



PROSPECÇÃO PATENTÁRIA DE TECNOLOGIAS MAIS LIMPAS NO SETOR SIDERÚRGICO BRASILEIRO IMPACTADO PELO CBAM DA UNIÃO EUROPEIA

Thais Farias de Oliveira Bonfim – thais.bonfim@ifba.edu.br

Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual - Instituto Federal da Bahia

André Luis Rocha de Souza – andresouza@ifba.edu.br

Instituto Federal da Bahia

José Célio Silveira Andrade – jcelio.andrade@gmail.com

Universidade Federal da Bahia

André Luiz Leite Ferreira – andre.ferreira@ifba.edu.br

Instituto Federal da Bahia

Resumo—As emissões de gases de efeito estufa (GEE) liberadas pelos setores industriais exercem forte influência sobre as mudanças climáticas globais, o que pode representar desafios para os setores intensivos em energia e carbono, como a indústria siderúrgica, frente às metas globais de descarbonização e evolução de medidas globais cada vez mais restritivas. Este artigo teve como objetivo prospectar quais tecnologias mais limpas vêm sendo desenvolvidas na indústria de aço e ferro, as quais podem contribuir, para o setor, na neutralidade das emissões de CO₂e. A pesquisa possui abordagem quali-quantitativa, pois possibilita mapear quantitativamente o desenvolvimento de tecnologias limpas via dados patentários e interpretar qualitativamente os desafios e oportunidades para a indústria brasileira frente às medidas adotadas pela União Europeia que podem afetar as empresas exportadoras brasileiras, devido a implementação do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia (CBAM/UE), que passa a funcionar a partir de janeiro de 2026. Os resultados sugerem a estratégia de substituição da redução do minério de ferro em altos-fornos com carvão mineral por redução direta com hidrogênio verde, reduzindo as emissões de GEE na produção do aço. Conclui-se que há necessidade de maior investimento em tecnologias mais limpas, gerando perspectivas para o desenvolvimento de novas tecnologias para descarbonização no setor siderúrgico em atendimento às exigências impostas pelo CBAM.

Palavras-chave—CBAM, descarbonização, prospecção patentária, tecnologias mais limpas.

Abstract—Greenhouse gas (GHG) emissions from industrial sectors have a significant impact on global climate change, potentially posing challenges for energy- and carbon-intensive sectors such as the steel industry, given global decarbonization targets and the evolution of increasingly restrictive global measures. This article aimed to explore which cleaner technologies are being developed in the iron and steel industry that could contribute to the sector's CO₂e emissions neutrality. The research uses a qualitative and quantitative approach, enabling a quantitative mapping of clean technology development through patent data and a qualitative interpretation of the challenges and opportunities for Brazilian industry in light of measures adopted by the European Union that may affect Brazilian exporting companies due to the implementation of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM/EU), which will come into effect in January 2026. The results suggest a strategy of replacing iron ore reduction in blast furnaces with coal with direct reduction using green hydrogen, reducing GHG emissions in steel production. The conclusion is that greater investment in cleaner



technologies is needed, generating prospects for the development of new technologies for decarbonization in the steel sector to meet the requirements imposed by the CBAM.

Keywords—CBAM, cleaner technologies, decarbonization, patent prospecting.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o mundo tem assistido ao crescimento de uma crise climática sem precedentes. Chuvas intensas em determinada região, enquanto em outras, seca extrema, furacões, inundações, dentre outros eventos. Sabe-se que, desde a revolução industrial, o uso excessivo de combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), tem provocado o aquecimento global e como consequência as mudanças climáticas (IPCC, 2023; SOUZA, 2016). Diante desse quadro, urge a necessidade de ações efetivas com o intuito de reduzir a emissão de gases, sobretudo aqueles diretamente ligados ao efeito estufa, a exemplo do gás carbônico (CO₂). Não obstante, com o aumento de medidas restritivas, cujos desafios podem onerar as indústrias brasileiras em setores estratégicos, a exemplo do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia (CBAM), proposta da União Européia que pode afetar a competitividade no cenário internacional dessas empresas de setores intensivos em carbono, como o siderúrgico, requerem medidas estratégicas urgentes, frente a iminência do Mecanismo, que entrará em vigor a partir de janeiro de 2026

Nesse contexto, uma problemática foi identificada, uma vez que não resta claro se as indústrias brasileiras estão preparadas, do ponto de vista de tecnologias, para se adaptarem ao cenário trazido pelo CBAM, como também se há no Brasil tecnologias mais limpas que podem contribuir para a mudança do quadro tecnológico atual. Dessa forma, diante dos desafios impostos pela implementação do CBAM para combater as mudanças climáticas, questiona-se: **quais as tecnologias mais limpas vêm sendo desenvolvidas, no Brasil, no setor siderúrgico, afetado pelo CBAM, que podem contribuir para a redução da pegada de carbono dos seus produtos?** Assim, a pesquisa tem como objetivo geral apresentar quais as tecnologias mais limpas vêm sendo desenvolvidas, no Brasil, no setor siderúrgico afetado pelo CBAM que podem contribuir para redução da pegada de carbono dos seus produtos.

Nesse sentido, esta pesquisa justifica-se pela relevância prática e teórica, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental, visto que o CBAM afeta setores importantes da economia brasileira, como alumínio, ferro, aço, cimento, eletricidade, hidrogênio e fertilizantes, ao exigir práticas sustentáveis mais robustas alinhadas ao mercado internacional (APEXBRASIL, 2023). Além disso, para o atendimento às exigências estabelecidas pelo Mecanismo, com a necessidade de redução das emissões de CO₂, é necessário a implementação de tecnologias mais limpas, que, segundo Silva Junior e Andrade (2011), exigem investimento maior em pesquisa, desenvolvimento e inovação, ratificando a relevância teórica deste artigo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O fenômeno das mudanças climáticas vem resultando em impactos socioeconômicos e ambientais cada vez mais frequentes, provocando desastres naturais, redução da produção de alimentos e incertezas econômico-financeiras. De acordo com a World Meteorological Organization (WMO, 2024), entre os anos de 2024 e 2028 a temperatura média global poderá aumentar entre 1,1°C e 1,9°C por ano consequente, o que simboliza média maior do que a registrada entre os anos de 1850 e 1900. Em função dos riscos e efeitos que essa conjuntura vem gerando para o mundo, como os



eventos climáticos extremos ocorridos no Brasil em 2021 e 2022. Segundo a análise feita por Wobeto (2024), em 2022, 65% da safra de milho foi impactada, o equivalente a quatro milhões de toneladas e R\$ 6,3 bilhões de reais, além de 48,7% a menos na produção de soja, correspondendo a 10,2 milhões de toneladas ou R\$ 32,4 bilhões de reais; e considerando as projeções trazidas pelo IPCC (2023), torna-se urgente uma mudança na trajetória de desenvolvimento pautado em tecnologias convencionais, que até então priorizava a produção baseada em combustíveis fósseis, com a adoção pelas lideranças globais de iniciativas que sejam pautadas em inovações que promovam as tecnologias mais limpas e que contribuam para a redução efetiva das emissões de GEE (THORSTENSEN; ZUCHIERI; MOTA, 2022; UNTERSTELL; LA ROVERE, 2021).

Para Unterstell e La Rovere (2021), a conformação de uma mudança nesse cenário requer políticas focalizadas em estratégias de neutralização das emissões de GEE, nas próximas três décadas e, para tanto, duas frentes precisam ser estruturadas: (i) Mudança nos processos da produção industrial e na geração de energia; e (ii) políticas públicas inovadoras, comprometidas para a transição para uma economia menos intensiva em GEE. No que se refere à produção industrial, a estratégia é central: faz-se necessário o desenvolvimento e implementação de tecnologias mais limpas, cujo objetivo é eliminar as emissões de GEE; enquanto que a produção de energia deve seguir a partir de fontes renováveis de energia. Já no tocante às políticas públicas, observa-se no mundo a criação de mecanismos de restrição de carbono, voltados para induzir a transição energética. (HERÉDIA; GALGANI, 2022).

Para Cumming, Henriques e Sadorsky (2016), as tecnologias limpas são processos que objetivam menor geração de resíduos na produção, incluindo a geração de biomassas e processos de reciclagem, em tempo que Silva Júnior e Andrade (2011) afirmam que as tecnologias propostas a tratar os resíduos gerados, ou seja, tratar as consequências e não agir de forma preventiva aos impactos ambientais, tenderão a ser classificados como tecnologias end-of-pipe. No contexto de busca pelo desenvolvimento sustentável e livre de emissões, Silva Júnior e Andrade (2011) destacaram, em sua pesquisa, as tecnologias ambientais como tecnologias end-of-pipe, que buscam tratar os GEE emitidos após o processo de produção, objetivando a redução dos impactos ambientais, e tecnologias mais limpas - que são estratégias implementadas para redução ou eliminação das emissões de gases de efeito estufa ainda no processo inicial, ou seja, na origem.

Destarte, enquanto as tecnologias mais limpas colocam as nações na rota de transição para uma economia de baixo carbono, reduz, também, os custos da descarbonização, considerando que há uma tendência de criação de políticas restritivas de carbono, como já vem acontecendo com a União Europeia, que criou 50 medidas para descarbonizar a economia dos países do bloco e fortalecer o mercado de carbono Emissions Trading System (ETS), criando, em 2023, o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM), o qual passa a vigorar em janeiro de 2026 (Comissão Europeia, 2019; Herédia; Galgani, 2022) e que afeta setores importantes da economia brasileira como o aço, ferro, fertilizantes, cimento, além do alumínio, hidrogênio e eletricidade.

A União Europeia (UE), em 2019, criou o Pacto Ecológico Europeu (Green Deal), estabelecendo metas de curto e longo prazo para a redução da emissão de CO₂ (CNI, 2024). Como parte do Green Deal, a UE regulamentou a precificação para emissão de carbono, denominada de CBAM - Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira da União Europeia - (UE - 2023/956), em vigor desde outubro de 2023. Em seu período de vigência estão programadas duas fases: a Transitória, que visa coletar dados a partir de 2023 das emissões de GEE dos países exportadores de alumínio, ferro, aço, cimento, eletricidade, hidrogênio e fertilizantes; a Regular, que terá início em janeiro de 2026, e fará a cobrança de CO₂ equivalente (CO₂e), isto é, gás incorporado em seus produtos (CNI, 2024).



O setor industrial destaca-se como responsável por mais de 30% das emissões de GEEs liberados na atmosfera, sendo o segundo maior responsável pelas emissões globais de CO₂ (JAYACHANDRAN, et al., 2022). Diante desse cenário, identifica-se uma problemática, pois o Brasil terá desafio substancial frente às exigências do CBAM. Isso, porque, no setor industrial, diferente do setor energético, em que o país possui matriz energética com maior parte sendo renovável, os desafios requerem investimentos em inovação que promovam tecnologias mais limpas, sustentáveis que gerem competitividade para os produtos brasileiros que devem ingressar na Europa com menor intensidade de carbono, sob pena de serem taxados e gerarem desvantagem competitiva para as empresas brasileiras (APEXBRASIL, 2023; BRASIL, 2024b).

Com a finalidade de criar no cenário nacional um ambiente econômico que promova a estratégia de induzir a transição para uma economia de baixo carbono, o Brasil, em 11 de dezembro de 2024, sancionou a Lei 15.042, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), cujo objetivo é o cumprimento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e a efetivação dos acordos assinados sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2024).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se por abordagem quali-quantitativa, combinando prospecção patentária e análise documental, visto que a elaboração é feita a partir de informações já disponíveis e não coletadas diretamente de outras pessoas (GIL, 2023). Foi consultada a base de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) para levantamento de patentes depositadas, sem delimitação temporal, aplicáveis ao setor siderúrgico brasileiro afetado pelo CBAM. A base de dados do INPI foi selecionada para a etapa de prospecção por ser a autarquia federal responsável pelo gerenciamento do sistema de concessão de patentes depositadas no Brasil (MAIA et al., 2022).

A busca utilizou palavras-chave específicas, com a “expressão exata” ou “todas as palavras”, filtrando o setor e a aplicação. Adicionalmente, foram analisados relatórios institucionais, legislações e publicações científicas para contextualizar os dados patentários. A análise quantitativa permitiu identificar tendências tecnológicas, enquanto a qualitativa aprofundou a compreensão dos desafios e oportunidades para a indústria brasileira frente ao CBAM, tendo em vista que a prospecção patentária possibilita o estabelecimento de estratégias para a competitividade das empresas, na adaptação e no desenvolvimento de novas tecnologias (NASCIMENTO; SPEZIALI, 2020).

3.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Para a operacionalização da pesquisa foram realizadas revisões bibliográficas buscando analisar, através de dossiês e relatórios organizacionais, o cenário das mudanças climáticas, as iniciativas governamentais para o enfrentamento à crise climática, e quais estudos vêm sendo desenvolvidos para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas voltados à descarbonização da indústria de ferro e aço.

Para realização da revisão bibliográfica, foram utilizadas plataformas de busca especializadas como SCOPUS, Periódicos Capes e Google Acadêmico, com palavras-chaves relevantes para o tema, como “mudanças climáticas”, “descarbonização na indústria”, “CBAM”, “tecnologias mais limpas”, em língua portuguesa e inglesa, no período de janeiro a maio de 2025. Além de artigos referentes ao tema proposto, foram analisados manuais, relatórios e regulamentos governamentais que abordam o



processo de descarbonização, as políticas de controle de emissões de gases de efeito estufa e a implementação do CBAM no Brasil.

Ademais, realizou-se também uma prospecção patentária, utilizando-se, para tanto, os conceitos de tecnologias end-of-pipe, tecnologias limpas e tecnologias mais limpas explanados nas fundamentações teóricas embasaram a prospecção de patentes realizadas na base de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), através de palavras-chaves referentes às tecnologias mais limpas utilizadas no processo de redução direta do minério de ferro (*DRI - Direct Reduced Iron*) com hidrogênio verde (H_2), substituição do carvão coque em altos-fornos pela tecnologia de utilização de forno elétrico a arco (*EAF - Eletric Arc Furnace*), com energia renovável, reduzindo significativamente as emissões de CO_2 , visto que este é o processo identificado como maior intensivo em emissões de GEE no setor de aço e ferro (BNDES, 2024; IEA, 2022).

Para a prospecção das patentes na base de dados do INPI, as palavras-chaves foram inseridas para buscas tanto no título quanto no resumo, além de buscas pela “expressão exata” ou “todas as palavras”, sem delimitação temporal. A prospecção foi realizada no período de 01 a 17 de maio de 2025, e obteve o universo de 121 (cento e vinte e um) pedidos de patentes, com as respectivas palavras-chaves e quantidades encontradas: “hidrogênio verde” - 11; “DRI H_2 ” (*Direct Reduced Iron* - redução direta do ferro com hidrogênio verde) - 0; “DRI” (*Direct Reduced Iron* - redução direta do ferro) - 55; “EAF energia renovável” (*Eletric Arc Furnace* - forno elétrico a arco com uso de energia renovável) - 0; “Biocarvão ferro” - 3; “Biomassa ferro” - 52.

Após a prospecção das patentes, foram analisadas, através do resumo contido no pedido de registro, e tendo como parâmetro os conceitos trazidos pelas literaturas exploradas, quais tecnologias poderiam ser caracterizadas como tecnologias mais limpas, e quais tecnologias poderiam ser caracterizadas como tecnologias limpas ou end-of-pipe, retirando-as da amostra. Não obstante, como critério de exclusão, foram analisadas: a) tecnologias que não se referem ao setor industrial siderúrgico; b) tecnologias que não se referem ao processo de redução do minério de ferro; c) tecnologias que destacam a utilização de energia não renovável como agente redutor; d) tecnologias que buscam tratar os GEE emitidos após o processo de redução, sem a mitigação dos mesmos na fonte, como é o objetivo das tecnologias mais limpas, e; e) tecnologias que não apresentam elementos que possam classificá-las como tecnologias mais limpas. Após análise, foram obtidos os resultados explanados a partir do tópico 3, deste artigo.

Por fim, o presente trabalho limita-se a prospectar tecnologias que utilizam o hidrogênio verde e a substituição do coque para redução do minério de ferro com vistas a reduzir a emissão de GEE na produção de aço e ferro, sendo esta uma tecnologia mais limpa a ser utilizada na indústria siderúrgica. Assim, pesquisas posteriores poderão ser direcionadas a explorar o cenário de patentes brasileiras para as demais tecnologias mais limpas que podem ser implementadas no setor siderúrgico.

4 RESULTADOS

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2025), o setor brasileiro tem importante posição para o enfrentamento às mudanças climáticas, ocupando o sexto lugar no Ranking Global de Capacidade Instalada onshore. A ABEEÓLICA (2025) apresenta resultados de 40,2 milhões de toneladas de CO_2 evitados através da produção de energia eólica somente em 2024. Em dados acumulados desde 2012, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2025) refreou a emissão de 67,4 milhões de toneladas de CO_2 , sendo 5,5 milhões de toneladas somente no primeiro semestre de 2024, com a fonte solar fotovoltaica. Logo, os dados obtidos no setor de energia apontam o impacto positivo da implementação de tecnologias mais

limpas para a descarbonização.

Em contraponto, a indústria de ferro e aço, apesar de sua relevância ao fornecer produtos bases para diversos outros setores, pode enfrentar desafios significativos para a descarbonização, considerando que seu processo de produção é intensivo em energia e emissão de GEE, sendo responsável, somente em 2020, por 2% do total de emissões no país, o equivalente a 46 milhões de toneladas de CO₂e (BNDES, 2024).

Para cada tonelada de aço bruto produzido, foi emitido, em 2023, 1,7 tonelada de CO₂e (AÇO BRASIL, 2025). A etapa de redução do ferro é responsável por cerca de 80% das emissões de GEE no processo de produção do aço bruto, isso porque o agente redutor e a fonte de calor utilizada é o carvão mineral (BNDES, 2024), um combustível não renovável. O hidrogênio verde, produzido a partir de fontes de energia renováveis, pode ser uma estratégia relevante para a descarbonização do setor industrial (IEA, 2025), sendo utilizado no processo de redução direta do mineral de ferro para produção do aço, substituindo a redução em altos-fornos com uso de carvão mineral, etapa intensiva em emissão de GEE.

Nesse sentido, após análise do universo de pedidos de patentes, utilizando os critérios de exclusão descritos na metodologia, foram identificados 32 (trinta e dois) pedidos relacionados a tecnologias limpas e tecnologias mais limpas. Com foco na prospecção de tecnologias mais limpas, o Quadro 01 apresenta os pedidos de registro de patentes de tecnologias mais limpas, no Brasil, que estão no âmbito da indústria siderúrgica, com ênfase no processo de redução.

Quadro 01 Pedidos de Registro de Patentes de Tecnologias Mais Limpas, no INPI

Palavra-Chave	Título da Patente	Prioridade Unionista / País	Data do depósito no Brasil	Nº do pedido	Status
DRI	Método De Produção De Ferro Reduzido Direto E Usina	Organização Européia de Patentes	17/12/2021	BR 11 2023 011899 9 A2	Análise
DRI	Método Para Redução Direta De Ferro, E, Sistema Para Redução Direta De Ferro	Estados Unidos	02/06/2020	BR 11 2021 024465 4 B1	Concedida
DRI	Ferro Diretamente Reduzido Com Biomassa	Austrália	09/03/2023	BR 11 2024 018672 5 A2	Análise
DRI	Ferro Reduzido Diretamente A Partir De Biomassa	Brasil	24/11/2021	BR 11 2023 009935 8 A2	Análise
DRI	Ferro Reduzido Direto Usando Biomassa	Austrália	20/09/2021	BR 11 2023 005030 8 A2	Análise
DRI	Método E Aparelho Para Produzir Ferro Reduzido Direto Em Um Sistema De Redução Direto	Estados Unidos	21/10/2010	BR 11 2012 002266 0 A2	Arquivada
DRI	Instalação Para Produção De Aço, Método De Fabricação De Aço Em Uma Instalação E Método De Utilização Da Energia Elétrica Obtida Por Meio De Um Dispositivo De	Alemanha	10/03/2010	PI 1006768-0 B1	Concedida

	Geração De Energia				
Biocarvão Ferro	Método Para Operar Uma Usina Metalúrgica Para Produzir Produtos De Ferro E Usina Metalúrgica Para Produzir Produtos De Ferro	Luxemburgo	23/07/2021	BR 11 2023 000801 8 A2	Análise
Biomassa Ferro	Ferro Diretamente Reduzido Com Biomassa	Austrália	09/03/2023	BR 11 2024 018672 5 A2	Análise
Biomassa Ferro	Ferro Reduzido Diretamente A Partir De Biomassa	Austrália	24/11/2021	BR 11 2023 009935 8 A2	Análise
Biomassa Ferro	Complexo Agroindustrial Sustentável De Produção De Ferro Gusa E Coprodutos	Brasil	18/11/2020	BR 10 2020 023562 1 A2	Indeferi da
Biomassa Ferro	Processo Contínuo E Aparelho Para Redução Direta De Minério De Ferro Em Um Estado Sólido	Austrália	24/10/2017	BR 11 2019 008035 0 B1	Concedi da

Fonte: Elaboração própria a partir de dados obtidos no INPI (2025)

Legenda:

- DRI: Direct Reduced Iron (redução direta do ferro)

Os dados obtidos na base do INPI indicam 12 (doze) pedidos de registro de patentes de tecnologias mais limpas para redução do minério de ferro. Dentre eles, 1 pedido indeferido, de Prioridade Unionista dos Estados Unidos, e apenas 03 (três) patentes foram identificadas como concedidas, entre o período de prospecção, sendo tecnologias de Prioridade Unionista dos Estados Unidos, Alemanha e Austrália. Outros 7 (sete) pedidos de patentes ainda estão em análise, dentre eles, 1 (um) pedido nacional, depositado em 24/11/2021. O Brasil também apresenta 1 (um) pedido indeferido, depositado em 18/11/2020.

A base de dados do INPI, apesar de ser responsável por gerenciar as patentes depositadas no Brasil, apresenta limitações para a realização da pesquisa, visto que a plataforma não permite o uso de operadores booleanos ou caracteres de truncamento, como também não permite a combinação de termos entre título e resumo (RIBEIRO, 2018, p. 131), limitando a pesquisa apenas por “expressão exata” ou “todas as palavras”, no título ou resumo, separadamente. Tais limitações restringem a prospecção de patentes a termos categóricos, sem variações, o que possibilita a exclusão involuntária de patentes no universo pesquisado em virtude das palavras-chaves utilizadas.

Nesse contexto, a prospecção de patentes sugere uma quantidade reduzida de tecnologias mais limpas para redução do minério de ferro na produção de aço no Brasil, registradas no INPI, e, dentre os poucos pedidos de registro, apenas 2 (dois) nacionais, mesmo em um país com matriz energética majoritariamente renovável, o que deveria representar vantagem competitiva frente aos demais países com predominância em matriz energética não renovável. Este cenário pode sugerir oportunidades para inovação no setor industrial, ao tempo que indica fragilidade ou incipiência no desenvolvimento de novas tecnologias brasileiras, reforçando, portanto, uma dependência de transferências de tecnologias internacionais para o alcance das metas globais de descarbonização e adaptação aos regulamentos impostos pela implementação do CBAM. Outro fator importante a considerar é o longo prazo para a concessão de patentes, o que, como forma de impulsionar o desenvolvimento de tecnologias voltadas à mitigação dos impactos ambientais, acelerando o processo de cessão, gerou o



“trâmite prioritário” para patentes classificadas como “Tecnologias Verdes”, através da Portaria 247/2020 do INPI (MAIA et al., 2022).

Para o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2025), o desenvolvimento de tecnologias no país é crucial para o distanciamento da dependência tecnológica. Por outro lado, a análise feita por Cumming, Henriques e Sadorsky (2016) elucida um possível entrave que pode justificar a pouca adesão às tecnologias limpas, embora crescente, mas ainda insuficientes para um desenvolvimento sustentável, quando retrata que as empresas já consolidadas no mercado e focadas em combustíveis fósseis dificilmente teriam interesse em investir em novas tecnologias desenvolvidas por empresas iniciantes, considerando que o investimento em tais tecnologias requer experiência e conhecimento para minimizar os riscos econômicos.

No que se refere às tecnologias mais limpas, Silva Júnior e Andrade (2011) endossam essa teoria quando afirmam que o desenvolvimento de tecnologias mais limpas implica em maior investimento em pesquisa e inovação tecnológica. Nesse contexto, conclui-se que a preocupação das organizações governamentais frente às mudanças climática, as metas globais de descarbonização e os desafios impostos pela implementação do CBAM podem sugerir oportunidades e incentivo à pesquisa e inovação em tempo que podem proporcionar vantagem competitiva às empresas exportadoras à UE que se adaptem tecnologicamente ao novo cenário de neutralidade de emissões.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve por objetivo apresentar a prospecção de tecnologias mais limpas que vêm sendo desenvolvidas na indústria de aço e ferro visando a neutralidade das emissões de CO₂e. Para tanto, realizou-se uma pesquisa com uma abordagem qualitativa, baseada em fontes bibliográficas e documentais, a partir de uma análise descritiva.

A partir da pesquisa, foi possível identificar que o CBAM introduziu um componente de indução de redução de emissões de GEE que tem gerado preocupações para empresas exportadoras no mundo e no Brasil. No caso das empresas brasileiras, há incertezas claras, considerando as dificuldades de encontrar no cenário nacional tecnologias acessíveis e disponíveis. Isso porque, a partir da prospecção tecnológica, foi possível observar que as patentes associadas às tecnologias mais limpas, identificadas no setor siderúrgico brasileiro, são conformadas por desenvolvimento internacional, em sua maioria.

Outrossim, essas tecnologias, em sua maioria, são recentes, o que sugere a transição e adaptação para uma economia de baixo carbono, ainda que discreta. No setor siderúrgico, os resultados sugerem a estratégia de substituição da redução do minério de ferro em altos-fornos com carvão mineral por redução direta com hidrogênio verde, reduzindo as emissões de GEE na produção do aço.

Por fim, observa-se um contexto de incertezas no cenário brasileiro, uma vez que diante do quadro prospectivo, não há, em âmbito nacional, até o fechamento desta pesquisa, oferta robusta de tecnologias que podem melhorar a competitividade das empresas brasileiras frente ao CBAM, tornando o Brasil dependente de transferência de tecnologias a partir de economias desenvolvidas, o que, por sua vez, é uma ameaça a competitividade das indústrias brasileiras.

Conclui-se que há necessidade de maior investimento em tecnologias mais limpas, o que pode sugerir oportunidades tecnológicas para inovação na descarbonização dos setores intensivos em carbono, ao tempo que indica fragilidade no desenvolvimento de novas tecnologias nacionais para adaptação aos regulamentos impostos pela implementação do CBAM, correndo-se o risco de dependência tecnológica, impondo, portanto, desafios às indústrias brasileiras do setor.



Recomenda-se como pesquisas futuras a ampliação da investigação para os demais setores afetados pela CBAM, expandindo a discussão sobre os desafios para adaptação aos regulamento impostos pelo mecanismo, os impactos tecnológicos nos referidos setores e os impactos socioeconômicos da transição para uma economia de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. [s. d.]. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/>. Acesso em: 14 mai. 2025.
- ABSOLAR. Infográfico. [s. d.]. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 14 mai. 2025.
- APEXBRASIL. CBAM entra em fase transitória. Brasília, DF: ApexBrasil, 2023. Disponível em: https://portal.apexbrasil.com.br/relacoes_comerciais/cbam-entra-em-fase-transitoria/. Acesso em: 11 mai. 2025.
- ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. Estudos Avançados, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>. Acesso em: 3 mai. 2025.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Descarbonização da Indústria de Base. Rio de Janeiro: BNDES, 2024. Acesso em: 15 mai. 2025.
- BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 dez. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm. Acesso em: 3 mai. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano Clima. Brasília, DF: MMA, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- COMISSÃO EUROPEIA. Regulamento Delegado (UE) 2019/331 da Comissão de 19 de dezembro de 2018 sobre a determinação das regras transitórias da União relativas à atribuição harmonizada de licenças de emissão a título gratuito nos termos do artigo 10.o-A da Diretiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, L 59, p. 8-69, 27 fev. 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0331>. Acesso em: 12 maio 2025.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). Manual sobre a fase transitória do mecanismo de ajuste de carbono na fronteira (CBAM) da União Europeia. Brasília, DF: CNI, 2024. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/09/2b/092bc133-4a98-4f7d-a066-a5ef530a7410/id_2024_manual_cbam.pdf. Acesso em: 26 abr. 2025.
- CUMMING, D.; HENRIQUES, I.; SADORSKY, P. 'Cleantech' venture capital around the world. International Review of Financial Analysis, v. 44, p. 86-97, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2016.01.015>.
- GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022. Acesso em 12 jul. 2025.
- HERÉDIA, G.; GALGANI, A. O que é o CBAM e como afetará empresas brasileiras? WayCarbon, São Paulo, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://waycarbon.com/pt/blog/o-que-e-o-cbam-e-como-afetara-empresas-brasileiras/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- IBRAM. IBRAM reforça importância dos minérios para a transição energética em debate em Brasília. 14 maio 2025. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/ibram-reforca-importancia-dos-minerios-para-a-transicao-energetica-em-debate-em-brasilia/>. Acesso em: 17 mai. 2025.
- IEA. Hydrogen. c2024. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>. Acesso em: 17 mai. 2025.
- IEA. Iron and Steel Technology Roadmap. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>. Acesso em: 21 jul. 2025



INSTITUTO AÇO BRASIL. Indicadores de Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/indicadores-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 15 mai. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Patentes. [Brasília, DF]: INPI, 12 maio 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes>. Acesso em: 01 mai. 2025.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. In: CORE WRITING TEAM; LEE, H.; ROMERO, J. (eds.). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. p. 35-115. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.00. Acesso em: 12 mai. 2025.

JAYACHANDRAN, M. et al. Challenges in achieving sustainable development goal 7: Affordable and clean energy in light of nascent technologies. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 53, 102692, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102692>. Acesso em: 2 mai. 2025.

MAIA, Erika dos Santos Leal et al. Monitoramento Tecnológico das Patentes Verdes no Cenário Brasileiro. Cadernos de Prospecção, Salvador, v. 15, n. 3, p. 705-722, jul./set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v15i3.47265>. Acesso em: 01 ago. 2025

MME. Biomassa quebra recorde de geração de energia em 2023. [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/biomassa-quebra-recorde-de-geracao-de-energia-em-2023>. Acesso em: 15 mai. 2025.

NASCIMENTO, Raphael da Silva; SPEZIALI, Marcelo Gomes. Patentometria: a utilização de dados contidos em patentes como mecanismo de análise da predominância tecnológica dos NITs. 2020. Disponível em: <https://www.revistainovacao.ufop.br>. Acesso em 30 jul. 2025.

RIBEIRO, Núbia Moura (org.). Prospecção tecnológica [recurso eletrônico on-line]. Salvador (BA): IFBA, 2018. 194 p. Acesso em 30 jul. 2025

SILVA JÚNIOR, A. C.; ANDRADE, J. C. S. Tecnologias mais limpas e desenvolvimento sustentável no Brasil: contribuição do projeto MDL. Racef. Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE, Ribeirão Preto, 4. ed., p. 1-16, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/26034>. Acesso em: 11 mai. 2025.

UNTERSTELL, N.; LA ROVERE, E. (coord.). Clima e desenvolvimento: visões para o Brasil 2030: documento de cenários e políticas climáticas. Rio de Janeiro: Centro Clima: Instituto Talanoa, 2021. Disponível em: <https://clima2030.org/wp-content/uploads/2022/08/Clima-e-Desenvolvimento-Visoes-para-o-Brasil-2030-Documento-de-Cenario-e-Políticas-Climáticas-15-out-2021.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2025.

WMO. World Meteorological Organization. Global Annual to Decadal Climate Update 2024-2028. Genebra, 2024. Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/68910>. Acesso em: 29 abr. 2025.

WOBETO, S. Dossiê Mudanças Climáticas: Segurança alimentar em xeque. Revista Arco, 13. ed., 29 fev. 2024. Disponível em: <https://www.ufsm.br/midias/arco/seguranca-alimentar-em-xeque>. Acesso em: 11 mai. 2025.