

POLÍTICA NACIONAL DE SUBSTITUIÇÃO DA EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO POR PRODUTOS SIDERÚRGICOS
NATIONAL POLICY FOR REPLACING THE EXPORT OF IRON ORE WITH STEEL PRODUCTS

Flavia de Jesus Arantes Andrade¹
Leonardo Pires Rodrigues Ferreira²
Nicolas Antônio de Oliveira Nogueira³
Henrique Mitsuharu Demiya⁴
Silvia Roberta de Jesus Garcia⁵

RESUMO: Este artigo analisou a viabilidade estratégica de substituir a exportação de minério de ferro (commodity bruta) por produtos siderúrgicos (aço de alto valor agregado) no Brasil. Atualmente, o país consolida-se como o segundo maior produtor mundial de minério, porém ocupa apenas a nona posição na produção global de aço (World Steel Association, 2024). Essa disparidade resulta em perda de valor agregado e vulnerabilidade econômica perante as oscilações de preços internacionais, lideradas pela demanda chinesa. Através de pesquisa qualitativa, quantitativa e documental, o estudo avalia as vantagens competitivas das reservas de hematita de alta pureza no Quadrilátero Ferrífero e em Carajás. Os resultados demonstram que a verticalização da cadeia produtiva, amparada por uma infraestrutura logística já consolidada, é o caminho fundamental para a soberania industrial brasileira no século XXI. A discussão destaca que tal mudança exige um projeto de Estado de longo prazo, enfrentando desafios como o elevado custo de implantação e a necessidade de segurança energética. Conclui-se que o fomento à "siderurgia verde", fundamentado no uso de Hidrogênio Verde e biocarvão, posiciona o país como líder na nova ordem climática global, transformando o potencial mineral bruto em desenvolvimento sustentável e inserção estratégica nas cadeias globais de valor.

Palavras-chave: Aço verde; Comércio exterior; Desenvolvimento sustentável; Produção global; Industrialização; Valor agregado.

ABSTRACT: This article analyzed the strategic feasibility of replacing iron ore exports (raw commodity) with steel products (high value-added steel) in Brazil. Currently, the country is established as the world's second-largest ore producer, yet it occupies only the ninth position in global steel production (World Steel Association, 2024). This disparity results in a loss of added value and economic vulnerability to international price fluctuations, led by Chinese demand. Through qualitative, quantitative and documentary research, the study evaluates the competitive advantages of high-purity hematite reserves in the Iron Quadrangle and Carajás. The results demonstrate that the verticalization of the production chain, supported by a consolidated logistics infrastructure, is the fundamental path to Brazilian industrial sovereignty in the 21st century. The discussion highlights that such a change requires a long-term State project, facing challenges such as high implementation costs and the need for energy security. It concludes that the promotion of "green steelmaking", based on the use of Green Hydrogen and biochar, positions the country as a leader in the new global climate order, transforming raw mineral potential into sustainable development and strategic insertion into global value chains.

Keywords: Added value; Foreign trade; Green metallurgy; Global production; Industrialization; Sustainable development.

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: flavia.andrade01@fatec.sp.gov.br¹

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: leonardo.ferreira40@fatec.sp.gov.br²

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: nicolas.nogueira@fatec.sp.gov.br³

Prof. Orientador Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: henrique.demiya@fatec.sp.gov.br⁴

Prof^a. Coorientadora Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br⁵

1 INTRODUÇÃO

A exportação de minério de ferro constitui um dos pilares da pauta comercial brasileira, consolidando o país como o segundo maior produtor mundial (IBRAM, 2023). Embora o Brasil se consolide como o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, existe um descompasso estratégico quando se analisa a transformação dessa matéria-prima em produtos industrializados. Segundo dados da World Steel Association (2024), o país ocupa atualmente a nona posição no ranking global de produção de aço bruto.

Essa disparidade evidencia um modelo econômico focado na exportação da commodity em seu estado primário, o que resulta em uma reduzida retenção de valor agregado no mercado interno. Ao priorizar o embarque do minério bruto em vez do aço processado, o país abdica de benefícios socioeconômicos fundamentais, como o desenvolvimento de tecnologias de ponta, a criação de postos de trabalho altamente qualificados e uma receita cambial significativamente superior, mantendo-se vulnerável às flutuações de preços impostas pelo mercado internacional (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2021).

No cenário global, a China exerce domínio ao responder por aproximadamente 54% da produção mundial de aço em 2023, consolidando sua liderança por meio de investimentos massivos em modernização tecnológica e na transição para processos produtivos de menor intensidade de carbono (World Steel Association, 2024).

Diante deste cenário, o estudo analisa a viabilidade de uma Política Nacional voltada à substituição da exportação primária de minério de ferro por produtos siderúrgicos. O objetivo é reduzir a dependência de *commodities* e fortalecer a posição do Brasil no cenário econômico global. A proposta central foca no incentivo à construção de siderúrgicas próximas às jazidas em Minas Gerais e no Pará, promovendo a verticalização da cadeia produtiva e o desenvolvimento industrial sustentável.

2 METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem mista, integrando as naturezas qualitativa e quantitativa em um caráter exploratório e aplicado. A vertente qualitativa permitiu a análise subjetiva e normativa da viabilidade da Política Nacional de substituição da

exportação de minério de ferro por produtos siderúrgicos. Segundo Gil (2019), pesquisas exploratórias facilitam a aproximação com problemas pouco estudados, levantando hipóteses para a compreensão do fenômeno. A investigação é orientada pelo método indutivo, partindo da observação de dados particulares da exportação e produção para construir inferências de caráter universal sobre a ¹verticalização da cadeia produtiva.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa caracteriza-se como bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica consistiu na análise de materiais já publicados, como livros, artigos científicos e trabalhos acadêmicos, o que permitiu a construção sólida do referencial teórico do estudo (Prodanov; Freitas, 2013).

Complementarmente, a vertente documental alicerçou-se no levantamento de dados estatísticos, relatórios institucionais e documentos oficiais de órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), Agência Nacional de Mineração (ANM), Organização Mundial do Comércio (OMC), World Steel Association (WSA) e World Population Review (WPR).

A coleta de dados foi realizada por meio da busca e seleção criteriosa de textos e relatórios técnicos relevantes ao tema, considerando critérios de atualidade e confiabilidade das fontes. A análise dessas informações foi conduzida por meio da técnica de análise de conteúdo e análise comparativa, visando identificar os obstáculos regulatórios e as potencialidades logísticas que subsidiem a formulação das políticas industriais propostas neste estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PANORAMA GLOBAL DO MERCADO DE MINÉRIO DE FERRO

No âmbito do comércio internacional, a China posiciona-se como a maior consumidora e importadora de minério de ferro do mundo, com importações avaliadas em aproximadamente US\$ 113 bilhões em 2023, o que evidencia sua expressiva capacidade produtiva e a dependência de sua indústria siderúrgica desse insumo

¹ Verticalização da cadeia produtiva é o processo de integração de etapas sucessivas de produção que visa transformar a matéria-prima básica em produtos de maior valor agregado dentro do território nacional.

(OEC, 2023). Em contrapartida, o suprimento global é estruturado em torno do domínio produtivo da Austrália e do Brasil, nações que controlam o fluxo transoceânico de alta escala. Essa cadeia de suprimentos é liderada por um grupo restrito de corporações globais, como Vale, Rio Tinto, BHP e Fortescue, que operam sistemas logísticos integrados e tecnologias de mineração de ponta. Tal concentração, tanto empresarial quanto nacional, reforça a importância estratégica de ativos como portos e ferrovias, que são determinantes para a manutenção da eficiência operacional e da captura de valor na cadeia minerária mundial (Government of Western Australia, 2024; VALE, 2024).

3.2 DINÂMICA DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA INTERNACIONAL

A produção mundial de aço bruto, cujos indicadores estão sistematizados na Tabela 1, atingiu o patamar de 1.882,6 milhões de toneladas em 2024, registrando uma leve retração global de 0,8%. A China permanece como o eixo central da siderurgia internacional, respondendo por mais de 50% da oferta global, mesmo diante da queda de 1,7% impulsionada pela desaceleração de seu consumo interno. Paralelamente, nota-se um avanço consistente em economias emergentes: a Índia firmou sua posição como o segundo maior produtor global com alta de 6,3%, e o Brasil apresentou crescimento de 5,3%, totalizando 33,7 milhões de toneladas. Esse panorama evidencia uma transição produtiva em que nações em desenvolvimento ampliam sua relevância estratégica frente à estabilidade ou retração de potências tradicionais como Japão e Estados Unidos (World Steel Association, 2024a).

Tabela 1 – Análise dos principais produtores de Aço no mundo no período de 2023/2024

Pos.	País	2024 (Mt)	2023 (Mt)	Var. (%)
1º	China	1.005,10	1.022,50	-1,70%
2º	Índia	149,6	140,8	6,30%
3º	Japão	84	87	-3,40%
4º	Estados Unidos	79,5	81,4	-2,40%
5º	Rússia	70,7	76	-7,00%
6º	Coreia do Sul	63,5	66,7	-4,70%
7º	Alemanha	37,2	35,4	5,20%
8º	Turquia	36,9	33,7	9,40%
9º	Brasil	33,7	32	5,30%
10º	Irã	31	30,7	0,80%
-	Total Mundial	1.882,60	1.897,80	-0,80%

Fonte: World Steel Association (2024).

3.3 O CENÁRIO BRASILEIRO E A DEFASAGEM DA INDUSTRIALIZAÇÃO

O Brasil se estabelece como um dos principais atores globais na produção de minério de ferro, ocupando posição de destaque no cenário internacional, sendo o segundo maior produtor mundial, atrás apenas da Austrália (IBRAM, 2026). A produção nacional concentra-se majoritariamente em duas grandes províncias minerais: O Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e a Província Mineral de Carajás, no Pará, que estruturam a base da atividade mineradora no país e concentram a maior parte da produção nacional (Cardoso, 2021). Entretanto ao exportar minério de ferro como commodity de baixo valor unitário, o país perde a oportunidade de capturar o valor agregado gerado pela conversão da hematita² em aço laminado ou produtos manufaturados. Esse cenário é agravado por fatores estruturais, como o elevado custo da energia e deficiências logísticas, que reduzem a competitividade da indústria nacional e desestimulam investimentos no setor siderúrgico (Kiyokawa, 2024).

3.4 TEORIA DA LOCALIZAÇÃO E LOGÍSTICA SIDERÚRGICA

² A hematita é um óxido de ferro que, em seu estado puro, contém cerca de 70% de ferro. No mercado internacional, o Brasil é privilegiado pois possui jazidas (especialmente em Carajás) com teores de pureza superiores a 65%, o que reduz o custo de processamento nos altos-fornos e gera menos resíduos.

A viabilidade de parques siderúrgicos está intrinsecamente ligada à minimização dos custos de transporte, conforme estabelecido pela Teoria da Localização Industrial de Weber Alfred (1929), que preconiza a instalação da unidade produtiva próxima às fontes de matéria-prima quando estas são pesadas e volumosas. No Brasil, construir usinas próximas às jazidas de Minas Gerais e Pará é economicamente justificável, pois reduz substancialmente o custo logístico de transporte do minério fragmentado.

O sucesso desse arranjo produtivo está diretamente condicionado à integração eficiente entre infraestrutura logística especialmente ferroviária e portuária e a disponibilidade de uma base energética robusta. A concentração da atividade mineral nos estados de Minas Gerais e Pará, que, conjuntamente, responderam por 76% do faturamento do setor, com valores de R\$108,3 bilhões e R\$97,6 bilhões, respectivamente, evidencia a centralidade dessas regiões na estrutura produtiva mineral brasileira, bem como seu potencial estratégico para a atração de investimentos industriais e a expansão da cadeia siderúrgica (Rodrigues, 2025). Políticas de financiamento estruturadas principalmente através do ³BNDES, são fundamentais para viabilizar projetos de infraestrutura siderúrgica de alta complexidade (BNDES, 2026).

3.5 CRITÉRIOS ESG E A EMERGÊNCIA DO "AÇO VERDE"

A incorporação de critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) tornou-se uma tendência global consolidada, sendo essencial para a competitividade de longo prazo e acesso a mercados exigentes como a União Europeia. Na prática essa integração demonstra a viabilidade de conciliar o desempenho econômico com a preservação ambiental e a responsabilidade social, elementos fundamentais para a consolidação de um setor de aço sustentável (Aço Verde do Brasil, 2025). A produção do chamado "aço verde" exemplifica essa inovação, ao substituir insumos fósseis por fontes renováveis nos altos-fornos, reduzindo drasticamente as emissões de CO₂.

³ BNDES: O Banco Nacional do Desenvolvimento é uma instituição financeira pública federal, vinculada ao Governo do Brasil, criada em 1952, cuja principal função é financiar o desenvolvimento econômico do país.

Nesse contexto, destaca-se o uso do hidrogênio verde⁴ como agente redutor na siderurgia, substituindo o carbono tradicionalmente empregado no processo produtivo e resultando na emissão de vapor d'água em lugar de dióxido de carbono, o que representa um avanço significativo na descarbonização da indústria pesada.

No Brasil, a empresa Aço Verde do Brasil (AVB) lidera esse movimento ao utilizar biocarvão proveniente de reflorestamento sustentável e aproveitar 100% dos gases de processo, tornando-se a primeira siderúrgica do mundo com pegada zero de carbono (AVB, 2025). A adoção dessas práticas por um futuro Banco Brasileiro de Exportação e Importação (BBEI) ou por políticas de crédito direcionadas pode estimular a inovação e reduzir riscos reputacionais da indústria nacional. Empresas que adotam práticas ESG não apenas ampliam sua inserção internacional, mas também garantem acesso a linhas de crédito mais competitivas.

3.6 POLÍTICA PÚBLICA DE FINANCIAMENTO PARA A VERTICALIZAÇÃO DA CADEIA SIDERÚRGICA NO BRASIL

A viabilização de uma política nacional voltada à verticalização da cadeia produtiva do minério de ferro no Brasil demanda, invariavelmente, a implementação de mecanismos estruturados de financiamento industrial. Dada a natureza de capital intensivo e os longos prazos de maturação dos projetos siderúrgicos, o crédito público assume um papel estratégico na mitigação de riscos e na viabilização de externalidades positivas⁵. Nesse contexto, as linhas de financiamento do BNDES Finem configuram-se como instrumentos estratégicos para a viabilização de projetos de grande porte, possibilitando o aporte de capital em infraestrutura produtiva e logística. Complementarmente, o BNDES Finame desempenha papel central no adensamento tecnológico do parque industrial, ao fomentar a aquisição de máquinas, equipamentos e sistemas de automação, contribuindo para a modernização da indústria nacional e o fortalecimento da cadeia de fornecedores (BNDES, 2024).

⁴ Hidrogênio verde: é o hidrogênio produzido por eletrólise da água com uso de energia renovável, sem emissão de gases de efeito estufa, sendo considerado um insumo estratégico para a produção de aço verde, que utiliza fontes limpas e processos de baixa emissão de carbono em substituição aos métodos tradicionais baseados em combustíveis fósseis.

⁵ Externalidades positivas são benefícios gerados por uma atividade econômica que atinge terceiros não envolvidos diretamente na transação, como ganhos sociais, tecnológicos ou ambientais.

Sob a ótica da engenharia financeira, a sustentabilidade desses empreendimentos de grande escala requer a adoção de modelos híbridos de capital. A literatura e a prática recente sugerem a utilização de estruturas de *project finance*, nas quais o risco é distribuído de forma tripartite: uma participação estatal relevante de 40% via BNDES, complementada por 30% de aporte de capital privado e 30% captados junto ao mercado financeiro. Essa configuração não apenas dilui a exposição ao risco de crédito, mas também amplia a governança e a capacidade de investimento, garantindo a viabilidade financeira diante da volatilidade do mercado de commodities. A eficácia desse modelo de intervenção estatal é corroborada pela experiência recente da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). O aporte de Um Bilhão e Cento e Treze milhões de Reais, concedido pelo BNDES para a modernização da Usina de Volta Redonda, exemplifica a aplicação prática do crédito direcionado à inovação e à redução de emissões atmosféricas. Este caso concreto ratifica que o fomento público não atua apenas como suporte, mas como um catalisador de práticas sustentáveis e tecnológicas. Assim, a expansão dessa política para a criação de novos polos siderúrgicos regionais encontra respaldo em precedentes operacionais sólidos, consolidando o financiamento público como o eixo central para a superação de lacunas no setor industrial brasileiro (BNDES, 2025).

4 ANÁLISE DE DADOS

4.1 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PRODUTORES DE MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO

A configuração do mercado extrativo global, detalhada na Tabela 2, evidencia um cenário de oligopólio dominado por empresas que operam com elevada eficiência logística e escala produtiva. O domínio do setor é exercido majoritariamente por grandes mineradoras australianas e pela brasileira Vale S.A., que estruturam a base do suprimento global para as principais economias siderúrgicas, especialmente na Ásia (OEC, 2023).

A Vale S.A. consolida-se como uma das maiores produtoras globais individuais, com produção estimada em aproximadamente 328 Mt em 2024 (VALE, 2025). Entre seus principais concorrentes, a Rio Tinto registrou produção de cerca de 328 Mt de

minério de ferro em suas operações de Pilbara em 2024, enquanto a BHP manteve produção anual na faixa de 255–260 Mt (RIO TINTO, 2024; BHP, 2024).

O diferencial competitivo brasileiro reside não apenas no volume, mas na qualidade superior do minério extraído no Quadrilátero Ferrífero e em Carajás. O minério brasileiro apresenta teores de ferro mais elevados, o que reduz o consumo energético nos altos-fornos e aumenta sua atratividade na transição para uma siderurgia de menor intensidade de carbono (VALE, 2025; IEA, 2020).

Contudo, a análise desses dados reforça o paradoxo estratégico discutido nesta pesquisa: a liderança na extração de matéria-prima de alta qualidade não se traduz, necessariamente, em liderança na cadeia de valor siderúrgica. Enquanto grandes mineradoras operam sob uma lógica de exportação massiva para sustentar a indústria asiática, especialmente a chinesa, o Brasil permanece predominantemente na base da cadeia produtiva, com forte dependência da exportação de commodities primárias (OEC, 2023; IPEA, 2021). Essa realidade válida a urgência de uma política de verticalização que aproveite a vantagem comparativa da Vale S.A. para gerar vantagem competitiva industrial em território nacional.

Tabela 2 – Análise dos principais produtores de minério de ferro no mundo no período de 2025 e o maior Importador do minério

Categoria	Indicador	Valor Estimado / País
Produção	Produção da Austrália (2025)	960 milhões de toneladas
Produção	Produção do Brasil (2025)	440 milhões de toneladas
Consumo	Maior Importador Mundial	China
Financeiro	Valor de Importação da China (2023)	US\$ 113 bilhões

Fonte: Adaptado de World Steel Association (2024) e EPE (2024).

4.2 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PRODUTORES DE AÇO NO MUNDO

A Tabela 3 evidencia a disparidade de volume entre os principais produtores globais. Enquanto a China mantém a liderança absoluta com uma produção superior a 1 bilhão de toneladas (apesar de uma leve retração de 1,7%), a Índia e o Brasil consolidam-se como vetores de crescimento no cenário emergente, ocupando a 2ª e 9ª posição no ranking mundial, respectivamente. O dinamismo brasileiro (+5,3%) é particularmente relevante no contexto deste artigo, pois sinaliza o esforço nacional

em expandir a capacidade de transformação industrial diante de sua vasta oferta mineral.

Tabela 3 – Análise dos principais produtores de aço no mundo no período de 2024

Rank	País	Produção 2024 (Mt)	Variação (%) 24/23	Eficiência (CO ₂ /Energia)
1º	China	1.005,10	-1,70%	Baixa: Alta intensidade de carbono devido ao uso de carvão mineral (BF-BOF).
2º	Índia	149,6	+6,3%	Baixa: Elevada intensidade de CO ₂ pelo uso de carvão no processo DRI.
9º	Brasil	33,7	+5,3%	Alta: Referência em "Aço Verde" com uso de biocarvão e energia limpa.

Fonte: Adaptado de World Steel Association (2024a).

4.3 SIMULAÇÃO DE INVESTIMENTO PARA NOVAS UNIDADES SIDERÚRGICAS

A análise dos dados projetados na Tabela 5 revela que a implementação de uma unidade siderúrgica de escala global no Brasil exige um aporte de capital intensivo, com variações de CAPEX (*Capital Expenditure*) entre R\$ 15,0 bilhões, para o polo em Minas Gerais, e R\$ 18,5 bilhões, para a unidade no Pará. Essa disparidade de valores fundamenta-se na natureza tecnológica de cada projeto: enquanto o polo mineiro orienta-se à modernização da aciaria⁶ e laminação para o mercado interno, a unidade paraense foca na Redução Direta (DRI) e no uso de hidrogênio verde, visando a exportação de aço de baixo carbono.

Sob a ótica da engenharia financeira, a sustentabilidade de ambos os empreendimentos se vincula a um modelo de *project finance* tripartite, no qual o BNDES atua como financiador âncora (40%), mitigando riscos para a entrada de capital privado (30%) e recursos captados via mercado financeiro (30%). Assim, a viabilização de cada unidade produtiva nos polos de Carajás e do Quadrilátero Ferrífero não apenas aproveita as vantagens logísticas e minerais regionais, mas estabelece uma estrutura de governança híbrida essencial para superar o hiato de industrialização do setor siderúrgico nacional (BNDES, 2025).

⁶ Aciaria corresponde à etapa do processo siderúrgico destinada à conversão do ferro-gusa ou da sucata metálica em aço, por meio de processos físico-químicos de refino, que visam à remoção de impurezas e ao ajuste controlado da composição química do material.

Tabela 4 – Simulação de Investimento para Novas Unidades Siderúrgicas

Parâmetro de Simulação	1 Unidade Polo Quadrilátero Ferrífero (MG)	1 Unidade Polo Carajás (PA)
Perfil da Unidade	Planta Integrada (Foco em Mercado Interno)	Planta de Redução Direta (Foco em Exportação)
Capacidade Estimada	3,0 Milhões de Toneladas/ano	3,5 Milhões de Toneladas/ano
CAPEX (Investimento Total)	R\$ 15,0 Bilhões	R\$ 18,5 Bilhões
Financiamento BNDES (40%)	R\$ 6,0 Bilhões	R\$ 7,4 Bilhões
Capital Privado (30%)	R\$ 4,5 Bilhões	R\$ 5,55 Bilhões
Mercado Financeiro (30%)	R\$ 4,5 Bilhões	R\$ 5,55 Bilhões
Diferencial Tecnológico	Modernização de Aciaria e Laminação Automotiva	Redução Direta (DRI) e Hidrogênio Verde
Vantagem Estratégica	Proximidade ao polo industrial do Sudeste	Aço Verde de alto teor (Hematita de Carajás)
Logística de Escoamento	Malha Ferroviária Sul-Sudeste	Ferrovia Carajás e Porto de Itaqui

Fonte: Autoria própria (2026), com base em parâmetros de mercado e diretrizes do BNDES (2025).

Do ponto de vista tecnológico e operacional, as configurações produtivas das unidades siderúrgicas propostas apresentam diferenças estruturais relevantes. A planta integrada no Quadrilátero Ferrífero fundamenta-se na rota tradicional alto-forno, caracterizada pela utilização de minério de ferro aglomerado e carvão coqueificável⁷ como agente redutor, implicando elevada intensidade energética e maior emissão específica de dióxido de carbono (CO₂) por tonelada de aço produzida. Em contrapartida, a unidade projetada para a região de Carajás adota a rota de Redução Direta do Ferro DRI (Direct Reduced Iron), potencialmente integrada a fornos elétricos a arco EAF (Electric Arc Furnace), com perspectiva de substituição do gás natural por hidrogênio verde como agente redutor. Tal configuração tecnológica possibilita redução significativa das emissões de gases de efeito estufa, estando alinhada às diretrizes globais de descarbonização da indústria siderúrgica e às práticas ESG (Environmental, Social and Governance).

⁷ Coqueificável é o tipo de carvão mineral que, ao ser aquecido na ausência de oxigênio, transforma-se em coque, material essencial como agente redutor e fonte de energia nos altos-fornos da siderurgia.

Ademais, a elevada pureza da hematita presente na província mineral de Carajás contribui para ganhos de eficiência no processo de redução direta, reduzindo o consumo específico de energia e insumos. Nesse contexto, a escolha entre as rotas BF-BOF e DRI-EAF transcende critérios estritamente econômicos, envolvendo decisões estratégicas relacionadas à competitividade internacional e à inserção do Brasil no mercado de aço de baixo carbono (World Steel Association, 2023; IEA, 2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da Tabela 5 quantifica a magnitude da verticalização mineral proposta para os polos de Minas Gerais e Pará. O processamento integral de 450 Mt/ano de minério resultaria em um potencial de 265 Mt de aço bruto, volume que elevaria o Brasil à segunda posição no ranking siderúrgico global. Essa mudança estratégica permitiria substituir a atual dependência da exportação de commodities primárias por produtos de maior complexidade industrial. Nesse sentido, o adensamento da cadeia produtiva do ferro configura-se como o principal mecanismo de captura de valor no território nacional, ao transformar o minério bruto em aço e fortalecer a indústria de transformação (Banco Do Nordeste Do Brasil, 2021).

O ponto mais crítico para a viabilidade técnica desse projeto reside no gap energético. Conforme os dados do Balanço Energético Nacional, a demanda projetada de ⁸130 TWh/ano representa aproximadamente 25% de todo o consumo de energia elétrica do Brasil (EPE, 2024). O referido documento também evidencia que a produção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (PA) é majoritariamente direcionada aos centros de carga das regiões Sudeste e Centro-Oeste por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN). A retenção estratégica dessa energia no polo de Carajás funcionaria como uma âncora local de desenvolvimento, reduzindo perdas na transmissão e fornecendo a base necessária para as 18 a 20 unidades industriais estimadas para a região Norte.

Somado a isso, o consumo de 106 Mt de coque evidencia o desafio logístico de insumos redutores. Sob a ótica da Teoria da Localização Industrial, a instalação dessas usinas próximas às jazidas minimiza o custo de transporte do minério, insumo

⁸ TWh/ano (terawatt-hora por ano) é uma unidade de medida de energia que representa o consumo ou produção total de eletricidade ao longo de um ano

de elevada densidade e volume (Weber, 1929). A sustentabilidade do modelo, entretanto, depende da transição para o biocarvão de reflorestamento, medida que, segundo projeções da matriz energética nacional, pode mitigar o risco de importação massiva de carvão mineral e consolidar o diferencial competitivo do “aço verde” brasileiro no mercado internacional (EPE, 2024).

Tabela 5 – Estimativa de insumos e demanda elétrica para transformação do minério de ferro de MG e PA em aço

Variável	Total (Brasil)	Polo Carajás (PA)	Polo Quadrilátero (MG)
Produção de Minério (Mt/ano)	450	230	220
Produção Potencial de Aço (Mt/ano)	265	135	130
Consumo de Coque (Mt/ano)	106	52	54
Consumo de Energia (TWh/ano)	130	65	65
Nº Estimado de Siderúrgicas	35 – 40	18 – 20	17 – 20
Custo Total estimado R\$	670 Bi	370 Bi	300 Bi

Fonte: Adaptado de World Steel Association (2024) e EPE (2024).

Propõe-se a implementação de uma Política Nacional voltada à substituição da exportação primária de minério de ferro pela produção interna de aço de maior valor agregado, como estratégia para fortalecer a indústria nacional e reduzir a dependência de commodities. Os resultados indicam que o Brasil possui condições estruturais favoráveis para essa transição, destacando-se pela abundância mineral, qualidade do minério e matriz energética predominantemente renovável.

Entretanto, evidencia-se um paradoxo produtivo: apesar de ser um dos maiores produtores de minério de ferro, o país apresenta participação limitada na produção global de aço, ao contrário de economias como a China, que internalizam a agregação de valor (World Steel Association, 2024; World Population Review, 2025). À luz da Teoria da Localização Industrial (Weber, 1929), a manutenção do modelo exportador configura-se como ineficiente, ao transferir ao exterior as etapas de maior valor agregado (IPEA, 2021).

A análise demonstra que a verticalização da cadeia produtiva é viável no longo prazo, porém condicionada à superação do principal gargalo identificado: a demanda energética. Apesar disso, a matriz energética limpa do Brasil representa uma vantagem competitiva, permitindo o desenvolvimento de uma siderurgia de baixo carbono baseada no conceito de “aço verde” (AVB, 2025). No âmbito financeiro, a

viabilidade dos projetos depende de modelos estruturados de financiamento, com destaque para o *project finance* e a atuação do BNDES como agente indutor, reduzindo riscos e atraindo investimentos privados (BNDES, 2024; BNDES, 2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu verificar que a implementação de uma Política Nacional de Substituição da Exportação de Minério de Ferro por Produtos Siderúrgicos é a via fundamental para a soberania industrial brasileira no século XXI. Contudo, a magnitude do investimento requeridos com base nas apresentadas é de R\$ 15 bilhões há R\$ 18 bilhões por siderúrgica, e a complexidade das obras de infraestrutura indicam que tal política deve ser encarada como um projeto de Estado de longo prazo, com implementação faseada ao longo das próximas décadas.

Os resultados evidenciam que o maior desafio reside na coordenação estatal para suprir a demanda energética monumental e no fomento à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de tecnologias que eliminem o gargalo do coque mineral. A industrialização acelerada, amparada pela verticalização próxima às jazidas, validou-se como a estratégia mais eficiente para promover o desenvolvimento regional sustentável, reduzindo a dependência da economia brasileira das oscilações de preço das commodities brutas no mercado asiático e elevando a complexidade econômica nacional.

Adicionalmente, o Brasil já dispõe de infraestrutura logística estratégica capaz de suportar a expansão do parque siderúrgico. No eixo Norte, a integração entre a Estrada de Ferro Carajás e o Porto de Itaquí constitui um corredor logístico consolidado para escoamento de minério e, potencialmente, de produtos siderúrgicos. No eixo Sudeste, a malha ferroviária interliga o Quadrilátero Ferrífero aos principais polos industriais e portuários, como os portos de Tubarão (ES) e Itaguaí (RJ), onde representa uma vantagem competitiva relevante para a distribuição no mercado interno e exportação. A otimização e modernização desses ativos logísticos existentes reduzem a necessidade de investimentos *greenfield*⁹ em infraestrutura, aumentando a viabilidade econômica dos projetos siderúrgicos.

⁹ Greenfield: refere-se a projetos industriais ou de investimento iniciados do zero, em áreas sem infraestrutura pré-existente, envolvendo a construção de novas instalações produtivas.

Adicionalmente, a transição para uma siderurgia de alto valor agregado posicionaria o Brasil não apenas como um fornecedor de insumos básicos, mas como um protagonista geopolítico central na nova economia global de baixo carbono. A capacidade única de integrar a abundância de recursos minerais de alta qualidade com uma matriz energética predominantemente limpa cria um diferencial competitivo estratégico frente a grandes competidores que ainda dependem fortemente de combustíveis fósseis. Portanto, a implementação dessa Política Nacional deve ser acompanhada por uma diplomacia comercial ativa e coordenada, voltada para a abertura de mercados que priorizam a sustentabilidade e a rastreabilidade produtiva em suas normas de importação. Ao dominar a cadeia do aço verde, o país assegura sua resiliência e relevância nas cadeias globais de valor, protegendo-se de futuras barreiras tarifárias ambientais e consolidando um novo ciclo de desenvolvimento que equilibra de forma inédita o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social nas regiões produtoras.

Como pauta de sugestão, recomenda-se que o governo federal estruture não apenas incentivos fiscais para usinas que adotarem o Hidrogênio Verde e o biocarvão em escala industrial, mas também programas de fomento à inovação para tecnologias compatíveis com a siderurgia de baixa emissão (como a Redução Direta). O investimento em ciência e tecnologia é o pilar que garantirá que o país não apenas produza aço, mas domine os processos produtivos do futuro. Além disso, sugere-se que futuras pesquisas aprofundem o estudo sobre a integração de usinas solares e eólicas dedicadas e a viabilidade de pequenos reatores modulares (SMR) para garantir a estabilidade energética do novo parque siderúrgico. Em suma, deixar de ser a "mina do mundo" para se tornar a "siderúrgica verde do mundo" é uma necessidade de sobrevivência econômica e industrial frente à nova ordem climática global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇO VERDE DO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. Açailândia: AVB, 2025. Disponível em: <https://avb.com.br/wp-content/uploads/2025/07/RELATORIO-DE-SUSTENTABILIDADE-2024.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2026.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Siderurgia: panorama e perspectivas. Fortaleza: BNB, 2021**. (Caderno de estudos e desenvolvimento sustentável, n. 212). Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf. Acesso em: 24 fev. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES aprova R\$ 1,13 bi para CSN tornar mais sustentável usina de Volta Redonda (RJ)**. Agência BNDES de Notícias, Rio de Janeiro, 29 dez. 2025. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-aprova-R\\$-113-bi-para-CSN-tornar-mais-sustentavel-usina-de-Volta-Redonda-RJ/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-aprova-R$-113-bi-para-CSN-tornar-mais-sustentavel-usina-de-Volta-Redonda-RJ/). Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES Finame**. Rio de Janeiro: BNDES, 2024. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-todos>. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES Finem – Indústria, comércio e serviços**. Rio de Janeiro: BNDES, [2024?]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/solucao/solucao-finem-industria-comercio-servicos#!/>. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES Project Finance**. Rio de Janeiro: BNDES, [2024?]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-project-finance>. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Desde 2023, BNDES já aprovou R\$ 13,1 bilhões para o setor de metalurgia no país**. Agência BNDES de Notícias, Rio de Janeiro, 20 jan. 2026. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Desde-2023-BNDES-ja-aprovou-R\\$-131-bilhoes-para-o-setor-de-metalurgia-no-pais/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Desde-2023-BNDES-ja-aprovou-R$-131-bilhoes-para-o-setor-de-metalurgia-no-pais/). Acesso em: 24 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Relatório Anual 2024**. Rio de Janeiro: BNDES, 2025. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/hotsites/Relatorio_Anual_2024/BNDES-RA2024-FINAL-WEB.pdf. Acesso em: 18 mar. 2026.

BHP. **Annual Report 2024**. [S. l.]: BHP, 2024. Disponível em: <https://www.bhp.com/investors/annual-reporting/annual-report-2024>. Acesso em: 25 mar. 2026.

CARDOSO, Daniel Monte. **Evolução recente do market share das exportações minerais brasileiras**. Brasília: IPEA, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/faa26ec9-7bdd-4019-a914-535d7dd91279/content>. Acesso em: 24 mar. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2024: Relatório Síntese - ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Setor mineral 2025**. Brasília: IBRAM, 2026. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2026/02/02.02.2026-Setor-Mineral-2025.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Siderurgia e Desindustrialização Precoce**. Brasília: IPEA, 2021. p. 26-28. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/4a91a986-640d-4526-b18a-a84a45a8d81b/content>. Acesso em: 10 jan. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Iron and Steel Technology Roadmap**. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>. Acesso em: 25 mar. 2026.

KIYOKAWA, José Victor Mori. **Desindustrialização: conceitos e reflexos na economia brasileira**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/44384/1/Jos%C3%A9%20Victor%20Mori%20Kiyokawa.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2026.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Iron Ore (Minério de Ferro) Profile 2023**. [S. l.]: OEC Data, 2023. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/hs/iron-ore>. Acesso em: 4 fev. 2026.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Iron ore**. [S. l.]: OEC, [2024?]. Disponível em: <https://oec.world/en/profile/hs/iron-ore>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RODRIGUES, Léo. **Faturamento do setor mineral cresceu 9,1% em 2024**. Agência Brasil, Rio de Janeiro, 5 fev. 2025. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-02/faturamento-do-setor-mineral-cresceu-91-em-2024>. Acesso em: 24 mar. 2026.

VALE S.A. **Resultados do 4º Trimestre e do Ano de 2024**. Rio de Janeiro: Vale, 2025. Disponível em: <https://vale.com/pt/confira-os-resultados-financeiros-do-4t24>. Acesso em: 16 fev. 2026.

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA. **Western Australia iron ore profile**. Perth: Department of Jobs, Tourism, Science and Innovation, 2024. Disponível em: <https://www.wa.gov.au/system/files/2025-01/waironoreprofiledec2024.docx>. Acesso em: 24 mar. 2026.

WEBER, Alfred. **Theory of the location of industries**. Chicago: University of Chicago Press, 1929.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World steel in figures 2024**. Bruxelas: World Steel Association, 2024. Disponível em: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>. Acesso em: 18 mar. 2026.

WORLD POPULATION REVIEW. **Iron Ore Production by Country 2025**. [S. l.]: WPR, 2025. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/iron-ore-production-by-country>. Acesso em: 13 mar. 2026.