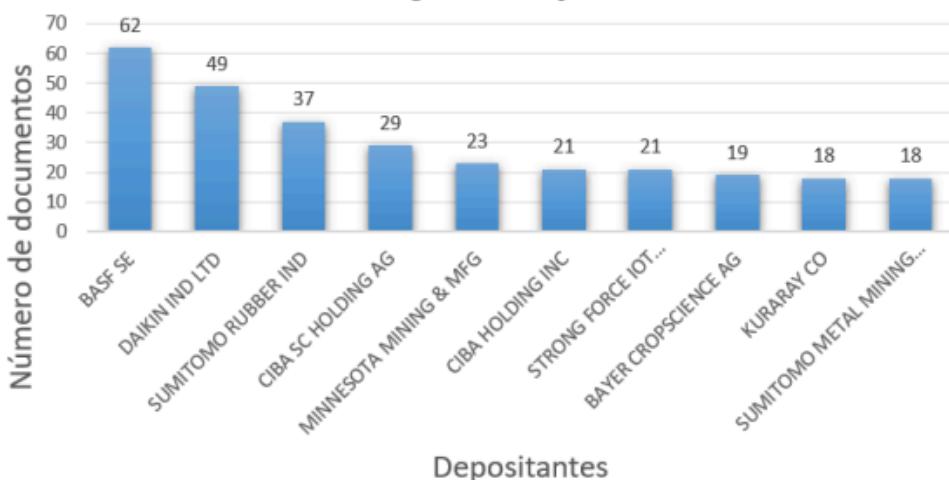
Figura 3 - Classificação Internacional de Patentes (IPC) no Brasil em % por setor



Fonte: Autoria própria (2024)

Em termos de empresas e instituições depositantes, a BASF SE destacou-se como a principal depositante mundial e também no Brasil, com 62 registros globais e 31 nacionais. Essa liderança está relacionada à sua posição consolidada como maior produtora de químicos do mundo e à capacidade de investir em pesquisa aplicada a diferentes setores. Outras empresas japonesas, como DAIKIN IND LTD e SUMITOMO RUBBER IND, também aparecem entre os principais depositantes, refletindo o protagonismo de empresas japonesas no desenvolvimento de materiais poliméricos de alto desempenho. No Brasil, além da BASF, empresas como a Bayer CropScience AG e inventores individuais, como Erdelen Christoph, aparecem com relevância.

Figura 4 - Depositantes



Fonte: Autoria própria (2024)

A análise dos países depositantes mostrou novamente o domínio dos Estados Unidos, Alemanha e Japão, confirmando a forte correlação entre infraestrutura de pesquisa, capacidade industrial e inovação tecnológica. O Brasil aparece apenas na 26ª posição, com dois depósitos, revelando uma lacuna a ser superada. No entanto, observa-se que, no caso brasileiro, grande parte da produção científica está concentrada em universidades e centros de pesquisa governamentais, o que reforça a necessidade de políticas públicas e parcerias estratégicas com a iniciativa privada para transformar conhecimento em inovação patenteável. No que se refere aos inventores mais produtivos, o panorama internacional destacou nomes como Kawasaki Kazuyoshi, enquanto no Brasil, o pesquisador Erdelen Christoph aparece em posição de destaque, tanto como inventor quanto como depositante. Esse resultado demonstra que, embora a participação brasileira ainda seja limitada em termos quantitativos, há iniciativas individuais e institucionais relevantes que podem ser ampliadas com maior investimento em pesquisa e inovação.

Os resultados permitem inferir que a aplicação de polímeros na interface entre ferrovias e mineração é uma área com alto potencial de expansão tecnológica, sobretudo considerando os desafios atuais de desgaste, corrosão e sustentabilidade ambiental. Tecnologias como a aspersão de polímeros em vagões de minério e os revestimentos poliméricos de alta performance estão alinhadas às demandas do setor, aumentando a durabilidade de equipamentos e reduzindo custos, também propícia à redução de impactos ambientais, como a dispersão de partículas e a poluição atmosférica.

Dessa forma, os dados obtidos demonstram que a prospecção tecnológica é uma ferramenta essencial para o monitoramento de tendências e oportunidades de inovação. A identificação de países, empresas e pesquisadores líderes na área pode subsidiar políticas de fomento à pesquisa e fortalecer a inserção do Brasil no cenário global. Além disso, o

levantamento das patentes mostra que, embora ainda exista um caminho a percorrer, há um campo fértil para a consolidação da pesquisa aplicada ao uso de polímeros no setor ferroviário de mineração, especialmente em direção a soluções mais sustentáveis e integradas à economia circular.

Conclusões

A indústria ferroviária desempenha papel estratégico na logística de minerais no Brasil, porém enfrenta desafios significativos relacionados ao desgaste mecânico e à corrosão da infraestrutura. Nesse contexto, a aplicação de polímeros surge como uma alternativa inovadora, capaz de reduzir problemas operacionais, aumenta a eficiência e segurança no transporte de minerais. A prospecção tecnológica permitiu mapear o uso e a aplicação de polímeros na indústria ferroviária de mineração, evidenciando tendências, inovações e áreas de estudo emergentes. Os dados indicam um crescente interesse global no desenvolvimento de novos materiais poliméricos para este setor, com destaque para países como China, Japão, Estados Unidos e Alemanha, líderes em registros de patentes e inovações. Apesar de o Brasil apresentar um volume menor de patentes, há um potencial claro para expansão, principalmente por meio de universidades e centros de pesquisa governamentais, que concentram grande parte da pesquisa científica nacional.

A divulgação de informações sobre patentes, aliada ao estímulo à pesquisa em bancos de patentes, demonstra-se essencial para o fortalecimento da inteligência competitiva e do processo de inovação. O monitoramento sistemático das tecnologias permite identificar oportunidades estratégicas, orientar investimentos em pesquisa e apoiar a tomada de decisão científica, contribuindo para o desenvolvimento de novas soluções aplicáveis à ferrovia e à mineração. Dessa forma, a integração entre prospecção tecnológica, inovação em polímeros e políticas de incentivo à pesquisa representa um caminho promissor para ampliar a competitividade e sustentabilidade do setor ferroviário brasileiro na logística mineral.

Agradecimentos

CNPq, CAPES, FAPEMIG, UFVJM, ao LMEDP/ICT/UFVJM e ao NDF-MG

Referências

ASSIS, A. C. V.; SILVA, C. A. da; MARCHETTI, D. S.; DALTO, E. J.; RIOS, E.; FERREIRA, M. A. Ferrovias de Carga Brasileiras: uma análise setoriallogística. Bndes Setorial, Rio de Janeiro, v. 1, n. 46, p. 1-224, set. 2017. Disponível em : https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14136/2/BNDES-Setorial-46_Ferrovias_P.pdf. Acesso em: 14 maio 2024

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS(ANTF). Histórico. Disponível em: <https://www.antf.org.br/historico/> Acesso em: 14 maio. 2024

EPO. Espacenet patent search. Disponível em: <https://www.epo.org/en/searching-for-patents/technical>. Acesso em: 26 jun. 2024

FERNANDES, F. R. C; ARAUJO, E. R. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais, 2016. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1909/1/conflitos_ambientais_cap.2%20p65.pdf. Acesso em: 14 maio. 2024

HAGE JR, E. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. Polímeros, v. 8, p. 6-9, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/dxqsKgLFHQT6dC7hK3cjK7r/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 06 jun. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Ipea). Ipea e MME lançam estudo sobre a extensão da cadeia produtiva da mineração no PIB brasileiro. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/14835-ipea-e-mme-lancam-estudo-sobre-a-extensao-da-cadeia-produtiva-da-mineracao-no-pib-brasileiro>. Acesso em: 04 maio. 2024



64º Congresso Brasileiro de Química
04 a 07 de novembro de 2025
Belo Horizonte - MG

ROLIM, David Matheus de Oliveira. Análise da aplicabilidade dos biopolímeros para o melhoramento da qualidade de vida Frente às possibilidades de aplicação e inovação. 2019. Disponível em :<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6073>.Acesso em: 14 maio. 2024