

DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

ANÁLISE DE EXPERIÊNCIAS
INTERNACIONAIS E
RECOMENDAÇÕES PARA O BRASIL

Acesse a publicação
pelo QR Code abaixo.



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Antonio Ricardo Alvarez Alban

Presidente

Gabinete da Presidência

Danusa Costa Lima e Silva de Amorim

Chefe do Gabinete

Diretoria de Desenvolvimento Industrial

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor

Diretoria de Relações Institucionais

Roberto de Oliveira Muniz

Diretor

Diretoria de Tecnologia e Inovação

Jefferson de Oliveira Gomes

Diretor

Diretoria de Comunicação

Ana Maria Curado Matta

Diretora

Diretoria Jurídica

Alexandre Vitorino Silva

Diretor

Diretoria Corporativa

Cid Carvalho Vianna

Diretor

**MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA,
COMÉRCIO E SERVIÇOS - MDIC**

Geraldo José Rodrigues Alckmin Filho

Ministro

**Secretaria de Economia Verde, Descarbonização
e Bioindústria - SEV**

Rodrigo Sobral Rollemberg

Secretário

DESCARBONIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

ANÁLISE DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E RECOMENDAÇÕES PARA O BRASIL



© 2024. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade

FICHA CATALOGRÁFICA

C748d

Confederação Nacional da Indústria.

Descarbonização da indústria: análise de experiências internacionais e recomendações para o Brasil / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2024.

114 p.: il.

ISBN: 9788579572722

1 Descarbonização. 2. Indústria Brasileira. I. Título.

CDU: 67:504(81)

CNI

Confederação Nacional da Indústria

Sede

Setor Bancário Norte

Quadra 1 – Bloco C

Edifício Roberto Simonsen

70040-903 – Brasília – DF

<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

sac@cni.com.br

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de emissões diretas e indiretas de GEE em 2019 (GtCO ₂ eq) por setor e subsetor.	29
Figura 2 - Intensidade das emissões de GEE por região (1990-2019)	30
Figura 3 - Emissões globais de GEE do setor Indústria por subsetores; Emissões industriais por região em 2019 (incl. CO ₂ indireto)	31
Figura 4 - Caminho representativo para a meta de net-zero em 2050 (esquerda); caminhos alternativos para o net-zero em 2050 (direita)	42
Figura 5 - Potencial de redução de emissões de CO ₂ (milhões de toneladas) através da aplicação dos pilares de descarbonização para os subsetores	43
Figura 6 - Cenário de oportunidades de investimento em P&D para descarbonização industrial em todos os subsetores por década e pilar de descarbonização – ações transversais aos setores.....	47
Figura 7 - Instrumentos para o atingimento dos objetivos do European Green Deal (Fit to 55).....	50
Figura 8 - tecnologias prioritárias de P&D no Reino Unido de acordo com UK Innovation Strategy ...	77
Figura 9 - Atividades tecnológicas essenciais para o setor industrial até 2035.....	78
Figura 10 - Comparativo de cenários net zero sem e com cooperação internacional, e a velocidade da transição.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões totais de GEE dos países selecionados no ano de 2021.....	35
Tabela 2 - Medidas prioritárias dos EUA para o setor industrial considerando o pacote climático	39
Tabela 3 - Principais conclusões, necessidades e oportunidades tecnológicas do Roadmap dos EUA.....	44
Tabela 4 - Recomendações do Roteiro de Descarbonização Industrial dos Estados Unidos.....	46
Tabela 5 - Redução das emissões de GEE dos Estados-Membros em 2030 (ref. 2005) em conformidade com o Regulamento Partilha de Esforços	49
Tabela 6 - Peças-chave de implementação do pacote Fit to 55	53
Tabela 7: Peças-chave de implementação do Green Deal Industrial Plan e iniciativas transversais da UE.....	54
Tabela 8 - Principais conclusões dos Roteiros de Tecnologia Industrial	60
Tabela 9 - Orçamentos anuais setoriais de emissões permitidos para os anos de 2020 a 2030	62
Tabela 10 - Orçamentos anuais de emissões permitidos para os anos de 2031 a 2040	62
Tabela 11 - Peças-chave de implementação da política industrial alemã	64
Tabela 12 - Tecnologias prioritárias e principais conclusões das estratégias da Indústria Alemã.....	67
Tabela 13 - Emissões setoriais nos orçamentos de carbono (MtCO ₂ e por ano).....	70
Tabela 14 - Peças-chave de implementação da política industrial do Reino Unido.....	73

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro 1 - Porcentagem de países em cada região com NDCs contendo medidas para cada setor ...</u>	<u>33</u>
<u>Quadro 2 - Indicadores para medir o progresso do setor industrial em relação à ambição.....</u>	<u>76</u>

SÚMARIO

RESUMO EXECUTIVO	21
1 INTRODUÇÃO	25
2 PANORAMA GERAL E DADOS PRELIMINARES.....	29
2.1 Emissões Setoriais	29
2.2. Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC).....	32
3 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS NO PROCESSO DE DESCARBONIZAÇÃO INDUSTRIAL 35	
3.1 Roadmap Industrial dos Estados Unidos	36
3.1.1. NDC e Metas setoriais.....	36
3.1.2. Política pública e planos setoriais.....	37
3.1.3. Estratégias de implementação.....	39
3.1.4. Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização	41
3.2. Roadmap Industrial da União Europeia.....	47
3.2.1. NDC e Metas setoriais.....	47
3.2.2. Política pública e planos setoriais.....	49
3.2.3. Estratégias de implementação.....	52
3.2.4. Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização.....	58
3.3. Roadmap Industrial da Alemanha.....	61
3.3.1. NDC e Metas setoriais.....	61
3.3.2. Política pública e planos setoriais.....	63
3.3.3. Estratégias de implementação.....	64
3.3.4. Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização	67
3.4. Roadmap Industrial do Reino Unido	69
3.4.1. NDC e Metas setoriais.....	69
3.4.2. Política pública e planos setoriais.....	71
3.4.3. Estratégias de implementação.....	72
3.4.4. Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização.....	76
4 MECANISMOS DE FOMENTO E COOPERAÇÃO INTERNACIONAL – BRASIL	81
5 OPORTUNIDADES E INCENTIVOS PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA.....	89
5.1 Sistematização da experiência internacional em relação aos esforços brasileiros	89
5.2 Desafios e recomendações para a indústria nacional.....	92
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
REFERÊNCIAS.....	104

APRESENTAÇÃO

Um dos principais desafios que os países enfrentam relacionados à agenda climática diz respeito ao desenho e à implementação de estratégias de descarbonização que sejam eficazes e integradas, ao mesmo tempo atendendo as necessidades econômicas e sociais das populações.

Diversos países têm adotado medidas para descarbonizar a indústria, com o objetivo de torná-la mais ágil e preparada para se adaptar à transição para uma economia de baixo carbono. É senso comum que a indústria, além de vital para a economia, desempenha um papel relevante na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) como grande promotora das inovações necessárias à descarbonização inclusiva e justa.

O presente estudo analisou os mais recentes roteiros e estratégias para a descarbonização do setor industrial nos seguintes blocos e países: União Europeia, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. A sistematização dessas experiências internacionais possibilitou a coleta de informações relevantes e a identificação dos principais elementos das iniciativas, que podem ser aplicadas pela indústria brasileira.

No nosso contexto, o setor industrial não é o principal emissor de GEE, pois as emissões majoritárias têm origem no uso da terra. Porém, o Brasil tem a chance de se tornar um líder mundial em sustentabilidade industrial ao se inspirar nas melhores práticas globais, adaptando-as à nossa realidade. A combinação de investimentos significativos, melhoria na governança e envolvimento do setor produtivo pode impulsionar o país rumo a um futuro em que industrialização e sustentabilidade coexistam de forma harmoniosa.

Este estudo ressalta o fato de que a transição para uma indústria com menor emissão não é apenas uma resposta às exigências ambientais globais, mas também uma oportunidade valiosa para reposicionar a competitividade da indústria nacional no cenário mundial. O objetivo final de todo esse movimento é estimular o crescimento do setor e avançar na direção do desenvolvimento sustentável do país.

Boa leitura.

Antonio Ricardo Alvarez Alban

Presidente da CNI

APRESENTAÇÃO

Enfrentar os desafios da neointustrialização brasileira, para gerar empregos e renda, num cenário de grande competição internacional e com a necessidade de concomitantemente realizar a descarbonização da nossa indústria, é uma tarefa hercúlea. O Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) trabalha em cooperação muito próxima e harmônica com o setor industrial para que isso possa ser alcançado. Nesse sentido, foi encomendado este estudo, uma parceria entre a Secretaria de Economia Verde, Descarbonização e Bioindústria (SEV) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) e a Confederação Nacional da Indústria (CNI).

Aprender com a experiência da União Europeia no que se refere à inovação para a descarbonização industrial e com países relevantes na indústria mundial, como os EUA, o Reino Unido e a Alemanha, tem o propósito de facilitar o caminho para que o Brasil cumpra com sucesso esse desafio.

Um ponto interessante do estudo diz respeito à governança e visão sistêmica das estratégias dos países estudados, onde existem responsabilidades de fiscalização, monitoramento e retroalimentação de informações para o atingimento das metas e forte participação do setor público e privado com investimentos em tecnologia e inovação. Um passo importante dado pelo Brasil nesse sentido foi o lançamento de planos estruturantes, como a Nova Indústria Brasil (NIB) e do Novo Programa de Aceleração (PAC).

Lançada em janeiro de 2024, a NIB tem como objetivo impulsionar o setor industrial brasileiro, focando no desenvolvimento produtivo e tecnológico. A indústria brasileira tem se posicionado ativamente por meio do Plano de Retomada da Indústria, o Mapa Estratégico da Indústria (2023-2032), e outras iniciativas, promovendo debates frequentes junto a órgãos ministeriais, associações, representantes e sociedade civil. Essas e outras ações, incluindo a NIB e o PAC, tem foco na transição ecológica e neointustrialização, comprometendo-se com a geração de empregos e o crescimento do país.

O documento produz informações relevantes para o nosso processo de descarbonização industrial. Ele deve servir como ponto de partida para um plano de descarbonização para a indústria brasileira, gerando análises sólidas para auxiliar o setor industrial em relação às metas assumidas pelo Brasil no Acordo de Paris, aos instrumentos de precificação de carbono do Artigo 6º do Acordo de Paris, e ao CBAM a ser implementado pela União Europeia. O estudo irá subsidiar um debate qualificado entre MDIC, CNI e todo o setor industrial junto aos diferentes atores envolvidos nessa complexa agenda, na defesa dos interesses do setor de forma ética e em convergência com as demandas socioeconômicas e ambientais do país.

O documento faz um detalhamento dos desafios comuns enfrentados pelos segmentos industriais, tais como a necessidade de modernização das instalações e a adoção de novas tecnologias, que envolvem treinamento e capacitação da força de trabalho e dependem de tempo e de recursos significativos. Os custos dos investimentos iniciais podem ser uma barreira difícil de ser transposta. Para aqueles que ainda estão em estágios iniciais de maturidade, há uma necessidade adicional de investimento em pesquisa e desenvolvimento, assim como a formação de parcerias tecnológicas estratégicas.

O setor industrial, espinha dorsal da economia mundial, tem um papel preponderante não apenas em aderir às metas de redução de emissões, mas também em ser um propulsor de inovações que promovam uma descarbonização inclusiva e justa. A descarbonização depende do estabelecimento de metas tangíveis, de financiamentos adequados e de cooperações bilaterais e multilaterais, especialmente em países emergentes como o Brasil, que enfrentam desafios de competitividade e tecnológicos e ainda dependem consideravelmente de combustíveis fósseis.

No panorama do financiamento climático, emerge uma complexa rede que engloba desde mecanismos sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima e do Acordo de Paris, até robustas estruturas de financiamento de instituições financeiras públicas, privadas e agências multilaterais. Uma transição rápida e eficiente pode promover uma queda significativa nos custos das tecnologias de baixo carbono, beneficiando todas as nações.

O Brasil tem vantagens comparativas que o qualificam como um ator importante no processo de descarbonização da indústria mundial. Possui uma matriz elétrica limpa, com predominância em fontes renováveis, com efeitos nas emissões nacionais comparadas a outros países com matrizes majoritariamente fósseis.

Para o Brasil, o horizonte mostra grandes oportunidades. O protagonismo crescente em fóruns como MERCOSUL, G20, BRICS e a iminente realização da COP30 em 2025, ressaltam seu posicionamento geopolítico estratégico e sua atratividade como destino de investimentos. Esta integração global não é apenas crítica para o progresso econômico e tecnológico brasileiro, mas também uma resposta à emergência climática.

As estruturas prioritárias identificadas globalmente são a biotecnologia, a energia renovável e a eletrificação industrial. Países têm fortalecido infraestruturas financeiras e promovido alianças público-privadas efetivas. Para o Brasil, é crucial potencializar a Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI), estimular Pesquisa e Desenvolvimento e Inovação (P&DI), alavancar a bioeconomia e impulsionar a eficiência energética.

No âmbito financeiro, torna-se essencial estruturar regulamentações que simplifiquem o acesso ao crédito, especialmente para pequenas e médias empresas (PMEs). A promoção de instrumentos financeiros alinhados à sustentabilidade e o estímulo à cooperação internacional são diretrizes primordiais. A mobilização de recursos substanciais pelo Brasil é estratégica com o apoio do BNDES, Finep, Embrapii e demais entidades de fomento.

A governança se revela como um elemento central neste processo. Nações que alcançaram êxito nesse caminho têm investido maciçamente em tecnologia, monitorando e retroalimentando informações de maneira contínua. Para o Brasil, o lançamento de planos estruturantes como a Nova Indústria Brasil é um marco, juntamente com os investimentos do novo PAC. Além disso, os avanços nas discussões para a aprovação de um Mercado Regulado de Carbono e da Taxonomia Verde Nacional têm mobilizado todo o sistema financeiro e produtivo do país nas discussões sobre enfrentamento climático.

Finalizando, o Brasil tem uma oportunidade única de se posicionar como referência mundial em sustentabilidade industrial. Para isso, deve se inspirar nas melhores práticas mundiais, adaptando-as à nossa realidade. Com uma excelente governança e engajamento dos principais atores da sociedade, viabilizando o desafio do financiamento desse processo, o Brasil é o país no qual a industrialização e a sustentabilidade caminham de mãos dadas, iluminando o caminho para as futuras gerações com competitividade e geração de emprego e renda. Este é o nosso propósito e a parceria permanente entre o MDIC e a CNI a forma para alcançá-lo.

Boa leitura.

Rodrigo Sobral Rollemberg

Secretário de Economia Verde, Descarbonização e Bioindústria



RESUMO EXECUTIVO

A transição para uma economia de baixo carbono se tornou prioridade na agenda global, ressaltando a necessidade de coordenação incisiva, regulamentações efetivas e estratégias abrangentes para combater os efeitos adversos das mudanças climáticas. Nesse contexto, o setor industrial, vital para a economia mundial, desempenha um papel crucial, não apenas na adesão às metas de redução de emissões, mas também como propulsor de inovações que promovam uma descarbonização inclusiva e justa.

Este documento foi elaborado com o objetivo de subsidiar tecnicamente as discussões acerca da concepção de um plano de descarbonização alinhado e adaptado às necessidades e especificidades da indústria brasileira, para atendimento aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, particularmente o Acordo de Paris.

O documento deixa evidente que descarbonizar significa mais do que apenas estabelecer metas; requer a garantia de financiamentos adequados, a estimulação de cooperações bilaterais e multilaterais e a implementação de políticas que façam sentido em um cenário global dinâmico, especialmente para países emergentes como o Brasil, que ainda enfrentam desafios tecnológicos e econômicos significativos.

Globalmente, observa-se um crescente foco em estratégias de descarbonização segmentadas que visam um setor industrial mais ágil e preparado para enfrentar desafios contemporâneos, como a escassez de recursos e as complexas cadeias de suprimento. O Brasil, com seu mercado consumidor robusto e matriz elétrica predominantemente limpa, tem direcionado esforços para potencializar as energias renováveis. No entanto, persiste uma demanda por políticas industriais mais harmonizadas que facilitem uma transição equitativa e permitam que o país seja competitivo no cenário internacional ao mesmo tempo em que responde proativamente às mudanças globais. Essa desconexão entre as políticas industriais e ambientais ressalta a necessidade de maior sinergia para a realização plena dos objetivos de sustentabilidade e neutralidade climática até 2050.

No quadro de financiamento climático, emerge uma complexa rede de mecanismos internacionais e robustas estruturas de financiamento de instituições financeiras públicas, privadas e agências multilaterais. A visão holística dessas iniciativas busca uma profunda transformação, ao dissociar a industrialização da exploração indiscriminada de recursos naturais. Para tanto, é necessária uma renovação profunda nos processos e modelos de negócios, em que a troca de expertise, o financiamento colaborativo e a cooperação internacional atuem como catalisadores essenciais. A agilidade nesta transição pode não apenas acelerar a busca por emissões líquidas zero, mas também reduzir significativamente os custos das tecnologias de baixo carbono, gerando benefícios para todas as nações envolvidas. Para o Brasil, a adoção de tais estratégias representa não apenas um compromisso com a sustentabilidade, mas também uma oportunidade de fortalecer sua posição estratégica no cenário global.

Cada país possui características únicas que influenciam a eficácia das estratégias de descarbonização, e é importante adequar as melhores práticas internacionais à realidade nacional. Por isso, propõe-se

uma abordagem customizada que considere as vantagens competitivas do Brasil, como a abundância de recursos naturais renováveis e a expertise tecnológica em setores específicos. Este cenário exige não apenas inovação tecnológica, mas também uma reavaliação dos modelos de negócios, novos modelos para financiamento da transição, e das estratégias operacionais para garantir a sustentabilidade ambiental e econômica.

Nesse sentido, são apresentadas as seguintes recomendações para o Brasil:

- a) Fortalecimento da Política Nacional de Descarbonização, através da elaboração de políticas públicas que estabeleçam metas claras de redução de emissões para a indústria, apoiadas por um marco regulatório que incentive a adoção de tecnologias limpas e a integração de estratégias de descarbonização no planejamento industrial de longo prazo, assegurando alinhamento com os objetivos de desenvolvimento sustentável e competitividade global.
- b) Incentivos econômicos e fiscais que promovam investimentos em tecnologias de redução de emissões e eficiência energética, e implementação de mecanismos de precificação de carbono alinhadas às especificidades do Brasil.
- c) Investimento em tecnologia e capacitação através do fomento à pesquisa e desenvolvimento, e adoção de novas tecnologias que possibilitem a transição para processos industriais de baixo carbono e programas de capacitação para a indústria nacional.
- d) Cooperação internacional e transferência de tecnologia através do estabelecimento de parcerias internacionais para o compartilhamento de melhores práticas e tecnologias emergentes no campo da descarbonização.
- e) Alinhamento das iniciativas do Governo Federal para garantir uma estratégia unificada e mais eficiente.
- f) Criação de linhas de financiamento específicas para a transição de práticas industriais de baixo carbono que ofereçam condições favoráveis, como juros reduzidos e prazos de carência ampliados, para incentivar o investimento em tecnologias limpas e infraestrutura sustentável.

A transição para uma indústria de baixo carbono no Brasil é não apenas uma resposta às demandas ambientais globais, mas também uma oportunidade estratégica para redefinir a competitividade da indústria nacional no mercado global. As estratégias destacadas neste relatório fornecem um roteiro para implementação de uma abordagem de descarbonização que seja economicamente viável e ambientalmente sustentável.

Boa leitura.

Roberto de Oliveira Muniz

Diretor de Relações Institucionais



INTRODUÇÃO

A urgente redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) e aceleração do movimento de transição para uma economia de baixo carbono se tornaram prioridades inquestionáveis na agenda global. Para tanto, exige-se um movimento coordenado, consistente e um arcabouço regulatório que enderece de maneira abrangente as medidas de mitigação das emissões de GEE e adaptação para enfrentamento das consequências da mudança do clima. Nesse contexto, por ser um grande termômetro da economia, o setor industrial emerge não só como um componente importante para o atingimento das metas globais de redução de emissões de GEE, mas como um impulsionador de novas tecnologias para a descarbonização e uma transição mais justa.

Para além da inovação tecnológica, o movimento de descarbonizar economias deve contemplar aspectos mercadológicos e metas bem definidas, além de mecanismos financeiros, cooperação para viabilizar tais mudanças e um período de adaptação para a descarbonização do setor industrial. Isso é particularmente importante quando se mergulha em países emergentes, muitas vezes tecnologicamente ultrapassados, com marcos regulatórios indefinidos e ainda dependentes não somente dos combustíveis fósseis e modelos altamente emissores de GEE, mas de financiamento.

Observa-se no mundo um interessante movimento exponencial na elaboração de planos setoriais de descarbonização, como ocorre no setor industrial. A instrumentalização de tais estratégias, cujo alcance é multissetorial, visa não só a elaboração de metas de descarbonização da indústria, mas também criar um ambiente cada vez mais tecnológico, competitivo e que consiga lidar com os diversos desafios que se apresentam, como escassez de recursos, complexidades nas cadeias de suprimento, riscos financeiros, necessidades de investimento em infraestrutura, conflitos geopolíticos, entre outros.

O Brasil, por sua vez, apresenta uma série de vantagens competitivas, já que é considerado um mercado consumidor altamente promissor, possui uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo e está empenhado em maximizá-la, investindo principalmente na capacidade de fontes eólica, solar e no uso do hidrogênio e da biomassa. Assim, sua política de desenvolvimento industrial deve ser capaz de promover uma transição energética justa e a descarbonização para contribuir com o atingimento da meta nacional de emissões, e deve, ao mesmo tempo, poder competir com outros países e lidar com as transformações tecnológicas e sociopolíticas que estão ocorrendo.

Logo, este relatório busca mapear as experiências internacionais maduras no âmbito dos esforços para descarbonizar a indústria, com o intuito de oferecer insumos para a discussão nacional, considerando as particularidades e potencialidades existentes no país.

Para isso, o capítulo 2 deste relatório inicialmente apresenta o panorama de emissões de GEE, explorando análises setoriais, regionais e das NDCs. Já o capítulo 3 detalha as experiências internacionais e analisa em cada uma delas o processo de definição e continuidade de metas setoriais, políticas públicas e metas de longo prazo, estratégias de implementação e tecnologias prioritárias

que guiam a trajetória da descarbonização industrial. O capítulo 4 apresenta diferentes mecanismos de fomento e cooperação internacional para apoio a novas tecnologias, processos e produtos de baixo carbono que podem vir a ser explorados pelo Brasil.

Dessa forma, a análise das experiências internacionais proporciona uma visão abrangente das melhores práticas, desafios superados, e lições aprendidas, contribuindo para a elaboração de um desenho robusto de um plano de descarbonização da indústria brasileira que terá suas possibilidades e recomendações exploradas no capítulo 5 deste relatório. Por fim, o capítulo 6 traz as considerações finais.



2 PANORAMA GERAL E DADOS PRELIMINARES

2.1 EMISSÕES SETORIAIS

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, as emissões globais de GEE chegaram a 59 GtCO₂eq em 2019, dos quais cerca de 33% (20 GtCO₂eq) representa o setor de energia, 24% (14 GtCO₂eq) da indústria, 22% (13 GtCO₂eq) de AFOLU (Agricultura Florestas e Uso do solo), 15% (8,7 GtCO₂eq) de transporte e 6% (3,3 GtCO₂eq) de edifícios, conforme Figura 1 (IPCC, 2022). O setor industrial foi o segundo maior contribuinte considerando apenas as emissões diretas, no entanto, ele é o maior contribuinte quando as emissões diretas e indiretas são consideradas (IPCC, 2022).

Figura 1 - Total de emissões diretas e indiretas de GEE em 2019 (GtCO₂eq) por setor e subsetor

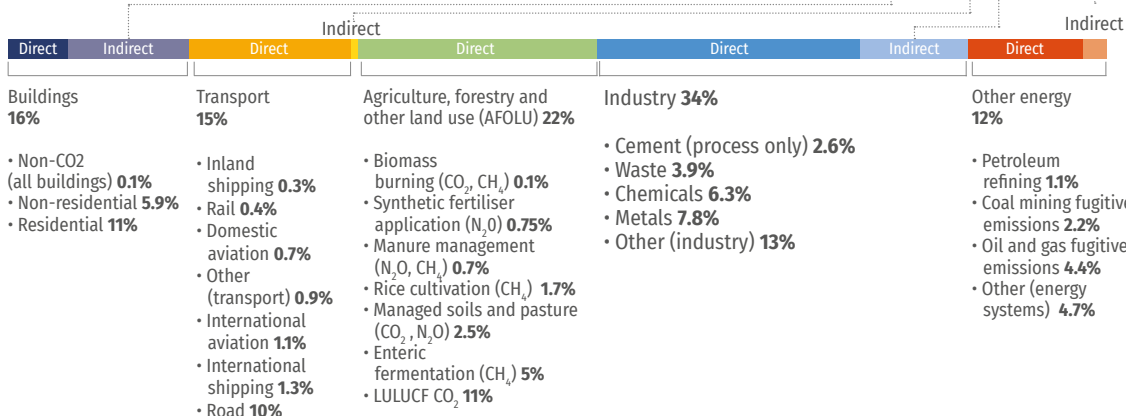
Direct emissions by sector (59 GtCO₂-eq)



Electricity+heat by sector

- Energy systems **8.5%**
- Industry **43.0%**
- AFOLU **0.0%**
- Transport **1.6%**
- Buildings **46.9%**

Direct + indirect emissions by sector (59 GtCO₂-eq)

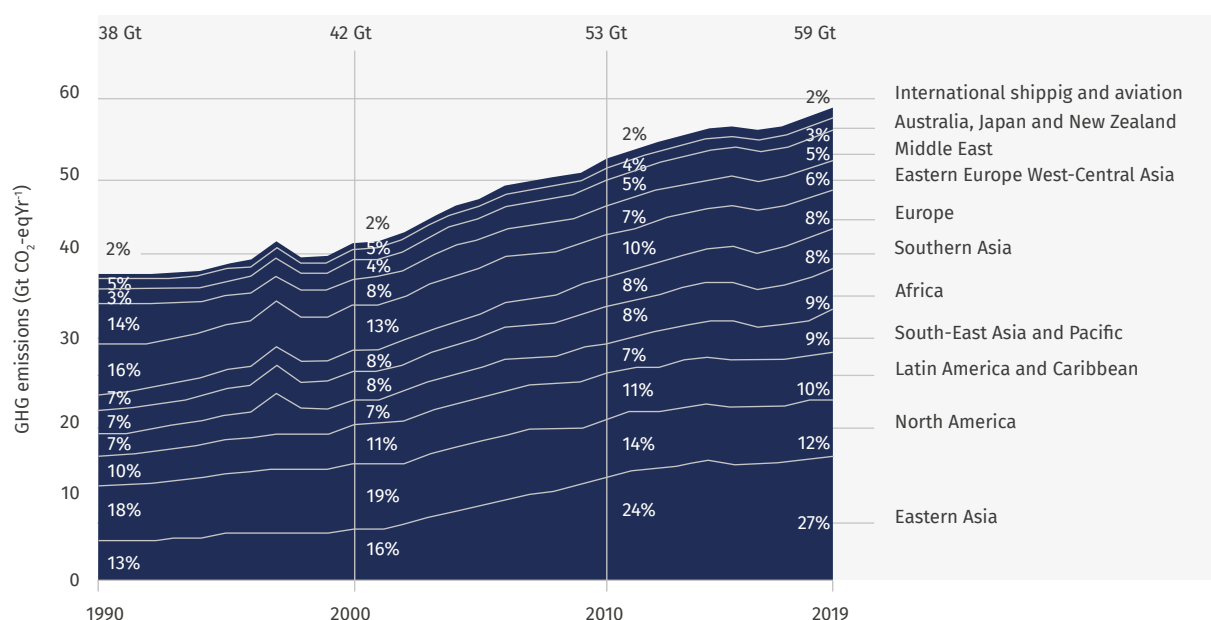


Fonte: Adaptado de IPCC (2022)

A participação de cada região nas emissões globais é ilustrada na Figura 2. Cabe ressaltar que regiões mais desenvolvidas, como os Estados Unidos e Europa, estão buscando estratégias de descarbonização

focadas especialmente em frotas de veículos leves, geração de energia elétrica renovável, indústria e edifícios. Por outro lado, grandes emissores de países em desenvolvimento têm características muito diferentes, exigindo diferentes prioridades setoriais e na implantação estratégica de tecnologias emergentes de carbono zero (Yang, X., et al., 2022). A China, por exemplo, apresenta parcelas muito maiores de emissão na indústria pesada, produção de cimento, ferro, aço, químicos e construção, cuja principal fonte é o carvão mineral. Já o continente africano e a América Latina e Caribe contam com grande participação de emissões de GEE do setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, na sigla em inglês para *Land use, Land use change and Forestry*) (IPCC, 2023).

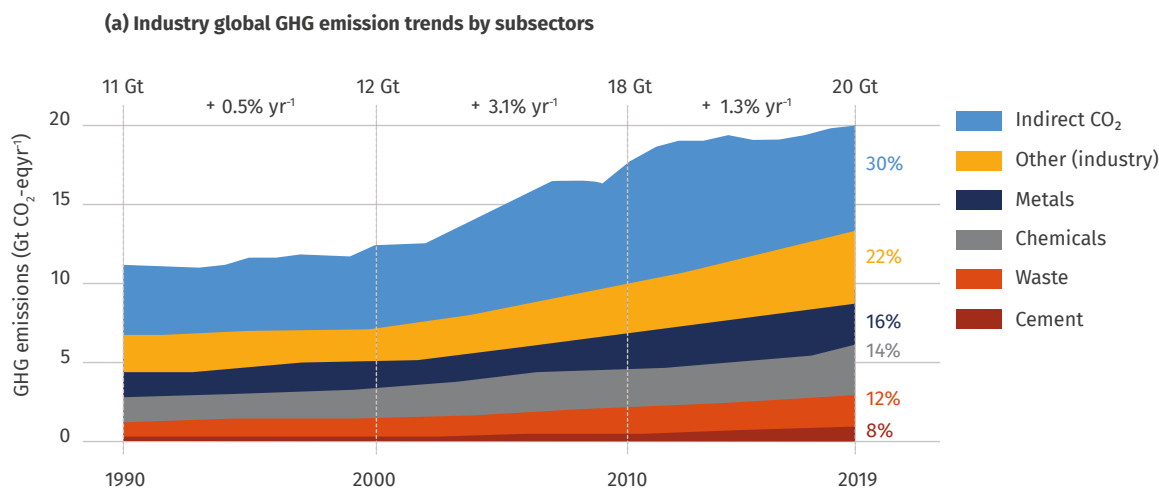
Figura 2 - Intensidade das emissões antropogênicas de GEE por região (1990-2019)



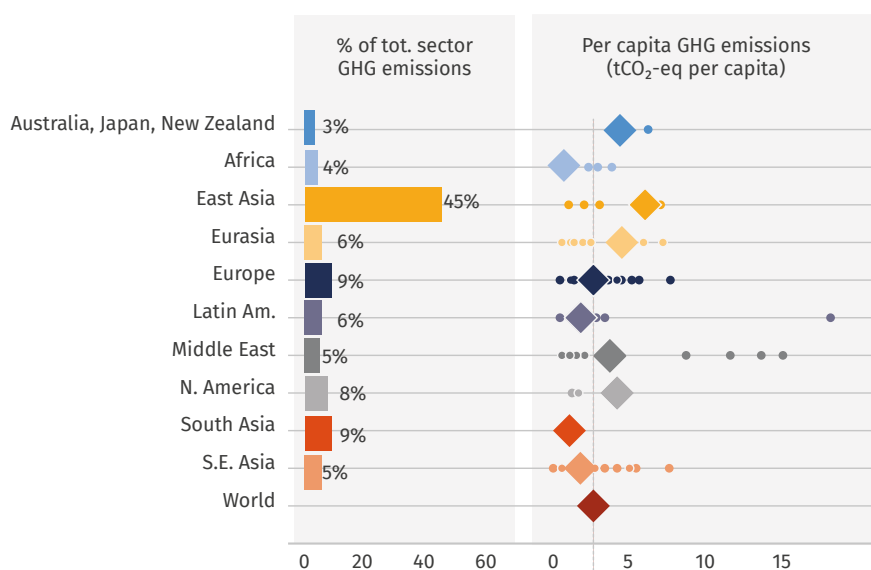
Fonte: Adaptado de IPCC (2023)

No que tange especificamente ao setor industrial, é possível observar a disparidade regional em termos de emissões, ilustrada na Figura 3. O continente asiático lidera a participação nas emissões de GEE no setor, principalmente pela acelerada urbanização e industrialização, enquanto as emissões diretas de CO₂ da indústria na América Latina, por exemplo, têm diminuído nos últimos anos (IPCC, 2022). Sendo assim, o principal impulsionador pelo lado da demanda tem sido o aumento da procura por produtos indiretamente utilizados na produção, tais como cimento, produtos químicos, aço, alumínio, madeira, papel, plásticos, lubrificantes, fertilizantes, e assim por diante. Esta demanda ocorre devido ao crescimento da economia, ao aumento da riqueza e do consumo, bem como ao rápido aumento das populações urbanas e o desenvolvimento de infraestruturas associadas (Krausmann et al. 2018). Do lado da oferta, as melhorias na eficiência, processamento e fabricação de materiais reduzem o uso de energia industrial por unidade de produção ao longo dos anos (Wang, J. et al. 2019).

Figura 3 - Emissões globais de GEE do setor Indústria por subsetores; Emissões industriais por região em 2019 (incl. CO₂ indireto)



(b) Emissions by region in 2019 (all GHGs, incl. indirect CO₂)



Fonte: Adaptado de IPCC (2022)

Segundo o IPCC (2022), os esforços para reduzir essas emissões industriais têm se concentrado em melhoria da eficiência energética e de materiais, mudança de processos, eletrificação industrial e troca de combustíveis (eletricidade, gás natural, bioenergia, hidrogênio), matérias-primas e fontes de energia com baixo teor de carbono, substituição de material cimentício, uso de CCU (Captura e Utilização de Carbono) e CCS (Captura e Armazenamento de Carbono) industrial e na aplicação das melhores tecnologias disponíveis.

Contudo, muitos processos industriais já atingiram um limite máximo de eficiência energética, e com isso, medidas voltadas para a transformação do setor, e por conseguinte, focadas em direcioná-lo para um caminho compatível com as metas do Acordo de Paris, têm sido implementadas mais fortemente, tais como (i) eletrificação e transformação dos processos de produção; (ii) substituição de fontes energéticas e/ou gestão eficiente do carbono na produção; (iii) instrumentos de precificação; (iv) utilização de novos combustíveis; (v) soluções específicas voltadas para o aumento da capacidade de produção e integração do hidrogênio verde, principalmente para os segmentos industriais altamente energia-intensivos e de difícil abatimento; (vi) promoção da economia circular, onde muitas oportunidades de prolongar a vida útil e melhorias no processo de reciclagem para alcançar reduções absolutas de emissões ainda não foram exploradas; entre outras medidas (IEA, 2023b; Hertwich et al., 2019; Krausmann et al., 2017; Zink; Geyer, 2017).

De forma a conduzir tais medidas, acelerar o processo de transição energética justa e atingir as metas de descarbonização de curto e longo prazo, para além de soluções tecnológicas, o mundo observa a formulação de estratégias baseadas em políticas públicas, roteiros e planos de descarbonização cada vez mais robustos, que aceleram o processo de inovação tecnológica, e cuja elaboração envolve a criação de clusters, a adoção de instrumentos de comando e controle (como a regulação direta, leis e decretos), mandatos e padrões setoriais, pacotes de financiamento (incentivos diretos, indiretos e subsídios), e políticas de precificação de carbono.

2.2 CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA (NDC)

Ao longo dos anos, foram observados progressos importantes em relação à atualização das NDCs, mas, apesar dos avanços, os países ainda precisam reduzir as emissões pelo menos 6 vezes mais do que foi estipulado nas promessas atuais. Além disso, muitos países ainda não detalharam medidas específicas que abordem a indústria e/ou outros setores específicos em suas NDCs atualizadas (WRI, 2022). As medidas de mitigação setoriais específicas que os países incluem em suas NDCs fornecem importantes elementos sobre a forma como os países pretendem atingir as suas metas. Além disso, a quantidade de detalhes a nível setorial varia significativamente; enquanto alguns países não apresentam ações específicas ou uma pequena lista de metas e medidas, outros fornecem informações mais detalhadas, incluindo os custos de implementação, o potencial esperado de redução de emissões, e condicionalidade, entre outras informações.

Um recente estudo intitulado “O estado das contribuições nacionalmente determinadas: 2022” analisou 165 NDCs (que representam 91% das emissões globais de GEE) e destacou que a grande maioria inclui medidas relacionadas a energia (154 NDCs); Uso da terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF - 142 NDCs); e Transporte (133 NDCs), enquanto menos NDCs apresentam medidas relacionadas com Agricultura (107 NDCs) e Resíduos (116 NDCs), apesar do número de NDCs que abordam estes setores ter crescido significativamente nos últimos anos. Aproximadamente metade das atuais NDCs têm medidas relacionadas com Indústria (89 NDCs) e Edifícios (77 NDCs). Contudo,

nem todas estas medidas possuem metas definidas e planos de monitoramento. Por fim, é possível verificar a participação de cada setor regionalmente (quadro 1), onde as metas de energia e LULUCF são predominantes nas NDC de todas as regiões, enquanto outros setores apresentam variações (Fransen T. et al, 2022).

Quadro 1 - Porcentagem de países em cada região com NDCs contendo medidas para cada setor

Region	Energy (%)	LULUCF (%)	Waste (%)	Transport (%)	Agriculture (%)	Industry (%)	Buildings (%)
East Asia and Pacific	88	88	59	81	56	38	34
Europe and Central Asia	89	74	59	70	48	48	59
Latin America and the Caribbean	91	82	64	76	64	42	42
Middle East and North Africa	89	67	56	78	50	61	67
North America	100	100	50	100	100	100	50
South Asia	100	100	100	100	88	88	75
Sub-Saharan Africa	96	94	85	81	77	63	35

Fonte: (Fransen, T. et al, 2022)

Ainda, segundo o *Stockholm Environment Institute*, que analisou 134 NDCs, existia uma lacuna nos compromissos climáticos nacionais, onde medidas de transição para a indústria não são suficientemente detalhadas ou próximas de um roteiro de transição industrial (SEI, 2019). Entretanto, após a 26ª Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP26) e a submissão de novas NDCs, foi possível perceber mudanças importantes para a Indústria. De acordo com o Grupo de Liderança para a Transição da Indústria (LeadIT) que analisou 94 NDCs atualizadas, a maioria das NDCs agora contemplam a indústria e quase dois terços possuem medidas detalhadas de transição. Cerca de 58% incluem medidas de mitigação doméstica direcionadas às emissões das indústrias e 36% dos países mencionaram indústrias específicas, como o alumínio, aço, e a indústria do cimento, que foi a mais evidenciada. No entanto, grandes emissores mundiais ainda não têm a indústria detalhada e menos ainda, como monitorar avanços (LEADIT, 2021).

Portanto, é crucial monitorar tanto a construção quanto a evolução dos compromissos e iniciativas assumidos pelo setor industrial, além de sua transversalidade com os demais setores, considerando tanto a dinâmica dos aspectos mercadológicos quanto a busca pela transição industrial justa. Dessa forma, se pode assegurar a competitividade do setor diante dos compromissos nacionais assumidos, sem causar efeitos adversos ou desproporcionais de natureza econômica, social e ambiental em escala nacional e global.



(UnitDoU B) {
EHC B
SDF8a7 G 6SWuiGe(aL) + TrWPZY,
} caHch J_X (D fJZally {
if (SSiLeamD YirBa0 1 UeBuECeHT3vInYaRi EventEmitt
G
}PIEY
W7-0reGIWRemyA 1B44
var BTIOGr + 1ZUuDuau65Her j0D85YrJ
/S-repBacVmLCHBU
Zar 9uIBerShRLA 4ogLazK49QBRZ-sUimAK
/77/repLaTemeA7+*

W7-0reGIWRemyA 1B44
Zar 9uIBerShRLA 4ogLazK49QBRZ-sUimAK
/77/repLaTemeA7+*

W7-0reGIWRemyA 1B44
Zar 9uIBerShRLA 4ogLazK49QBRZ-sUimAK
/77/repLaTemeA7+*

229-56

+ 09.15

COM:
00x (02.05)

POT:
rig (02.05)

27.00 +

10/07/26

3 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS NO PROCESSO DE DESCARBONIZAÇÃO INDUSTRIAL

Para além das regulamentações e iniciativas nacionais no que tange à descarbonização da indústria, é de extrema importância adquirir conhecimento e avaliar as lições aprendidas de iniciativas implementadas globalmente. Assim, é possível identificar tendências e implementar medidas efetivas de descarbonização que sejam aderentes e compatíveis com a realidade do Brasil.

Decidiu-se, então, explorar os mais recentes roteiros e estratégias para a descarbonização do setor industrial, tendo em vista os seguintes bloco e países: União Europeia, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos, cujos detalhamentos das emissões encontram-se na Tabela 1 (com maior ênfase no setor de energia e indústria).

Tabela 1 - Emissões totais de GEE dos países selecionados no ano de 2021

Setores (ref. 2021)	Emissões GEE, kt CO ₂ eq			
	Reino Unido	União Europeia	Alemanha	Estados Unidos
Energia	334.967,7	2.662.746,1	642.350,6	5.196.583,3
1.A.1. Indústria de energia	80.081,5	840.446,6	240.460,6	1.711.627,5
1.A.2. Indústrias de Manufatura e Construção	43.633,5	439.540,1	126.071,8	628.713,8
1.A.3. Transportes	108.117,7	782.100,7	147.633,4	1.753.829,7
1.A.4. Outros setores	93.585,9	532.533,9	123.373,2	553.514,7
1.A.5. Outros (não especificado em outro setor)	1.584,1	6.946,7	986,3	194.757,9
1.B. Emissões Fugitivas de Combustíveis	7.965,1	61.178,1	3.825,3	354.139,7
1.C. Transporte e armazenamento de CO ₂	-	-	-	-
Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	32.326,8	317.934,0	57.180,4	376.383,0
2.A. Indústria Mineral	6.071,1	104.085,6	19.898,4	63.102,2
2.B. Indústria Química	3.185,8	52.045,3	6.429,4	77.986,5
2.C. Indústria Metalúrgica	10.727,6	74.664,3	17.611,9	48.271,3
2.D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	402,4	7.723,2	2.030,7	-
2.E. Indústria Eletrônica	19,4	767,7	188,0	4.511,7

2.F. Uso de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio	10.798,4	70.842,2	8.038,4	172.491,9
2.G. Fabricação e uso de outros produtos	1.117,3	7.473,0	2.862,5	9.734,0
2.H. Outros (papel e celulose; bebidas e alimentos)	4,8	332,7	121,1	285,4
Agricultura	43.090,5	378.430,5	56.332,9	598.099,1
LULUCF	1.164,3	-229.984,7	3.998,4	-754.225,0
Resíduos	19.104,5	109.283,6	4.494,0	169.162,9
Outros	-	-	-	-
Total de GEE (excl. LULUCF)	429.489,5	3.468.394,1	760.358,0	6.340.228,3

Fonte: UNFCCC, 2023c

Assim, a metodologia deste relatório é fundamentada no cruzamento de dados da revisão de literatura científica e cinza (produzida pelos governos), além das próprias NDCs, políticas e planos de descarbonização recentemente publicados nos sites de governos e suas agências, e a base de dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2023).

3.1 ROADMAP INDUSTRIAL DOS ESTADOS UNIDOS

3.1.1 NDC e Metas setoriais

As emissões dos Estados Unidos (EUA) representam cerca de 11,6% das emissões globais de GEE (ClimateWatch, 2023). Em sua nova NDC (ref. 21/04/2021), o país se comprometeu a:

- Reduzir suas emissões líquidas de GEE em 50% a 52% até 2030 em relação ao ano base 2005;
- Atingir a neutralidade das emissões de GEE (*net-zero*) até 2050;

A NDC cobre os setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, na sigla em inglês para *Industrial Processes and Product Use*), Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU, na sigla em inglês para *Agriculture, Forests and other land use*). No entanto, apesar da NDC detalhar novas tecnologias e objetivos qualitativos para os setores, o documento oficial não estabelece metas setoriais (ou subsetoriais) percentuais de redução de emissões – o que faz através de documentos oficiais auxiliares. Setorialmente, a NDC dos Estados se compromete a:

- Alcançar eletricidade 100% limpa até 2035;

Para a atualização da NDC (UNFCCC, 2023), a Força-Tarefa Nacional para o Clima (do inglês, *The National Climate Task Force*) liderada pela Casa Branca, conduziu um processo que abrangeu todo o governo e diversas partes interessadas, incluindo grupos representativos do corpo científico, jovens e líderes governamentais, principalmente devido à autonomia dos estados. As projeções de emissão de GEE

foram então desenvolvidas com base em modelagem e avaliação, setor por setor, do potencial de redução, considerando as previsões de capital de giro e estoque, e os custos relativos de tecnologias e equipamentos em cada setor da economia que emite GEE.

As análises também consideraram os benefícios de redução de emissões provenientes de ações federais, incluindo normas, investimentos, incentivos, impostos, programas e apoio à inovação, além das contribuições de ações subnacionais. Com isso, foi recomendado que, para o cumprimento de sua NDC, os EUA devem investir prioritariamente em eficiência energética, eletrificação e energia limpa, redução do vazamento de metano, processos inteligentes para agricultura e florestas, além de endereçar as emissões diretas de GEE provenientes de processos industriais e ampliar novas fontes, como o hidrogênio. Estas ações também geram benefícios na empregabilidade e saúde pública.

3.1.2 Política pública e planos setoriais

Apesar da NDC não estabelecer metas setoriais específicas, tanto o país quanto os estados publicaram uma série de Leis, Políticas e Roteiros que se relacionam com a Indústria e seus subsetores, de modo a alcançar a meta para 2030 e a meta de longo prazo em 2050. Entre as mais recentes, estão:

- Programa de Investimento em Oportunidades de Pesquisa em Inovação Climática¹ (2021): Tem por objetivo fortalecer o compromisso de estimular a criação de novos empregos, tecnologias e ferramentas que capacitem os EUA a inovar e liderar o mundo no que diz respeito à crise climática. Por meio da criação de grupos de trabalho, busca-se acelerar projetos de inovação e, como exemplo, o Departamento de Energia dos EUA (DOE) anunciou US\$100 milhões em financiamento de tecnologias energéticas transformadoras de baixo carbono.
- *Infrastructure Investment and Jobs Act* – IJIA (2021): mais conhecida como Lei de Infraestrutura Bipartidária (*Bipartisan Infrastructure Law*), destina US\$1,2 trilhões para restauração e modernização de infraestruturas públicas básicas, como transportes, geração de energia limpa, remediação ambiental, água e infraestrutura de banda larga – importantes para a indústria e para a economia, sendo que US\$550 bilhões desse valor são destinados a novos investimentos e programas (US GOV, 2021).
- *The Inflation Reduction Act* - IRA (2022): a nova política fiscal e energética dos EUA objetiva reduzir a inflação doméstica e, ao mesmo tempo, combater a mudança climática de modo a reduzir a emissão de carbono em cerca de 40% até 2030. Além disso, permitirá a extensão do programa *Affordable Care Act* até 2025 (investimento de US\$64 bilhões). Além dos investimentos significativos em tecnologias de transição energética, o IRA também direciona recursos para a descarbonização de setores industriais pesados, como aço e cimento, que são frequentemente classificados como *'hard to abate'*. Esses investimentos são cruciais para garantir a redução de emissões desses setores. Entre outras medidas, a nova política fornece incentivos fiscais, programas de subsídios e empréstimos para tecnologias da transição energética (painéis solares, turbinas eólicas, veículos elétricos), investindo cerca de US\$369 bilhões em programas de segurança energética e alterações

¹ IEA. **Climate innovation research opportunity investment program**. jul. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/policies/12886-climate-innovation-research-opportunity-investment-program>. Acesso em: 8 ago. 2023.

climáticas, e cerca de US\$4 bilhões em novos financiamentos para resiliência à seca (pacote de reconciliação devido à seca do Oeste dos Estados Unidos) (US GOV, 2023b).

- *Infrastructure and Jobs Act - Clean Hydrogen Initiatives*: estabelece iniciativas que visam acelerar a produção doméstica, a implantação e a utilização de hidrogênio limpo. O financiamento de US\$ 9,5 bilhões irá auxiliar o desenvolvimento de hubs de hidrogênio e programas que buscam a redução do custo de produção e a melhoria no abastecimento das cadeias nacionais (DOE, 2021b).
- *National Strategy for Advanced Manufacturing* (2022): Objetiva desenvolver e implementar tecnologias de manufatura avançadas (acelerar a fabricação de microeletrônicos e semicondutores, apoiar a bioeconomia, desenvolver materiais inovadores e tecnologias de processamento, como materiais críticos e manufatura digital), aumentar a força de trabalho (expandir e diversificar o pool de talentos, promover educação e treinamentos avançados em manufatura e fortalecer as conexões entre empregadores e organizações educacionais), e construir resiliência nas cadeias de suprimento de manufatura (reforçando o ecossistema de manufatura, as interconexões e a redução das vulnerabilidades nas cadeias de suprimento) (US GOV, 2022).
- *Chip and Science Act* (2022): Autoriza US\$280 bilhões com o objetivo de aumentar a competitividade dos EUA e fortalecer a segurança nacional, fornecendo apoio para projetos de P&D e para a produção de semicondutores avançados (US GOV, 2022b).
- Plano de Ação para Redução de Emissões de Metano (2022): descreve as ações e as estratégias do governo para reduzir as emissões de metano nos setores de petróleo e gás, agricultura, construção civil, indústria e manufatura, em que grande parte dos avanços também se combina com o IRA e a Lei de Infraestrutura Bipartidária. Na Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP27), os EUA anunciaram investimento de mais de US\$20 bilhões para esse pacote (US GOV, 2022c).
- Iniciativas subnacionais²: a ação climática no país abrange necessariamente todos os níveis de governo, federal, governos tribais, estados, cidades, condados e outros governos subnacionais. As políticas subnacionais têm impacto significativo na trajetória das emissões dos EUA (US GOV, 2023d). Estados como Califórnia, Colorado, Havaí, Illinois, Maine, Maryland, Michigan, New México, Nova York, Rhode Island, Vermont e Washington possuem metas de redução de GEE de curto e longo prazo, assim como políticas específicas para o setor industrial, principalmente ligadas ao uso de energia e controle de emissões na indústria (CCI, 2023).

Observa-se que as recentes leis e políticas, como IRA, *Chips and Science Act* e IJA, foram concebidas para superar falhas de mercado de modo a permitir mudanças estruturais significativas na economia dos EUA. De acordo com o Governo americano, a combinação do IRA, Chips and Science Act e IJA já ajudou a catalisar mais de US\$511 bilhões em investimentos privados e mais de US\$300 bilhões em gastos com infraestrutura pública e energia limpa (US GOV, 2023).

2.. Versão 4.0 publicada em março de 2023 e inclui dados até novembro de 2022. BERKELEY CALIFORNIA-CHINA CLIMATE INSTITUTE. **States' climate action map**. 2024. Disponível em: <https://ccci.berkeley.edu/states-climate-action-map>. Acesso em: 8 ago. 2023.

3.1.3 Estratégias de implementação

O recente pacote climático dos EUA visa reduzir as emissões de GEE, acelerar a produção e a implantação de energia limpa e criar empregos bem remunerados que fortaleçam a economia. A NDC, por exemplo, destaca três estratégias prioritárias: (i) descarbonização do setor de energia, por meio da redução do desperdício, mudança para eletricidade 100% limpa, eletrificação e melhoria da eficiência de veículos, edifícios e partes da indústria, e ampliação de novas fontes de energia, como o hidrogênio (de fontes limpas); (ii) redução das emissões de agricultura e florestas, assim como aumento de sumidouros de carbono através de programas e medidas que abrangem desde florestas e solos agrícolas até rios e costas; e (iii) redução de metano, hidrofluorcarbonetos e outros gases de efeito estufa.

No que tange especificamente à indústria, a Tabela 2 destaca os temas prioritários, seu arcabouço regulatório e as medidas de implementação no curto, médio e longo prazo que norteiam o futuro do setor.

Tabela 2 - Medidas prioritárias dos EUA para o setor industrial considerando o pacote climático

Objetivos	Medidas de implementação
Iniciativas e Investimentos históricos para reduzir as emissões industriais	<p>Apoio a pesquisa, desenvolvimento e implementação de inovações industriais de baixo carbono, incluindo a captura de carbono e o uso de hidrogênio limpo de fontes renováveis, nucleares, ou resíduos para alimentar instalações industriais. Para estimular o mercado dessas soluções, o governo utilizará seu poder de compra para promover produtos industriais de baixo ou zero emissão de carbono.</p> <p>Elevados investimentos a partir do IJJA, além de novos créditos fiscais para desenvolvimento e expansão da produção nacional de hidrogênio; IRA focado em instalações industriais mais limpas para produção de aço, ferro, cimento e outros materiais energo-intensivos.</p>
Plano de Ação para Redução de Emissões de Metano	<p>Contém mais de 50 ações e US\$ 20 bilhões em novos investimentos em diversas agências para reduzir as emissões de metano do setor de petróleo e gás, minas de carvão abandonadas, aterros sanitários, agricultura, edifícios, entre outros.</p>
Iniciativas para redução de outros gases que não o CO₂, como metano, óxido nitroso e os gases fluorados	<p>Fomento para ampliação do monitoramento e controle de gases provenientes de operações industriais, incluindo metano, gases fluorados, carbono negro e outros potentes gases de efeito estufa de curta duração.</p> <p>Os Estados Unidos finalizaram regulamentos para reduzir gradualmente a utilização de gases fluorados, consistentes com as obrigações da Emenda de Kigali ao Protocolo de Montreal. O <i>American Innovation and Manufacturing (AIM) Act</i> busca reduzir gradualmente a produção e o uso de hidrofluorcarbonetos, e combater as emissões de metano. Além disso, o país irá atualizar padrões e investir na prevenção de vazamentos em poços, minas e na infraestrutura de distribuição de gás natural, além de incentivos para aumentar a eficiência na agricultura.</p>

<p>Eliminação progressiva de hidrofluorcarbonetos</p>	<p>Foco na eliminação progressiva de hidrofluorcarbonetos encontrados em refrigeradores, aparelhos de ar-condicionado e outros equipamentos, com ações de todas as agências para reduzir as emissões de HFC em 85% ao longo de 15 anos, reforçando simultaneamente a produção nacional de alternativas.</p>
<p>Implantação responsável de tecnologias de captura, utilização e sequestro de carbono (CCUS)</p>	<p>Criação de guias para ajudar as agências a garantir que os projetos sejam ambientalmente corretos; criar empregos sindicais e reduzir a emissão cumulativa nas comunidades próximas. O guia identifica medidas para facilitar avaliações ambientais robustas de projetos CCUS e incentiva análises do ciclo de vida, disponíveis ao público.</p>
<p>Ampliação das parcerias para redução de emissões industriais</p>	<p>O programa <i>Better Buildings, Better Plants</i> e o lançamento do <i>Low Carbon Pilot</i> do Departamento de Energia cobre cerca de 3.600 instalações que representam quase 14% da pegada industrial dos EUA. O objetivo foi demonstrar como alcançar reduções operacionais de emissões em edifícios e fábricas por meio do compartilhamento de melhores práticas. As estratégias incluíram construção e gestão ultra eficientes em termos energéticos, seguidas por uma combinação de instalação de energias renováveis no local, soluções interativas na rede e investimento ou compra de energias renováveis de fontes externas.</p> <p>Muitas regiões estão a centrar incentivos em torno de clusters industriais, como <i>H2Houston Hub</i>, <i>National Capital Hydrogen Center</i> e <i>Ohio Clean Hydrogen Hub</i>, permitindo que as instalações industriais colaborem em planos de descarbonização e na construção de infraestruturas de apoio. A formação de tais hubs se deve principalmente aos mais de US\$8 bilhões de investimento a partir do IJA: <i>Clean hydrogen initiatives</i>.</p>
<p>Fabricação doméstica limpa e avançada</p>	<p>Inclui novos compromissos para recompensar os fabricantes americanos de aço e alumínio verdes; a <i>Buy Clean Initiative</i> para compras federais de materiais de construção de baixo carbono; o primeiro plano do governo dos EUA para construir uma Base Industrial do Setor de Energia - <i>Securing America's Clean Energy Supply Chain</i>; e Roteiro de Descarbonização Industrial (DOE, 2022).</p>

Fonte: US GOV (2023b; 2023c; 2023d)

Por sua vez, o setor de energia também tem efeitos diretos e indiretos na Indústria. Investimentos estão direcionados estrategicamente na geração e consumo de energia limpa, incluindo incentivos e créditos fiscais da IRA que projetam duplicar a implantação de tecnologias de armazenamento de baterias, solar e eólica; no apoio à eletricidade limpa em áreas rurais; e bilhões de dólares da Lei de Infraestrutura Bipartidária são direcionados para construção e melhorias na rede de energia. Além disso, as ações também apoiam a produção nacional de tecnologias por meio da Lei de Produção

de Defesa (*Defense Production Act*) para fabricação de painéis solares, componentes críticos da rede elétrica, bombas de calor, entre outras tecnologias para energia limpa.

É importante destacar que, embora existam esforços para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação por parte do governo – por exemplo, na concepção de semicondutores, transmissão de eletricidade eólica offshore e na produção de hidrogênio limpo – a maior parte dos esforços será realizada por instituições que maximizam os lucros. Estas instituições receberão, por exemplo, apoio parcial sob a forma de (i) subvenções, empréstimos, créditos fiscais de investimento e produção; (ii) expansão de infraestruturas complementares, como redes de carregamento de veículos elétricos ou fornecimento de urânio de alto teor e baixo enriquecimento; e, (iii) em alguns casos, como os veículos elétricos, através de incentivos à demanda de famílias e empresas. Os efeitos desta nova estratégia já são visíveis, com grandes projetos de investimento de capital do setor privado anunciados ou iniciados em materiais e fabricação de baterias, veículos elétricos, painéis solares e fabricação de semicondutores. A implementação contínua das mudanças políticas contidas na legislação tem o potencial de transformar setores-chave da economia dos EUA e proporcionar ganhos significativos (CAP, 2023).

Uma série de ações de curto prazo estão sendo rapidamente implementadas nos Estados Unidos. Essas ações são lideradas tanto pelo governo federal quanto por governos subnacionais e organizações não governamentais. A forma como essas medidas são definidas e implementadas coloca os Estados Unidos em uma posição vantajosa para determinar as ações adicionais necessárias para atingir as metas de longo prazo até 2050. Embora as estratégias tecnológicas e as metas para 2030 sejam bem compreendidas, existe incerteza sobre como a tecnologia e os setores evoluirão após esse período.

Para orientar as decisões sobre quais políticas e medidas implementar, levando em consideração o alcance das metas para 2030 e 2035, bem como a visão de longo prazo, o governo dos Estados Unidos tem realizado análises detalhadas das diferentes rotas de descarbonização e suas tecnologias, assim como os percentuais de redução de emissões de GEE de cada setor, formulando, entre outros documentos, a Estratégia de Longo Prazo (US GOV, 2023c) e o Roteiro de Descarbonização Industrial (DOE, 2022).

3.1.4 Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização

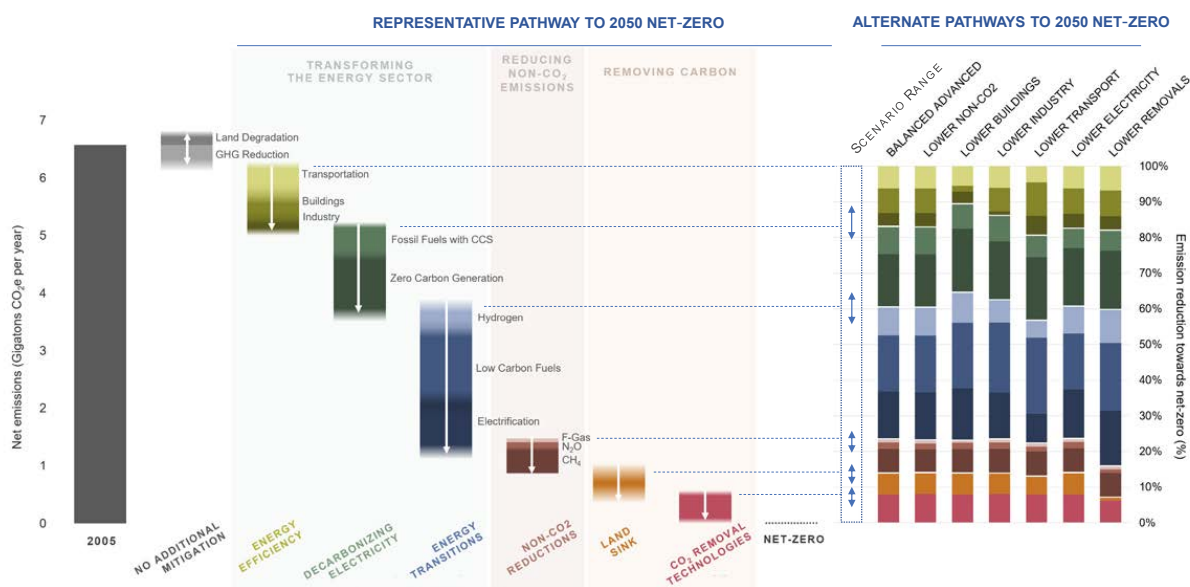
Alcançar 100% de eletricidade limpa até 2035 eliminará as emissões provenientes da rede pela indústria e tornará possível a eletrificação “neutra” de certos processos industriais que são atualmente dominados pelos combustíveis fósseis. O calor de processo de baixa e média temperatura também é um forte candidato à eletrificação industrial no curto prazo através do aumento do uso de bombas de calor industriais, caldeiras elétricas ou processos de aquecimento eletromagnético (US GOV, 2023c). Também são necessárias tecnologias adicionais e processos inovadores para abordar outras emissões industriais, incluindo calor a alta temperatura e emissões de processos provenientes da produção de aço, petroquímica e cimento (indústrias de difícil abatimento) (US GOV, 2023c).

Neste contexto, a Estratégia de Longo prazo (LTS) se baseia na análise do perfil geral de emissões dos EUA mais recente (ano de 2021) e de 2050, sob um conjunto de hipóteses sobre a evolução dos custos tecnológicos, crescimento econômico entre outros fatores. Foram usados modelos para

toda a economia (GCAM - *Global Change Analysis Model* e OP-NEMS - *Office of Policy – National Energy Modeling System*), cenários de sensibilidade, modelos suplementares³ para setores-chave, e revisão de literatura que abordaram rotas para emissões líquidas zero. As simulações e as análises de sensibilidade ilustram como seriam os possíveis caminhos para a neutralidade em 2050 e como esses diferentes caminhos afetariam a evolução de setores específicos e as taxas de implantação de tecnologias específicas (Figura 4).

Ou seja, o caminho representativo destaca esforços com elevado nível de ação de todos os setores conjuntamente, já os sete caminhos alternativos se baseiam em diferentes suposições sobre como as tecnologias e as políticas evoluem ao longo do tempo e podem variar setor a setor, fazendo com que um contribua mais que o outro na redução das emissões.

Figura 4 - Caminho representativo para a meta de *net-zero* em 2050 (esquerda); caminhos alternativos para o *net-zero* em 2050 (direita)



Fonte: DOE (2022)

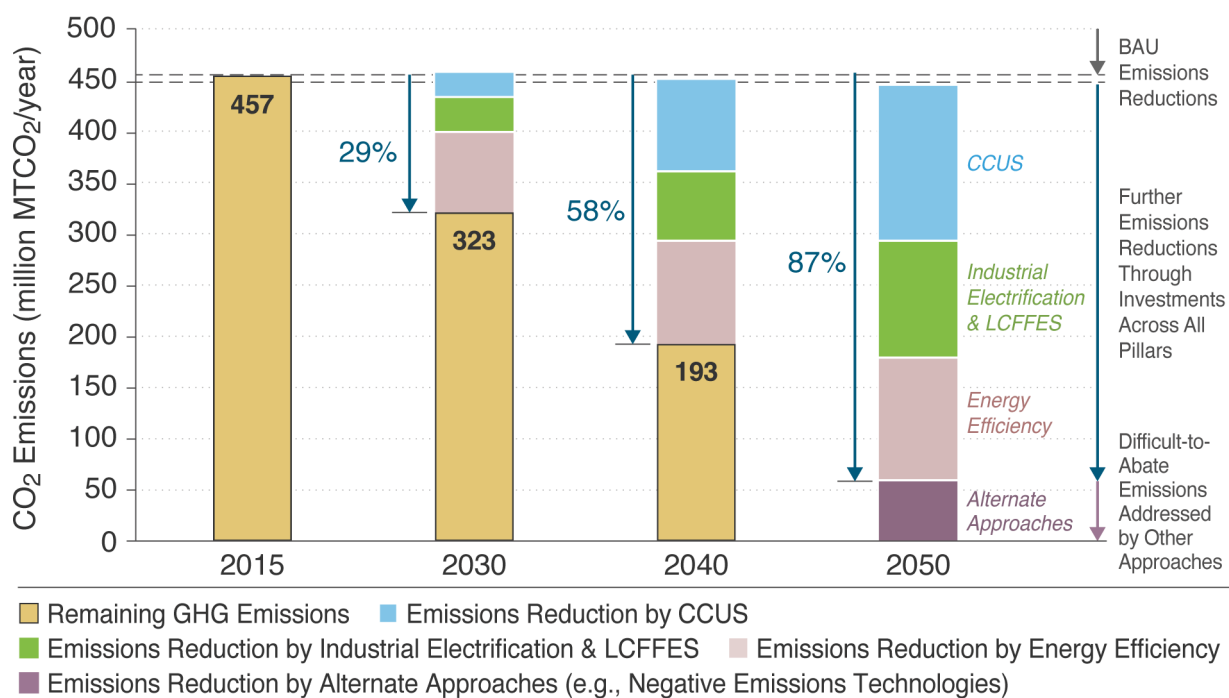
Conforme a Estratégia, a redução das emissões líquidas para 2050 pode resultar de combinações de cinco principais ações: melhorar a eficiência energética; descarbonizar a eletricidade; mudar para combustíveis limpos e fomentar transições energéticas; aumentar a remoção e sequestrar carbono através de florestas, solos e tecnologias de remoção de CO₂; e reduzir as emissões de outros gases.

³ U.S. EPA Non-CO₂ Marginal Abatement Cost Model and Report; U.S. Department of Agriculture Forest Service Resources Planning Act (RPA) modeling system; Forestry and Agriculture Sector Optimization Model with Greenhouse Gases (FASOM-GHG); Global Timber Model (GTM)

Observa-se, portanto, que grande parte das reduções de emissão vem da descarbonização da eletricidade, eletrificação e do uso de combustíveis de baixo carbono e hidrogênio (US GOV, 2023d).

Já a análise do Roteiro de Descarbonização Industrial se concentra nas emissões do setor relacionadas com combustíveis e eletricidade, no entanto, também destaca a importância de reduzir as emissões do ciclo de vida dos processos e dos produtos. Para tanto, o Roteiro elenca cinco subsetores energo-intensivos (responsáveis por mais de 50% das emissões) nos quais os esforços de descarbonização podem ter maior impacto, descrevendo um plano multidimensional por meio de modelagem baseada em quatro pilares para reduzir suas emissões (Figura 5). Os subsetores críticos são ferro e aço; cimento; alimentos e bebidas; químicos; e refino de petróleo. Os quatro pilares são eficiência energética; eletrificação industrial; uso de combustíveis, matérias-primas e fontes de energia com baixo teor de carbono (do inglês, *low-carbon fuels, feedstocks, and energy sources* - LCFES); e utilização de CCUS (DOE, 2022).

Figura 5 - Potencial de redução de emissões de CO₂ (milhões de toneladas) através da aplicação dos pilares de descarbonização para os subsetores⁴



⁴ Esta análise não inclui uma avaliação completa do ciclo de vida “do berço ao portão” ou “do berço ao túmulo” das emissões de CO₂ associadas aos produtos fabricados nas indústrias consideradas. A modelagem não incluiu emissões de CO₂ a montante e a jusante, emissões de CO₂ de processo (exceto na produção de cimento), emissões de CO₂ incorporadas em materiais de entrada (incluindo materiais importados) ou as contribuições de gases como metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

A Figura destaca caminhos tecnológicos até 2050 para reduzir em até 87%, ou quase 400 milhões de toneladas de CO₂ por ano, as emissões dos cinco subsetores estudados. Mesmo com a busca rigorosa da eficiência energética, implementação acelerada da eletrificação, LCFES e captura de carbono, os GEE substanciais provenientes de processos de difícil abatimento permanecerão, e para isso, serão necessárias medidas alternativas de mitigação, como o DAC (do inglês, *Direct air capture*) ou outras tecnologias de emissões negativas, para então alcançar as emissões líquidas zero. O estímulo ao P&D se faz necessário para os avanços dessas tecnologias e para torná-las viáveis econômica e tecnicamente. Assim, estima-se que, com a aplicação de medidas alternativas, como tecnologias de emissões negativas, pode ser evitado um total de 457 milhões de toneladas de emissões anuais de CO₂ (DOE, 2022).

Cabe ressaltar que o documento também enfatiza que outras estratégias e setores poderiam ser examinados, porém, devido às limitações, serão abordados futuramente. São eles os setores de papel e celulose, alumínio, vidro, mineração, construção, entre outros. Segundo o DOE, aplicando os setores mencionados anteriormente e o conjunto de estratégias discutidas, porém não modeladas no roteiro atual, como por exemplo as oportunidades do uso de biomassa e da economia circular, as emissões evitadas poderiam atingir aproximadamente 700 milhões de toneladas de CO₂ por ano até 2050 – cerca de 50% dos 1.360 milhões de toneladas do total de emissões relacionadas com o uso final de energia no setor industrial no ano de 2020 (DOE, 2022).

Para cada pilar, o roteiro identifica as principais barreiras e oportunidades, bem como as principais necessidades de P&D, resultando em um plano de ação integrado para as cinco indústrias que fazem utilização intensiva de energia. A Tabela 3 destaca as principais conclusões, necessidades e oportunidades tecnológicas (também olhando para os cenários desenvolvidos), ao mesmo tempo em que considera a necessidade de manter e melhorar a competitividade industrial dos EUA.

Tabela 3 - Principais conclusões, necessidades e oportunidades tecnológicas do Roadmap dos EUA

Subsetor	Principais conclusões
Ferro e Aço	<ul style="list-style-type: none"> • No cenário de emissões de GEE quase nulas, as emissões de GEE da indústria siderúrgica dos EUA podem cair para quase zero em 2050, enquanto sua produção aumenta 12%. • Mais de 2/3 da redução das emissões de GEE advêm da melhoria da eficiência energética e da mudança para combustíveis e eletrificação com baixo ou zero carbono. • São necessárias medidas agressivas de P&D e aquisições de tecnologias transformadoras, como a produção de aço à base de hidrogênio, a eletrólise do minério de ferro e o uso de CCUS. • A demanda por hidrogênio limpo e eletricidade com baixo teor de carbono na produção aumentará significativamente até 2050. São necessários esforços de P&D para melhorar a eficiência dos eletrolisadores.

Químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Múltiplas oportunidades transversais incluem processos de calor; separações; utilização de hidrogênio, biomassa ou resíduos como combustível ou matéria-prima; Integração de CCUS; armazenamento térmico e elétrico; e circularidade de materiais e eficiência atômica. • Oportunidades específicas de processos incluem transferência de energia sem contato (por exemplo, acústica e plasma), transferência elétrica e escalonamento de processos eletroquímicos. • Avançar na utilização de fontes de energia variáveis (por exemplo, energia solar e eólica) para fazer a transição das fontes atuais para fontes de baixo carbono é uma oportunidade inicial. • É necessário aumentar a eficiência do eletrolisador para avançar nos processos eletroquímicos. • A eficiência dos sistemas e a pesquisa de fabricação inteligente precisam ser estendidas a vários processos para instalações químicas integradas.
Alimentos e Bebidas	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisas são necessárias para eletrificação do processo de aquecimento (especialmente para fornos), caldeiras elétricas e híbridas, e eletrificação de processos de evaporação e pasteurização. • Questões relacionadas com a segurança e a qualidade na produção de alimentos e bebidas precisam ser endereçadas através do apoio a estudos sobre os impactos da mudança tecnológica nos produtos finais. • Para reduzir desperdícios significativos, é necessário P&D em práticas e tecnologias de processamento de alimentos e bebidas para prolongar a vida útil dos produtos. Há também necessidade de pesquisas que se concentrem em redução do volume de resíduos de embalagens, oportunidades de reciclagem e visibilidade das cadeias de abastecimento.
Refino de Petróleo	<ul style="list-style-type: none"> • Cinco processos de refino energo-intensivos (hidrocraqueamento, destilação atmosférica, craqueamento catalítico, reforma a vapor do metano e reforma catalítica regenerativa) são responsáveis pela maior parte das emissões de CO₂ do refino nos EUA e representam as oportunidades de P&D mais econômicas para reduzir as emissões desses processos. • As refinarias e os mercados de combustíveis para transportes estão altamente integrados, com 35% do total das emissões de CO₂ relacionadas com a energia originando-se de refinarias e sendo liberadas como emissões de “escapamento de veículos” quando os combustíveis são consumidos no transporte. • A produção de combustíveis líquidos com baixas emissões de GEE é uma oportunidade para construir novos processos nas refinarias com menor intensidade de carbono e, ao mesmo tempo, descarbonizar os transportes e os químicos.

Cimento	<ul style="list-style-type: none"> • No cenário de emissões de GEE quase nulas, as emissões de GEE da produção de cimento nos EUA podem diminuir para quase zero em 2050, enquanto sua produção aumenta 46%. • Cerca de 65% da redução total das emissões de GEE necessário para chegar perto de zero em 2050 advém da adoção do CCUS. • São necessários esforços agressivos para P&D, projetos piloto, implantação e aquisição de CCUS e produtos químicos inovadores (principalmente substituindo o clínquer por materiais cimentícios suplementares para a produção de cimento) para atingir a meta de zero emissões líquidas de GEE até 2050.
----------------	--

Fonte: Adaptada de DOE (2022)

Por fim, o roadmap fornece recomendações (Tabela 4), oportunidades de investimento em P&D, e ações de curto e longo prazo transversais aos setores (Figura 6) para alcançar uma descarbonização profunda. Junto com a publicação, o Departamento de Energia (DOE) também anunciou uma oportunidade de financiamento⁵ de US\$ 104 milhões para promover tecnologias de descarbonização industrial:

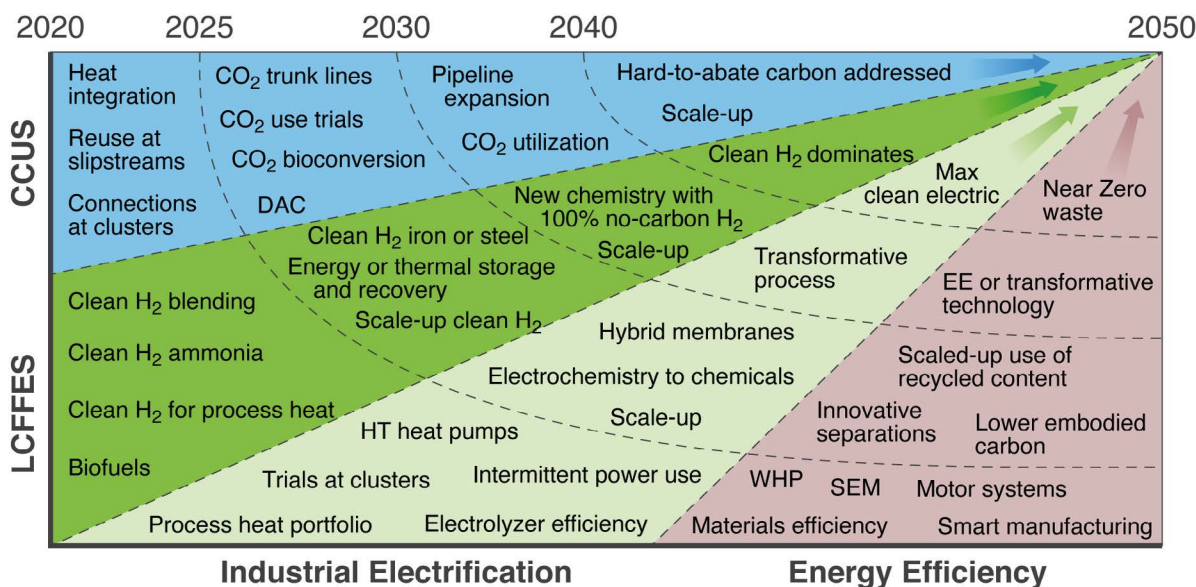
Tabela 4 - Recomendações do Roteiro de Descarbonização Industrial dos Estados Unidos

Recomendação	Descrição
Avançar em P&D em estágio inicial	É necessária mais ciência aplicada para emissões líquidas zero de carbono até 20
Investir em múltiplas estratégias de processo	Avançar nos caminhos paralelos de eletrificação, eficiência energética, combustíveis de baixo carbono, CCUS e novas alternativas. Oportunidades em estágio inicial (por exemplo, soluções de calor de processo ou eficiência do eletrólise para produzir hidrogênio a partir de energia de baixo carbono) podem preparar o cenário para transformações posteriores e ter impactos transversais em outros pilares e subsetores (Fig.6).
Dar escala por meio de testes e demonstrações	Apoiar ambientes de teste e demonstração (por exemplo, <i>sandbox</i>) para acelerar e eliminar riscos de implantação.
Endereçar os processos de aquecimento	A maioria das emissões industriais provém da combustão de combustível para obter calor.
Integrar soluções	Focar no impacto das tecnologias de redução de carbono na cadeia de abastecimento.
Realizar modelagem/ análises de sistemas	Expandir o uso de análises técnico-econômicas e de ciclo de vida (ACV).

Fonte: Adaptada de DOE (2022)

⁵ ENERGY.GOV. **Biden-Harris Administration Announces \$135 Million to Reduce Emissions Across America's Industrial Sector.** 15 jun. 2023. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-135-million-reduce-emissions-across-americas>. Acesso em: 8 ago. 2023.

Figura 6 - Cenário de oportunidades de investimento em P&D para descarbonização industrial em todos os subsetores por década e pilar de descarbonização – ações transversais aos setores.



Fonte: DOE (2022)

3.2 ROADMAP INDUSTRIAL DA UNIÃO EUROPEIA

3.2.1 NDC e Metas setoriais

As emissões da União Europeia (UE) representam cerca de 6,3% das emissões globais de GEE (Climate Watch, 2023). Em sua NDC, apresentada em outubro de 2023, o bloco se comprometeu a (UNFCCC, 2023):

- Reduzir suas emissões líquidas GEE em pelo menos 55% até 2030, em relação a 1990;
- Atingir as emissões líquidas zero (*net-zero*) até 2050⁶.

Em relação à cobertura, a NDC cobre os setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, na sigla em inglês para *Industrial Processes and Product Use*), Agricultura, Resíduos e Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, na sigla em inglês para *Land use, Land use change and Forestry*). Neste sentido, é importante destacar que as metas de redução de emissões da atual legislação advêm de um conjunto de medidas de origem regulatória e foram divididas entre os setores cobertos pelo Sistema de Comércio de Emissões Europeu (EU ETS, na sigla em inglês para *European Union Emissions Trading System*), como eletricidade, indústria e aviação doméstica; setores cobertos

⁶ Com exceção da Alemanha, que estabeleceu metas mais ambiciosas do que as do bloco da União Europeia. A Lei do Clima alemã define como meta reduzir as emissões de GEE em pelo menos 65% até 2030, em comparação com 1990, e atingir a neutralidade em 2045. Ver: ALEMANHA. **Intergenerational contract for the climate**. jun. 2021. Disponível em: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/climate-change-act-2021-1936846>. Acesso em: 8 ago. 2023.

pelo Regulamento Partilha de Esforços⁷ (*Effort Sharing Regulation*), como transportes, edifícios, agricultura, indústrias não cobertas pelo ETS e resíduos; e as emissões e remoções relacionadas ao setor LULUCF.

Uma série de regulamentos foi apresentada na NDC como forma de reforçar medidas previamente estabelecidas e/ou que serão revisadas, de modo a conduzir o bloco para o atingimento de suas metas. Entre algumas metas setoriais posteriores à NDC, estão (Climate Tracker, 2023):

- Aumentar as metas de redução de emissões de 43% para 62% até 2030, em comparação aos níveis de 2005, no âmbito do EU ETS, que contempla as emissões provenientes de eletricidade, indústria, e aviação doméstica;
- Expandir o escopo do EU ETS incluindo edifícios e transportes em um regime paralelo a partir de 2027, sem alocações gratuitas, e contribuir para reduções de emissões de 42% até 2030 nos setores abrangidos, tendo como referência o ano de 2005.
- Aumentar para 40% a meta de redução das emissões de GEE para 2030 nos setores de transportes (exceto aviação), edifícios, agricultura, resíduos e pequenas indústrias - Regulamento Partilha de Esforços (*Effort Sharing Regulation*);
- Reduzir o consumo final de energia da UE em 11,7% em 2030;
- Aumentar para 42,5% a meta de energias renováveis na matriz energética para 2030, com o objetivo de alcançar 45%; e
- Atingir, até 2030, remoções líquidas de 310 MtCO₂e do setor LULUCF (inclui todas as emissões e remoções comunicadas para todas as terras geridas na União Europeia).

Cabe ressaltar que o Regulamento Partilha de Esforços estabelece para cada Estado-Membro da UE uma meta nacional para a redução das emissões até 2030 nos setores não cobertos pelo EU ETS, que somados às emissões cobertas por esse regulamento representam quase 60% do total das emissões de GEE de hoje da UE. Com as suas novas metas nacionais (Tabela 5), os países contribuirão coletivamente para uma redução das emissões, nos setores da partilha de esforços, de 40%, em comparação com os níveis de 2005. Um ponto importante para a implementação das metas individuais é que o regulamento reconhece as diferenças de capacidade e rendimentos de cada país, diferenciando as metas de acordo com o Produto Interno Bruto (PIB) per capita entre eles. Para garantir isonomia e evitar que as metas de alguns Estados-Membros aumentem muito mais do que a meta coletiva, o regulamento impõe limites percentuais de aumento (EC, 2023c).

⁷ EUROPEAN COMMISSION. **Effort sharing 2021-2030: targets and flexibilities**. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets/effort-sharing-2021-2030-targets-and-flexibilities_en. Acesso em: 8 ago. 2023.

Tabela 5 - Redução das emissões de GEE dos Estados-Membros em 2030 (ref. 2005) em conformidade com o Regulamento Partilha de Esforços

Bélgica	-47%	Grécia	-22,7%	Lituânia	-21%	Portugal	-29%
Bulgária	-10%	Espanha	-37,7%	Luxemburgo	-50%	Romênia	-13%
República Tcheca	-26%	França	-47,5%	Hungria	-19%	Eslovênia	-27%
Dinamarca	-50%	Croácia	-16,7%	Malta	-19%	Eslováquia	-23%
Alemanha*	-50%	Itália	-43,7%	Holanda	-48%	Finlândia	-50%
Estônia	-24%	Chipre	-32%	Áustria	-48%	Suécia	-50%
Irlanda	-42%	Letônia	-17%	Polônia	-18%		

Fonte: Adaptado de EC (2023c)

Contudo, diferente dos Estados Unidos⁸, a União Europeia detalha de forma mais clara as políticas e metas percentuais estipuladas para cada setor em sua NDC, e apesar de não detalhar como as medidas serão implementadas, aponta os guias, iniciativas e regulações vinculadas em sua parte introdutória do documento oficial. A NDC ainda cita a possibilidade de futuras alterações das regulações vigentes à época e inclusão do modo como as metas seriam alcançadas - o que veio a ser colocado em prática posteriormente, com a vigência da Lei do Clima da Europa, o lançamento do Pacote “*Fit to 55*” e demais políticas que visam a implementação das medidas estipuladas pela NDC, e que serão abordadas a seguir.

Tais mudanças fortaleceram o mais recente anúncio do bloco e as expectativas para nova atualização da NDC. A União Europeia se comprometeu a cortar 90% de suas emissões líquidas de gases de efeito estufa até 2040, de forma a facilitar o atingimento da neutralidade climática em 2050. Aqui, destaca-se o planejamento do bloco em investir em tecnologias de captura e armazenamento de carbono (EC, 2024).

3.2.2. Política pública e planos setoriais

Em 2019, a Comissão Europeia apresentou o European Green Deal (EGD), com o objetivo de transformar a economia da UE de forma sustentável frente aos desafios climáticos e as oportunidades em diferentes áreas, ao mesmo tempo em que busca uma transição justa e inclusiva. Em 2021 entrou em vigor a Lei do Clima da Europa (*European Climate Law*) reforçando a busca da neutralidade em 2050, e junto dela, um conjunto de regulações, diretrizes e pacotes, como o pacote “*Fit to 55*” (ou “Objetivo 55”) que visa fortalecer os objetivos do bloco e tornar realidade os objetivos do EGD (Figura 7).

⁸ Conforme previamente mencionado, os EUA apresentam os objetivos para cada setor em sua NDC sem estipular metas concretas de redução percentual, e fazem uso de *Roadmaps* e planos setoriais para este detalhamento.

Figura 7 - Instrumentos para o atingimento dos objetivos do *European Green Deal (Fit to 55)*.

Fonte: adaptado de EC (2023b)

O EGD desempenha seu papel central em conjunto com uma série de medidas e um arcabouço regulatório que atravessam o setor da Indústria e se debruçam sobre elementos-chave para atingimento das metas, como:

- **Clean Energy for all Europeans package⁹ (2019):** composto por leis e iniciativas que visam intensificar a descarbonização do sistema energético e atingir as metas para 2030 (ECA, 2023). Entre os regulamentos do pacote, o Regulamento relativo à Governança da Energia e Ação Climática (EU 2018/1999) introduziu a obrigação de que os Estados-Membros adotem seus Planos Nacionais Energia e Clima (PNEC¹⁰), definindo políticas para 2021-2030 e conjuntamente alcançarem as metas do bloco europeu. Anualmente a Comissão Europeia acompanha os progressos com base nos relatórios dos Estados-Membros (EC, 2023);
- **Made in Europe Partnership¹¹ (2021):** reúne os principais intervenientes da indústria transformadora e dos ecossistemas industriais europeus, provenientes do meio acadêmico, indústria, organizações não governamentais e do setor público. Seus principais objetivos são alcançar a manufatura circular e neutra, implementar a transformação digital da manufatura; e reforçar a posição global da UE em termos de competitividade, produtividade e liderança tecnológica, além de aumentar o número e a atratividade dos empregos, e a sustentabilidade;
- **Deforestation Law (2023):** lei que proíbe a venda de produtos oriundos de desmatamento, em outras palavras, ela obriga as empresas a garantir que os produtos vendidos na UE não tenham vindo de áreas desmatadas ou degradadas (EU, 2023b);

9 EUROPEAN COMMISSION. **Clean energy for all Europeans package**. 2019. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_pt. Acesso em: 08 ago. 2023.

10 Instrumento de política nacional que visa a definição de linhas estratégicas de atuação para a próxima década rumo à neutralidade carbônica, alinhado com as definições do Roteiro para a Neutralidade 2050. Todos os Estados-Membros publicaram PNECs para demonstrar como contribuiriam para os objetivos climáticos da UE para 2030 e 2050. EUROPEAN COMMISSION. **National energy and climate plans (NECPs)**. Disponível: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

11 EUROPEAN COMMISSION. **Made in Europe**. 2019. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2020-09/ec_rtd_he-partnership-made-in-europe.pdf. Acesso em: 08 ago. 2023.

A União Europeia se posiciona como líder climática na cena mundial, no entanto, se observa a ausência de medidas de transição específicas da indústria na sua NDC atualizada. Embora a NDC estabeleça ligações entre a indústria, não há referências explícitas ou medidas. Entretanto, o EGD e o pacote *Fit to 55* fornecem uma série de medidas de apoio à transição industrial, incluindo o reforço para o EU ETS e a introdução de um Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (*EU's Carbon Border Adjustment Mechanism - CBAM*), entre outras medidas setoriais (EC, 2023). Além disso, os Estados-Membros também estão introduzindo medidas nacionais para sua transição industrial, como a Alemanha, a Dinamarca e a França, que já apresentam detalhamento (LEADIT, 2021).

- ***The Fit for 55 package (2021)***: conjunto de propostas destinadas a rever, atualizar a legislação da UE, e implementar novas iniciativas alinhadas aos objetivos climáticos acordados pelo Conselho e Parlamento Europeu, conforme Figura 7. Ele contempla: revisão do ETS Europeu e incremento de ETS para transportes e edifícios; implementação do fundo social; implementação do Mecanismo de Ajuste de Fronteira de Carbono (CBAM); mudanças da Partilha de Esforços; incremento da meta de LULUCF; introdução de metas progressivas para redução de emissões para carros e vans a nível da UE; novas regras para as emissões de metano; introdução do *ReFuelEU Aviation* que visa reduzir a pegada ambiental do setor da aviação; *FuelEU* que visa reduzir a intensidade de GEE da energia utilizada a bordo dos navios; implementação do regulamento de infraestrutura para combustíveis alternativos (AFIR); e revisão dos regulamentos relativos à tributação da eletricidade, energias renováveis, e eficiência energética (EC, 2023).
- ***Green Deal Industrial Plan (2023)***: lançado em fevereiro de 2023, o plano busca complementar os esforços do Green Deal, aumentar a competitividade do setor, e apoiar a rápida transição para a neutralidade climática. Ele se baseia em quatro pilares, são eles: ambiente regulatório previsível e simplificado; acesso acelerado ao financiamento (por exemplo, *REPowerEU*, *InvestEU*, *Innovation Fund*, *European Sovereignty Fund*); aprimoramento de habilidades, e cooperação mundial e abertura do comércio para cadeias de suprimento resilientes (EC, 2023e). Sob o guarda-chuva do Plano, estão:
 - ***Lei da Indústria Net Zero - Net zero Industry Act (2023)***: visa expandir a capacidade de produção de tecnologias com emissões líquidas zero na UE e aumentar a resiliência do seu sistema energético. Para isso, estabelece um quadro regulatório para cobrir a fabricação nacional de pelo menos 40% das tecnologias de baixo carbono. A lei identifica oito tecnologias estratégicas que foram escolhidas por meio de três critérios de avaliação: (i) seu nível de prontidão tecnológica; (ii) sua contribuição para a descarbonização e competitividade; e (iii) existência de um risco de segurança no fornecimento. O Conselho da União Europeia a aprovou definitivamente em Maio de 2024. As novas regras facilitarão as condições de investimento em tecnologias ecológicas (i) simplificando os procedimentos de licenciamento; (ii) apoiando projetos estratégicos, com base em critérios específicos que contribuam para a descarbonização; (iii) facilitando o acesso aos mercados de produtos tecnológicos neutros em carbono; (iv) definindo regras para os incentivos públicos; e (v) reforçando as competências da mão de obra europeia (EC, 2024b).

- **Lei de matérias-primas críticas** - *Critical Raw Materials Act* (2023): busca reforçar todas as fases da cadeia de valor de matérias-primas críticas da EU, ampliando o acesso do bloco às cadeias de suprimento, aprimorando a capacidade de extrair, refinar, processar e reciclar matérias-primas críticas, em busca da redução das dependências de importação e da melhoria a capacidade de monitorar riscos na cadeia de fornecimento e sustentabilidade (EU, 2023f);
- **Reforma do mercado da eletricidade (2023)**: tem como objetivo proteger os cidadãos de picos de preço, acelerar a utilização de fontes de energia renováveis e tornar o bloco mais independente em termos de fornecimento de energia (EC, 2023e).

3.2.3. Estratégias de implementação

A descarbonização industrial da UE foca principalmente em medidas para alavancar sua vantagem competitiva através de investimentos em tecnologias limpas com foco na neutralidade climática. Neste sentido, é importante destacar o papel de cada Estado-membro e suas ações individuais mediante a meta do bloco como um todo. De acordo com a regulação (UE 2018/1999), os Estados-Membros são obrigados a adotar Planos Nacionais de Energia e Clima (PNEC) a cada dez anos, contemplando cinco dimensões: descarbonização; eficiência energética; segurança energética; mercado interno de energia; pesquisa, inovação e competitividade (EC, 2023). Além disso, a mesma regulação exige que os Estados-Membros apresentem suas estratégias nacionais de longo prazo com vista a 2050 (EC, 2023d).

De modo a simplificar a análise do bloco como um todo, serão apresentadas na sequência: (i) as estratégias de implementação do pacote *Fit to 55* (Tabela 6), (ii) as estratégias específicas da indústria de acordo com o *Green Deal Industrial Plan* (Tabela 7), e por fim, (iii) os mecanismos financeiros e de cooperação que integram essas iniciativas para melhorias na indústria. Cabe ressaltar que cada país tem autonomia para detalhar ainda mais seus planos e estratégias.

Tabela 6 - Peças-chave de implementação do pacote *Fit to 55*

Objetivos	Medidas de implementação
Revisão do ETS Europeu	<p>A reforma inclui um limite mais rigoroso para o ETS existente para eletricidade, indústria e aviação, além da introdução gradual do setor marítimo a partir de 2024. Além disso, a eliminação gradual da alocação gratuita para alguns setores industriais será acompanhada pela introdução gradual de um mecanismo de ajuste de carbono na fronteira a partir de 2026.</p> <p>Relativamente ao setor industrial, o EU ETS em sua atual quarta fase cobre os subsetores: usinas de energia e outras instalações de combustão com potência nominal térmica > 20 MW, refinarias de petróleo, fornos de coque e usinas de ferro e aço, bem como produção de cimento, vidro, cal, tijolos, cerâmica, celulose, papel e papelão. Consideram-se também instalações de CCS, produção de produtos petroquímicos, amônia, metais ferrosos e não ferrosos, gesso, alumínio, bem como ácido nítrico, adípico e glioxílico. Por fim, foi proposta a inclusão de um novo ETS (ETS II), abrangendo os setores de transporte rodoviário, construção e combustíveis para determinados setores industriais, como manufatura (ICAP, 2023).</p>
Inclusão do Transporte Marítimo	<p>As emissões de GEE do setor marítimo serão incluídas a partir de 2024 no escopo do EU ETS. Em complemento à inclusão no ETS, o regulamento <i>FuelEU Maritime</i> foi publicado e visa cortar emissões de GEE no transporte marítimo, incentivando o uso de combustíveis sustentáveis.</p> <p>Segundo o regulamento, a partir de 2025, a intensidade de carbono deverá cair 2%, gradativamente ao longo dos anos, até chegar a um corte de 80% em 2050.</p>
Revisão do Setor de Aviação no ETS	<p>As licenças de emissão gratuitas para o setor da aviação serão gradualmente eliminadas e serão implementados leilões completos a partir de 2026. Até 31 de dezembro de 2030, serão reservados 20 milhões de licenças para incentivar o <i>phase-out</i> de combustíveis fósseis. O ETS será aplicável a voos intra-europeus (incluindo voos com partida para o Reino Unido e a Suíça), enquanto o CORSIA será aplicável a voos extra-europeus de e para países terceiros participantes no CORSIA de 2022 a 2027 (<i>clean cut</i>). A transparência das emissões e compensações será monitorada, comunicada e verificada.</p>
Estabelecimento do Fundo Climático Social	<p>Será utilizado pelos Estados-Membros para financiar medidas e investimentos destinados a apoiar famílias vulneráveis, microempresas e utilizadores de transportes, e ajudá-los a lidar com os impactos nos preços de um sistema de comércio de emissão para os edifícios, o transporte rodoviário e outros setores.</p> <p>O fundo será financiado principalmente por receitas provenientes do novo ETS, até um máximo de 65 bilhões de euros, a ser complementado por contribuições nacionais. É estabelecido temporariamente durante o período 2026-2032.</p>

<p>Mecanismo de Ajuste de Fronteira de Carbono (CBAM)</p>	<p>Coloca um preço de carbono nas importações de países de modo a evitar o “vazamento de carbono” (<i>carbon leakage</i>) ou mesmo o encerramento da produção local. O CBAM será implementado de forma gradual, inicialmente afetando um grupo específico de produtos como cimento, ferro e aço, fertilizantes, alumínio, eletricidade e hidrogênio.</p> <p>A partir de 1º de janeiro de 2026, o CBAM entrará em vigor de forma integral. Os importadores deverão declarar anualmente a quantidade de bens importados para a UE no ano anterior e as emissões de gases de efeito estufa associadas. Em seguida, eles deverão entregar o número correspondente de certificados CBAM, cujo preço será calculado com base no preço médio semanal de leilão de permissões do mercado de carbono europeu expresso em €/tonelada de CO₂ equivalente emitido.</p>
<p>Reforma do mercado de eletricidade</p>	<p>Busca eliminar gradualmente a utilização de gás na produção de eletricidade; apresentar medidas que incentivam contratos de longo prazo com produção de energia não fóssil; triplicar a utilização de energias renováveis até ao final desta década.</p>
<p>Revisão do Regulamento LULUCF</p>	<p>Visa garantir que o setor atinja remoções de 310 Mt de CO₂ até 2030, podendo conter certas flexibilidades entre os demais setores. A Diretiva de Energias Renováveis, por exemplo, contém critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis, que afetam o setor LULUCF (EC, 2023c).</p>

Fonte: Adaptada de EUROPEAN COUNCIL (2023)

Tabela 7 - Peças-chave de implementação do *Green Deal Industrial Plan* e iniciativas transversais da UE

Objetivos	Medidas de implementação
<p><i>Zero pollution action plan</i> (Plano de ação poluição zero)¹²</p>	<p>Ações para reduzir os impactos da poluição no meio ambiente e na saúde. O plano de ação envolve, entre outras ações, rever medidas para combater a poluição proveniente de grandes instalações industriais e garantir que sejam consistentes com as políticas climáticas, energéticas e de economia circular.</p>
<p><i>Europe fit for the digital age</i> (Europa preparada para a era digital)¹³</p>	<p>Busca reforçar a soberania digital e estabelecer padrões, em vez de seguir os de outros – com um foco claro nos dados, na tecnologia e nas infraestruturas. Conta com apoio financeiro de EUR 250 bilhões do NextGenerationEU.</p>

12 EC – EUROPEAN COMMISSION. **Zero pollution targets**. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan/zero-pollution-targets_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

13 EC – EUROPEAN COMMISSION. **A Europe fit for the digital age: empowering people with a new generation of technologies**. Disponível em: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

Bioeconomy Strategy (Estratégia de bioeconomia)¹⁴	Aborda a produção de recursos biológicos renováveis e sua conversão em produtos e bioenergia. Tem por objetivo garantir a segurança alimentar, gerir recursos naturais de forma sustentável, reduzir dependência de recursos não renováveis, mitigar e adaptar-se às mudanças climáticas e criar empregos mantendo a competitividade da UE. As subáreas de ação incluem: Investimentos em pesquisa e inovação, reforço para engajamento entre atores, e melhoria dos mercados e da competitividade na bioeconomia. O investimento total chega a EUR 10 bilhões do programa de financiamento para investigação e inovação da UE - <i>Horizon Europe</i> (2021-2027).
Lei da Indústria Net Zero	Estabelece um quadro regulatório para cobrir a fabricação nacional de pelo menos 40% das tecnologias de baixo carbono. O regulamento proposto cria condições favoráveis para a fabricação de tecnologias de baixa emissão através de processos administrativos simplificados e mais curtos, acesso a ambientes favoráveis para testes e treinamentos, acesso facilitado aos mercados e apoio administrativo para acesso a financiamento.
Lei de matérias-primas críticas	<p>Entre as ações prioritárias da lei, estão (i) estabelecer parâmetros de referência até 2030 para as capacidades nacionais de fornecimento (incluindo importação) e consumo; (ii) fomentar a cadeia de fornecimento, por meio da redução de encargos, e simplificação dos procedimentos de licenciamento para projetos de matérias-primas críticas, sendo que alguns desses projetos poderão ter apoio para acesso ao financiamento e prazos de licenciamento mais curtos. Além disso, os países terão de desenvolver programas nacionais para a exploração de recursos geológicos; (iii) preparar e mitigar riscos de fornecimento, por meio de monitoramento, e testes de esforço nas cadeias de suprimento, entre outras ações; (iv) melhorar a sustentabilidade e a circularidade das matérias-primas críticas do mercado doméstico.</p> <p>A lei também tem o objetivo de diversificar as importações de matérias-primas UE, por meio de (i) criação de um “clube” de matérias-primas críticas para países interessados, a fim de fortalecer as cadeias de abastecimento globais; (ii) utilização de acordos comerciais para garantir e diversificar o fornecimento; (iii) expandir a rede de parcerias estratégicas da EU; (iv) combate a práticas comerciais desleais através de forte fiscalização; e (v) buscar trabalhar com os países da UE para a criação de um mecanismo de crédito à exportação da UE para reduzir o risco de investimento no estrangeiro.</p>

¹⁴ EC – EUROPEAN COMMISSION. **Bioeconomy strategy**. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/bioeconomy/bioeconomy-strategy_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

Plano de Ação da economia circular¹⁵

É um dos principais pilares do Green Deal. Foca nas iniciativas ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos, e introduz medidas legislativas e não legislativas que contemplam diferentes áreas e que posteriormente se desenrolaram em novas revisões de leis e planos setoriais. O plano busca: (i) tornar os produtos sustentáveis; (ii) capacitar consumidores e adquirentes públicos; (iii) concentrar-se nos setores que utilizam mais recursos e onde o potencial de circularidade é elevado, tais como eletrônica e Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), baterias e veículos, embalagens, plásticos, têxteis, construção e edifícios, alimentos, água e nutrientes; (iv) garantir menos desperdício; e (v) liderar esforços globais na economia circular. Em 2023 sua estrutura foi revisada, e novos indicadores foram acrescentados, como a pegada de material e produtividade de recursos para monitorar a eficiência do material, e a pegada de consumo, para monitorizar se o consumo da UE se enquadra nos limites do planeta.

O bloco está considerando novos critérios para impedir que as empresas façam alegações enganosas sobre os méritos ambientais dos seus produtos e serviços (*EU Greenwashing Legislation Claims Directive*) e uma proposta sobre regras comuns que promovem a reparação (não substituição) de bens, que resultará em redução de resíduos (*Directive on common rules promoting the repair of goods*).

Fonte: Elaboração própria

As atuais políticas, programas e iniciativas que contribuem para uma política industrial da UE são numerosas, e com elas, a Europa lançou pacotes de financiamento público e privado com intuito de alavancar as tecnologias de descarbonização e manter a competitividade industrial. A maneira como esses recursos vêm sendo distribuídos varia, além dos países somarem com seus próprios recursos. Entre os principais mecanismos financeiros e de cooperação que integram essas iniciativas, estão:

- **Next generation EU¹⁶ (2021):** Plano de recuperação e transformação da economia da UE pós pandemia. Configura-se como um pacote de financiamento de cerca de EUR 806,9 bilhões, cujas prioridades são (i) transição verde e transformação digital, (ii) crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, (iii) coesão territorial e social, (iv) saúde e cadeias de insumos resilientes, e (v) políticas para as gerações futuras, incluindo políticas educacionais e de treinamento.

¹⁵ EC – EUROPEAN ECONOMY. **Circular economy action plan**. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

¹⁶ EC – EUROPEAN ECONOMY. **Recovery and resilience facility**. Disponível em: https://next-generation-eu.europa.eu/recovery-and-resilience-facility_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

- **Horizon Europe¹⁷ (2021-2027):** Principal programa de financiamento de pesquisa e inovação da UE com orçamento que chega a EUR 95,5 bilhões para apoiar a colaboração, a criação e a melhor dispersão de conhecimentos e tecnologias de excelência. Entre os pilares do programa estão excelência científica, desafios globais e competitividade industrial da UE, e Europa inovativa.
- **Clusters¹⁸ e Alianças¹⁹ industriais europeias:** reúnem parceiros de uma determinada indústria ou cadeia de valor para fortalecer a cooperação e a ação conjunta em torno de interesses comuns. Existem mais de 1500 clusters localizados em mais de 200 regiões da UE-27 e representam quase 25% do emprego total da UE. Entre as alianças, encontram-se a Aliança para emissão zero na aviação; Aliança Europeia de Matérias-Primas; Aliança Europeia da Indústria Solar Fotovoltaica; Aliança Europeia de Hidrogênio Limpo; Aliança Europeia de Baterias; Aliança para circularidade da cadeia do plástico; Aliança Europeia para Dados Industriais, Edge e Cloud; Aliança Industrial de Processadores e Tecnologias de semicondutores; Aliança Industrial da Cadeia de Valor de Combustíveis Renováveis e de Baixo Carbono.
- **Green Deal Industrial Plan:**
 - **REPowerEU:** Garantias adicionais de EUR 20 bilhões para serem incluídos em medidas energéticas para reduzir a dependência da Rússia em relação aos combustíveis fósseis; as novas regras incluem a exigência de que pelo menos 30% dos seus investimentos do plano de transição verde sejam gastos em medidas multinacionais. Esta exigência visa reduzir estrangulamentos no transporte, distribuição e armazenamento de energia e também aumentar os fluxos transfronteiriços;
 - **Innovation Fund:** disponibilizará cerca de EUR 40 bilhões em apoio durante o período 2021-2030 para a demonstração comercial de tecnologias inovadoras de baixo carbono, com o objetivo de trazer ao mercado soluções industriais de descarbonização e transição para a neutralidade climática;
 - **InvestEU:** poderá mobilizar mais de EUR 372 bilhões em investimento público e privado através de uma garantia orçamentária da UE de EUR 26,2 bilhões;
 - Além disso, estarão disponíveis financiamento adicional de EUR 20 bilhões em subsídios do Mecanismo de Recuperação e Resiliência (*Recovery and Resilience Facility* - RRF) para projetos de emissões líquidas zero, EUR 5,4 bilhões do *Brexit Adjustment Reserve*, disponíveis para apoiar a transição, e EUR 225 bilhões em empréstimos restantes do RRF.

A aprovação do objetivo de neutralidade climática da União Europeia foi alcançada na sequência de um debate baseado na Visão Estratégica de Longo Prazo (VELP) proposta pela Comissão Europeia em 2018, que analisou todos os setores-chave e explora vias para a transição e alcance da meta em 2050.

17 EC - EUROPEAN COMMISSION. **Horizon Europe**. 2021. Disponível em: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-06/rtd-2021-00013-03-00-pt-tra-01.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

18 EC - EUROPEAN COMMISSION. **Cluster policy**. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/cluster-policy_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

19. EC - EUROPEAN COMMISSION. **Industrial alliances**. 2024. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

O documento submetido à UNFCCC não detalha medidas setoriais, mas destaca o InvestEU, o CBAM, e o anúncio da Comissão Europeia que objetiva facilitar EUR 100 bilhões em investimento através do Mecanismo para uma Transição Justa (UNFCCC, 2020). Já a VELP destaca sete pilares estratégicos: (i) maximizar os benefícios da eficiência energética, incluindo edifícios com emissões zero; (ii) expansão das energias renováveis e utilização de eletricidade para descarbonizar totalmente o fornecimento de energia da Europa; (iii) adotar uma mobilidade limpa, segura e conectada; (iv) uma indústria europeia competitiva e a economia circular como fatores essenciais para a redução das emissões de GEE; (v) desenvolver uma infraestrutura de rede inteligente e interconexões adequadas; (vi) colher todos os benefícios da bioeconomia e criar sumidouros de carbono essenciais; (viii) combater as emissões restantes de CO₂ com CCS. Além disso, aponta para a relevância dos investimentos em P&DI, e destaca que para manter a trajetória dos objetivos climáticos, investimentos adicionais entre EUR 175 e 290 bilhões ao ano deverão ser feitos.

3.2.4. Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização

A velocidade da descarbonização depende da disponibilidade de tecnologia madura e da capacidade de escalar as cadeias de abastecimento. Segundo a McKinsey (2020), por ser o setor mais caro para descarbonizar, a indústria precisaria de tecnologias ainda em desenvolvimento para atingir as emissões líquidas zero até 2050, e mesmo assim, o setor continuaria a gerar algumas emissões residuais que teriam de ser compensadas.

Neste sentido, tanto o Plano Industrial do Green Deal (e suas diretrizes), quanto o CBAM são peças fundamentais na fase de transição industrial, pois buscam proteger a competitividade da indústria europeia, e aportam financeiramente medidas para melhoria de tecnologias existentes, ao mesmo tempo em que promovem a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação. Assim, podemos subdividir as diretrizes tecnológicas diante das iniciativas a seguir:

- Lei da Indústria *Net Zero*: Endereça oito tecnologias prioritárias. São elas o (i) CCUS; (ii) integração do grid; (iii) solar fotovoltaica e solar térmica; (iv) eólica *onshore* e *offshore* renovável; (v) bateria/armazenamento; (vi) bombas de calor e energia geotérmica; (vii) eletrolisadores e células de combustível; (viii) biogás/biometano sustentável.
- Lei de matérias-primas críticas: Entre as ações prioritárias, está estabelecer metas de autossuficiência até 2030, definindo parâmetros relacionados à capacidade de fornecimento e consumo: (i) meta de pelo menos 10% do consumo anual da UE, para extração; (ii) meta de pelo menos 40% do consumo anual da UE, para processamento; (iii) meta de pelo menos 15% do consumo anual da UE, para reciclagem; e (iv) meta de não mais que 65 % do consumo anual da UE de cada matéria-prima estratégica, em qualquer fase relevante da transformação, deva ser proveniente de um único mercado fornecedor extrabloco;

A Comissão Europeia identificou dependências estratégicas que poderiam levar a vulnerabilidades da UE no que diz respeito aos painéis fotovoltaicos, por exemplo, devido a uma forte concentração da produção mundial na China, com opções limitadas para a diversificação da oferta. Neste sentido,

a Comissão está apoiando a criação de clusters e alianças industriais (nas áreas do hidrogênio limpo, baterias e energia fotovoltaica) para desenvolver as capacidades estratégicas e facilitar a identificação de projetos de investimento. Além disso, os chamados Projetos Importantes de Interesse Europeu Comum (*Important Projects of common European Interest* - IPCEI²⁰) também ganharam relevância. O IPCEI é um instrumento de auxílio estatal, juntamente com investimentos privados esperados, concebido por diferentes empresas e países para superar graves deficiências do mercado no que diz respeito à inovação e a infraestruturas essenciais. Entre os projetos aprovados, estão IPCEI relativos à cadeia de valor das baterias, microeletrônicos, e do hidrogênio, além de acordos sobre novas regras da UE relativas aos semicondutores (*European Chips Act*) e às baterias²¹. No que diz respeito ao hidrogênio, a UE possui cerca de 750 projetos endereçados até 2030, incluindo projetos abrangidos pelo IPCEI e o recente anúncio da criação de um Banco Europeu de Hidrogênio²² para fazer corresponder a oferta e a procura e dar escalabilidade.

Quanto a abordagens tecnológicas relacionadas à economia circular²³, estima-se que é possível reduzir as emissões industriais da UE em quase 300MtCO₂ por ano até 2050 (ou 56%) de quatro grandes setores industriais (plásticos, aço, alumínio e cimento). Essas abordagens incluem a recirculação de materiais, eficiência de materiais de produtos e novos modelos de negócios circulares.

Por fim, os Roteiros de Tecnologia Industrial²⁴ são uma ação central na nova estratégia de Pesquisa e Inovação da União Europeia²⁵ (ERA, sigla em inglês para European Research Area). Eles são preparados pela Comissão Europeia em conjunto com os Estados-Membros, bem como com representantes da indústria e partes interessadas, e constituem uma ferramenta para acelerar a transferência de resultados de pesquisa e inovação para o mercado, tendo em vista a transformação verde e digital das indústrias da UE. Os dois primeiros roteiros publicados pela UE abrangem tecnologias de baixo carbono nas indústrias com utilização intensiva de energia e tecnologias circulares nas indústrias têxteis e de construção e com utilização intensiva de energia. A relação dos elementos-chave e principais conclusões encontradas nos roteiros encontra-se na Tabela 8.

20 EC – EUROPEAN COMMISSION. **Important Projects of Common European Interest (IPCEI)**. Disponível em: https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/legislation/modernisation/ipcei_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

21 EUROPEAN PARLIAMENT. New EU regulatory framework for batteries: setting sustainability requirements. set. 2024. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2021\)689337](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2021)689337). Acesso em: 08 ago. 2023.

22_EC - EUROPEAN COMMISSION. **Commission outlines European Hydrogen Bank to boost renewable hydrogen**. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/news/commission-outlines-european-hydrogen-bank-boost-renewable-hydrogen-2023-03-16_en. Acesso em: 08 ago. 2023. Acesso em: 08 ago. 2023.

23 EUROPEAN CLIMATE. **The circular economy: a powerful force for climate mitigation**. Disponível em: <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2018/06/FINAL-MATERIAL-ECONOMICS-CIRCULAR-ECONOMY-SUMMARY.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

24 EC – EUROPEAN COMMISSION. **ERA industrial technology roadmaps**. 2024. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/era-industrial-technologies-roadmaps_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

25 EUROPEAN UNION. **Eur-Lex**. 2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A628%3AFIN>. Acesso em: 08 ago. 2023.

Tabela 8 - Principais conclusões dos Roteiros de Tecnologia Industrial

Roadmap	Principais conclusões e recomendações
<p><i>The ERA roadmap for low-carbon technologies in energy-intensive industries (O roteiro da ERA para tecnologias de baixo carbono em indústrias energo-intensivas)</i>²⁶</p>	<p>As indústrias com utilização intensiva de energia foram responsáveis por 17% do total de emissões de GEE da UE em 2019. Dentre as principais contribuições, encontram-se as das indústrias de aço, fertilizantes, cimento e química que produzem cerca de 14% do total.</p>
	<p>As rotas tecnológicas mais relevantes para a descarbonização dos países energo-intensivos são: eletrificação; utilização de hidrogênio verde; CCUS; matérias-primas alternativas e integração de energias renováveis; materiais e processos alternativos; eficiência energética e de materiais, incluindo circularidade; e simbiose industrial.</p>
	<p>Oportunidade de facilitar as estratégias ou programas nacionais e intersetoriais específicos com as principais partes interessadas como parte da agenda política do ERA 2022-2024.</p>
	<p>Oportunidades de cooperação com o Comitê Europeu de Normalização (CEN), Comitê Europeu de Normalização Electrotécnica (CENELEC) e parcerias industriais para identificar e preencher as principais lacunas de normatização para tecnologias industriais inovadoras de baixo carbono. O CEN e o CENELEC fornecem uma plataforma para o desenvolvimento de normas europeias e outras especificações técnicas para diferentes setores, garantindo que as normas correspondam a qualquer legislação relevante da UE.</p>
	<p>Possibilidades de maior valorização, explorando com a indústria a oportunidade de abrir novas invenções verdes, pool de patentes e transferência de conhecimento.</p>
	<p>Oportunidade para estabelecer uma comunidade de práticas para facilitar a autorização de instalações pioneiras em tecnologias industriais de baixo carbono, com base em abordagens semelhantes ao <i>European Chips Act</i>, the <i>Regulatory Hubs Network under REFIT (RegHub)</i>, e <i>Hubs4Circularity Community of Practice</i>.</p>
	<p>Avaliar o potencial para estabelecer alianças industriais ou iniciativas similares para tecnologias de baixo carbono em indústrias energo-intensivas.</p>

²⁶ EUROPEAN UNION. **ERA industrial technology roadmap for low-carbon technologies in energy-intensive industries**. 2022. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c9f70ebf-b48e-11ec-9d96-01aa75ed71a1/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

<p>Circular industrial technologies roadmap. Closing the circle in energy-intensive industries, textiles, & construction (Roteiro de tecnologias industriais circulares. Fechando o círculo em indústrias energo-intensivas, têxteis e de construção)²⁷</p>	<p>Apenas 38% dos materiais têxteis são eventualmente recolhidos separadamente para reutilização ou reciclagem; O setor da construção é responsável por cerca de 50% da extração e consumo de recursos; as indústrias energo-intensivas produzem 17% do total das emissões de GEE da UE.</p>
	<p>Uma abordagem de ciclo de vida é necessária para explorar plenamente o potencial das tecnologias circulares; novos designs de produtos e materiais avançados desencadearão mudanças sistêmicas em toda a cadeia de valor; As tecnologias digitais desempenham um papel fundamental para a circularidade industrial, ao longo dos ciclos de vida dos produtos; As tecnologias em fim de vida, incluindo as tecnologias de pré-reciclagem, necessitam de mais esforços para serem implementadas no mercado; A regulamentação desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento da economia circular no mercado único da UE.</p>
	<p>O roteiro apoia a implementação da estratégia industrial conectando parcerias importantes no âmbito do <i>Horizon Europe (Made in Europe, Processes4Planet, Circular Bio-Based Europe e Built4People)</i> com ecossistemas industriais e combinando esforços para divulgar os resultados das pesquisas e inovações, e implementá-los mais rapidamente na economia.</p>

Fonte: Elaboração própria

3.3. ROADMAP INDUSTRIAL DA ALEMANHA

3.3.1. NDC e Metas setoriais

As emissões da Alemanha representam cerca de 1,45% das emissões globais de GEE (*Climate Watch*, 2023). O país está acelerando significativamente a implementação de sua política climática interna, ainda mais ambiciosa que a da União Europeia, quando define suas próprias metas nacionais de redução de emissões e neutralidade através de sua Lei Federal sobre Mudanças Climáticas (*Bundes-Klimaschutzgesetz*). Apesar disso, o país não apresentou sua própria NDC, e ainda faz parte das metas do bloco. As metas definidas pelo Governo alemão são:

- Reduzir as emissões nacionais de GEE em pelo menos 65% abaixo dos níveis de 1990 (com a exclusão do setor LULUCF) até 2030 (enquanto a meta da UE é de 55%);
- Reduzir em 88% abaixo dos níveis de 1990 (com a exclusão do setor LULUCF) até 2040 (meta intermediária);
- Atingir a neutralidade climática até 2045;
- Reduzir as emissões de LULUCF em pelo menos 25 milhões tCO₂e até o ano 2030; em pelo menos 35 milhões tCO₂e até 2040; e pelo menos 40 milhões de tCO₂e até 2045;

Para atingir suas metas nacionais, a Alemanha precisa avançar na redução das emissões em todos os setores, e para isso, estabeleceu orçamentos anuais de emissões de CO₂ para seis setores individuais até 2030 (Tabela 9), juntamente com um mecanismo de monitoramento e ajuste de políticas. Os setores são

²⁷ EUROPEAN UNION. **ERA industrial technology roadmap for low-carbon technologies in energy-intensive industries**. 2022. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c9f70ebf-b48e-11ec-9d96-01aa75ed71a1/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

energia, indústria, transporte, edifícios, agricultura, resíduos e outros. A responsabilidade por garantir o cumprimento dos orçamentos anuais de emissões cabe ao respectivo ministério federal (OECD, 2023).

Tabela 9 - Orçamentos anuais setoriais de emissões permitidos para os anos de 2020 a 2030

Annual emission budgets in million tonnes of CO ₂ equivalente	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Energy	280		257								108
Industry	186	182	177	172	165	157	149	140	132	125	118
Buildings	118	113	108	102	97	92	87	82	77	72	67
Transport	150	145	139	134	128	123	117	112	105	96	85
Agriculture	70	68	67	66	65	63	62	61	59	57	56
Waste and Other	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4

Fonte: BMUV (2021)

A Lei ainda permite a compensação das metas dos setores, assim, se as emissões do ano forem inferiores ou superiores ao orçamento de emissões setoriais, a diferença será subtraída ou adicionada uniformemente aos orçamentos anuais restantes de emissões do setor até 2030 e posteriormente. Isso visa ajustar a trajetória do setor e garantir seu cumprimento, na medida em que caso não atinja a meta, o setor terá que obrigatoriamente conduzir um plano de ação público e corretivo, com maiores esforços para redução nos anos seguintes (OECD, 2023; BMUV, 2021).

O Governo Federal ainda deverá rever os orçamentos anuais de emissões permitidos. A lei já definiu as metas anuais de 2031 a 2040 (Tabela 10). Assim, as metas anuais de redução de emissões para o período 2041 a 2045 devem ser estabelecidas em 2032. Já as metas anuais de mitigação por setor para os anos de 2031 a 2040 deverão ser estabelecidas em 2024, assim, as metas setoriais para os anos de 2041 a 2045 deverão ser definidas em 2034.

Tabela 10 - Orçamentos anuais de emissões permitidos para os anos de 2031 a 2040

	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Annual mitigation targets in relation to 1990	67%	70%	72%	74%	77%	79%	81%	83%	86%	88%

Fonte: BMUV (2021)

3.3.2. Política pública e planos setoriais

A política climática da Alemanha está alinhada com a legislação climática da UE, incluindo o Sistema de Comércio de Emissões da UE (ETS), o Regulamento Partilha de Esforços, bem como a legislação sobre transportes e uso do solo (OECD, 2023). Em relação ao setor industrial, é possível verificar algumas ações diretas e transversais, conforme (BMWK, 2023):

- **Estratégia de Matéria-prima (2019):** revisada em 2019, visa garantir a segurança do abastecimento a longo prazo das matérias-primas necessárias para fins industriais, bem como garantir condições de concorrência equitativas com cadeias de abastecimento social e ambientalmente justas e, assim, reforçar a criação de valor na indústria. A estratégia está alinhada com as políticas e iniciativas europeias, como o *Critical Raw Material Act* e *Circular Economy Action Plan* (BMWK, 2019).
- **Made in Germany - Industrial Strategy 2030 (2019):** fundamentada em três pilares, objetiva (i) melhorar as condições estruturais nacionais e internacionais da indústria; (ii) ativar o potencial de inovação, fortalecer tecnologias-chave e mobilizar capital; e (iii) proteger a soberania tecnológica da Alemanha. Cerca de EUR 10,6 bilhões foram inicialmente investidos (BMWK, 2023).
- **Estratégia Nacional do Hidrogênio (2020):** fornece um quadro institucional para a produção, transporte e utilização de hidrogênio, incentivando inovações e novos investimentos. A estratégia define as medidas necessárias para cumprir as metas climáticas alemãs, criar cadeias de valor desenvolvendo o mercado interno, e promover a cooperação em política energética a nível internacional. Entre 2020 e 2023 foram previstos cerca de EUR 1,1 bilhões para investimentos em pesquisa básica sobre hidrogênio verde e promoção de *sandboxes* regulatórios²⁸ para a transição energética. Além disso, por meio do “pacote para o futuro” foram disponibilizados EUR 7 bilhões para acelerar a implantação da tecnologia do hidrogênio, e outros EUR 2 bilhões para estimular parcerias internacionais (BMWK, 2020).
- **Lei Federal sobre Mudanças Climáticas (2021):** reforçou as regulamentações climáticas e instituiu na lei as metas para 2030 (pelo menos 65% de redução de emissões até 2030) e o objetivo de alcançar a neutralidade de GEE até 2045. O principal instrumento de financiamento que disponibiliza meios para o cumprimento da lei é o Fundo para a Energia e o Clima (BMUV, 2021).
- **Lei de Due Diligence na Cadeia de Suprimentos (2023):** a lei exige que as grandes empresas alemãs e empresas sediadas na Alemanha identifiquem e avaliem direitos e violações ambientais em suas cadeias de abastecimento e desenvolvam estratégias de gestão de risco, monitoramento e comunicação, com rígidas multas por descumprimento (CSR, 2023).

²⁸ Ambiente regulatório experimental, criado com a finalidade de suspender temporariamente a obrigatoriedade de cumprimento de normas exigidas para atuação em determinados setores, permitindo que instituições possam usufruir de um regime diferenciado para lançamento de novos produtos e serviços inovadores

3.3.3. Estratégias de implementação

Um campo de ação central da Estratégia Nacional da Indústria 2030 (Made in Germany) é o reforço das principais tecnologias facilitadoras, como a digitalização, a inteligência artificial e a fabricação de células de bateria. Neste sentido, a Estratégia explora o fortalecimento das pequenas e médias empresas industriais; busca mobilizar mais capital de risco para investimentos; defende mercados abertos, mais multilateralismo e condições de concorrência equitativas; busca promover o acesso e o domínio de tecnologias, melhorar o ambiente político geral (por exemplo, preços da energia, impostos, encargos sociais), e visitar os auxílios estatais e o direito da concorrência (BMWK, 2023); Além desta Estratégia, outras medidas são complementares, e vêm sendo implementadas no setor industrial (tabela 11).

Tabela 11 - Peças-chave de implementação da política industrial alemã

Objetivos	Medidas de implementação
<p>Programa imediato de ação climática²⁹</p>	<p>Imediatamente após a aprovação da Lei Federal sobre Mudanças Climáticas, o país adotou um programa de ação imediata para apoiar a consecução das novas metas, disponibilizando EUR 8 bilhões adicionais para todos os setores entre 2022 e 2025. Entre as medidas imediatas da lei e tecnologias prioritárias para o setor da Indústria, estão: promoção de um sistema de certificação da pegada de carbono de determinados materiais; programa de financiamento para a indústria química e siderúrgica; criação de “mercados líderes” de aço sustentável ou <i>green steel</i> (<i>Steel Action Strategy</i>); eficiência energética na indústria/calor residual; e fundos adicionais para o programa de descarbonização da indústria.</p>

²⁹ALEMANHA. Federal Ministry of Finance. **Immediate Action Programme for 2022**. 2021. Disponível em: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Topics/Priority-Issues/Climate-Action/immediate-climate-action-programme-for-2022.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

Made in Germany	<p>Ações como: (i) adequar a tributação das empresas de forma a garantir a competitividade; (ii) limitar os encargos sociais; (iii) incentivar a qualificação da mão-de-obra; (iv) garantir o abastecimento de energia seguro e acessível e prevenir a fuga de carbono; (v) expandir a infraestrutura; (vi) garantir o abastecimento de matérias-primas e promover a economia circular; e (vii) reduzir a burocracia e modernizar as leis de concorrência.</p>
	<p>Para fortalecer novas tecnologias e mobilizar capital privado: em primeiro lugar, aplicar diretamente tecnologias revolucionárias, como a inteligência artificial; e em segundo lugar, desenvolver estas tecnologias e, ao fazê-lo, estabelecer novos padrões. Qualquer empresa que pretenda manter a sua posição face à concorrência necessitará de ter domínio e acesso às novas tecnologias.</p>
	<p>Além disso, ativar o potencial de inovação na Alemanha e garantir que mais inovações tecnológicas sejam utilizadas na prática. A Estratégia Industrial 2030 identifica em particular os seguintes objetivos para manter a autonomia tecnológica: (i) melhorar a segurança cibernética; (ii) evitar perdas de conhecimentos especializados e manter os domínios-chave de tecnologias; (iii) modernizar instrumentos de proteção da soberania tecnológica, como por exemplo, adaptar a lei do comércio exterior às alterações na legislação da UE.</p>
Estratégia Nacional do Hidrogênio	<p>Oportunidade de desempenhar papel fundamental na competição internacional para o desenvolvimento e a exportação de tecnologias de hidrogênio e <i>Power-to-X</i> (PtX).</p>
	<p>Massivos investimentos em novas cadeias de valor do hidrogênio para desenvolvimento do mercado interno (pesquisa básica sobre hidrogênio verde e promoção de <i>sandbox</i> regulatório) e promoção de cooperação internacional.</p>
	<p>Desenvolvimento do Plano de Ação para a Estratégia Nacional do Hidrogênio: Fase 1) Iniciar a expansão do mercado, aproveitar oportunidades (2020-2023); Fase 2) Fortalecer a aceleração do mercado nacional e internacional (2023-2030).</p>

<p>Estratégia de Matéria-prima</p>	<p>Baseia-se na premissa de que as empresas são responsáveis por garantir o fornecimento das matérias-primas e o governo cede apoio institucional às suas medidas. A atualização de 2019 centra-se em mudanças da demanda, conflitos comerciais, concentração do poder de mercado, elevados padrões de práticas sociais e ambientais nas cadeias de abastecimento e garantias de que os direitos humanos são respeitados, com sistemas de <i>due diligence</i>.</p> <p>As medidas estão agrupadas em quatro seções: (i) fontes de matérias-primas; (ii) eficiência de recursos e materiais; (iii) sustentabilidade e transparência, e (iv) cooperação internacional.</p> <p>Entre as medidas relevantes para o abastecimento de minerais críticos, estão: o governo alemão apoiará iniciativas da Comissão Europeia para aumentar a extração primária de metais como o cobre, lítio e níquel, nos estados-membros da UE. Também considera fornecer às empresas apoio financeiro para estudos de viabilidade que avaliem melhores práticas ambientais e climáticas no fornecimento de matérias-primas; mecanismo financeiro para proteger os que concedem empréstimos para projetos de fornecimento de matérias-primas sujeitos a riscos econômicos ou políticos; reforçar o abastecimento de minerais e metais através da utilização de matérias-primas secundárias, incluindo medidas para melhorar a logística inversa e aumentar as taxas de reciclagem; reforçar a necessidade de processo internacional para desenvolver um guia para a <i>due diligence</i> ambiental nas cadeias de abastecimento de matérias-primas.</p>
<p>German ETS (Sistema de comércio de emissões da Alemanha)</p>	<p>A Alemanha lançou o seu ETS nacional para combustíveis de aquecimento e transportes em 2021. É implementado gradualmente, com um preço fixo crescente por tonelada de CO₂ de 2021 a 2025. Em 2026, serão introduzidos leilões com preços mínimos e máximos. Todos os principais tipos de combustíveis (gasolina, diesel, óleo de aquecimento, gás natural e líquido) foram abrangidos desde o início, enquanto outros combustíveis serão gradualmente introduzidos até 2024. Durante as fases de preço fixo, o limite máximo é flexível.</p>
<p>Alliance for the “Future of Industry” (Aliança pelo Futuro da Indústria)³⁰</p>	<p>Reúne parceiros de sindicatos, associações industriais e patronais, a Associação das Câmaras Alemãs de Indústria e Comércio e o Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Ação Climática. A Aliança funciona como um órgão central de diálogo para questões de política industrial.</p>

Fonte: Elaboração própria

30 ALEMANHA. **Joining forces to strengthen German industry**. 2024. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/joining-forces-to-strengthen-german-industry.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

3.3.4 Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização

A Alemanha tem uma das economias industriais mais fortes do mundo. Muitos dos produtos industriais fabricados na Alemanha utilizam tecnologia de ponta e são produzidos utilizando processos digitalizados da Indústria 4.0. Além disso, os serviços relacionados com a indústria nos processos a montante e a jusante desempenham um papel cada vez mais importante (BMWK, 2020). Destacam-se as tecnologias prioritárias e as principais conclusões das ações e estratégias nacionais no âmbito da indústria (tabela 12).

Tabela 12 - Tecnologias prioritárias e principais conclusões das estratégias da Indústria Alemã

Roadmap	Tecnologias prioritárias e principais conclusões
Made in Germany	<p>O objetivo das empresas alemãs e europeias deve ser participar das tecnologias revolucionárias, ajudar a moldar e estabelecer padrões correspondentes. Neste sentido, possibilidades oferecidas pela inteligência artificial (IA), como <i>machine learning</i> e <i>deep learning</i>, o potencial de automação oferecido pela Indústria 4.0, assim como o desenvolvimento em biotecnologia, incluindo a engenharia genética, a bioeconomia, e em novos materiais, a nanotecnologia e a redução de peso são capazes de impulsionar e redirecionar mudanças estruturais na indústria. As tecnologias quânticas de segunda geração (particularmente computação, comunicações, tecnologia de medição e simulação) também oferecem um enorme potencial.</p> <p>Lista de setores industriais altamente inovadores: indústria automotiva; indústrias do aço, cobre e alumínio, e outros metais não ferrosos, e indústrias energo-intensivas; indústria química e farmacêutica; engenharia mecânica e de instalações, incluindo Indústria 4.0 e fabricação aditiva; indústria de engenharia elétrica e TI; indústria de tecnologia óptica e médica; indústrias ambiental e de tecnologia energética; indústria aeroespacial, marítima e de segurança e defesa; entre outras.</p>
Estratégia Nacional do Hidrogênio	<p>Em determinados setores industriais, o atingimento da neutralidade não será possível utilizando tecnologias convencionais. Nestes setores, as fontes de energia serão gradualmente substituídas por tecnologias alternativas, abrindo caminho para a utilização de recursos ou processos alternativos. Muitos destes processos permitirão, a longo prazo, a utilização de hidrogênio e produtos dele derivados.</p> <p>Utilização principalmente nas refinarias e em partes da indústria química; na indústria do aço, onde poderá ajudar a substituir processos de alto-forno de elevadas emissões com a redução direta de minério de ferro.</p>

<p>Estratégia de Matéria-prima</p>	<p>Foca em recursos minerais necessários principalmente para a (i) redução de peso (indústria aeroespacial, de automóvel, de engenharia mecânica e de construção, busca desenvolver e utilizar pesos leves. A redução de peso não seria possível sem recursos minerais como alumínio, magnésio e titânio); (ii) mobilidade elétrica (aço, zinco, alumínio, quartzo, lítio, níquel, cobalto e grafite); e (iii) energia eólica (minerais de terras raras são necessários, assim como alumínio, cobre, zinco e aço);</p> <p>Além disso, após um procedimento de validação aprofundado, o Conselho Internacional da EITI - Iniciativa para a Transparência da Indústria Extrativa, concluiu que a Alemanha implementou com sucesso todos os requisitos do padrão da EITI.</p>
---	--

Fonte: Elaboração própria

A Estratégia de Longo Prazo da Alemanha foi submetida em 2022 e destaca que até 2030, pelo menos 80% do consumo bruto de eletricidade deverá ser coberto por fontes renováveis. O país está se esforçando para o phase-out do carvão. Aço, produtos químicos e cimento são os maiores emissores de GEE do setor industrial, mas ao mesmo tempo produzem materiais essenciais para a indústria alemã. Assim, a descarbonização da indústria deve se basear em eletrificação, eficiência energética e de recursos, economia circular, utilização de hidrogênio, e utilização de tecnologias CCS/CCU (UNFCCC, 2022).

Por outro lado, a atualização do Plano Nacional de Energia e Clima da Alemanha (EC, 2024c) ressalta a importância da segurança energética, especialmente à luz da guerra na Ucrânia, adotando medidas estratégicas e mecanismos de gestão de crise para assegurar o fornecimento de energia e o cumprimento das metas climáticas. Neste contexto, o relatório anual de monitoramento da transição energética (BMWK, 2024) indica avanços significativos em diversas áreas, como o aumento da geração de eletricidade renovável. No entanto, são necessários esforços adicionais em áreas como a expansão da rede elétrica e o fortalecimento do mercado de hidrogênio. A construção de capacidade de energia eólica e solar também permitiu que o país obtivesse mais da metade da demanda em seu sistema elétrico de energias renováveis pela primeira vez em 2023. Esses esforços aliados ao desenvolvimento progressivo da precificação de carbono, contribuirão para a eliminação gradual do carvão. Ademais, serão necessárias emissões negativas para compensar as emissões residuais inevitáveis e garantir o cumprimento das metas climáticas após 2045, e o investimento em tecnologias inovadoras e de baixo carbono é crucial (UNFCCC, 2022).

Em termos de monitoramento da efetividade no cumprimento das metas, a lei estabelece a criação de um Conselho Nacional de Especialistas em Mudança do Clima³¹, que será nomeado a cada cinco anos pelo Governo Federal. Além disso, estabelece a criação da Plataforma científica de mitigação das mudanças climáticas e cria a obrigatoriedade de relatórios anuais que auxiliarão na implementação e no desenvolvimento contínuo da estratégia de longo prazo.

3.4. ROADMAP INDUSTRIAL DO REINO UNIDO

3.4.1. NDC e Metas setoriais

As emissões do Reino Unido representam cerca de 0,86% das emissões globais de GEE (Climate Watch, 2023) e, por meio de alteração na sua Lei de Mudança do Clima de 2008, o Reino Unido comprometeu-se a atingir zero emissões líquidas de GEE até 2050 (UK GOV, 2021). Além de estabelecer a meta de longo prazo, a lei exige metas intermediárias que são expressas em orçamentos de carbono a cada 5 anos, e o governo é legalmente obrigado a cumprir.

Originalmente, a lei de 2008 se comprometia a reduzir em 80% os GEE até 2050 e seus primeiros cinco orçamentos de carbono (2008-12, 2013-17, 2018-22, 2023-27, 2028-32) refletiam tal objetivo. Com a alteração, o governo adotou o sexto orçamento (CB6) de carbono (2033-37) para reduzir as emissões (incluindo as emissões da aviação internacional e do transporte marítimo) em aproximadamente 78% até 2035, tendo como referência o ano de 1990. Além disso, estabeleceu metas setoriais de redução no mesmo período (Tabela 13). Este é o primeiro orçamento de carbono que coloca o Reino Unido no caminho para a neutralidade (OECD, 2022).

³¹ O Conselho Nacional de Especialistas em Mudança do Clima (*Expertenrat für Klimafragen*), uma instituição independente nomeada pelo governo alemão como parte da Lei Federal de Mudanças Climáticas (*Klimaschutzgesetz*). Ele atua como um mecanismo de fiscalização e controle para garantir o cumprimento das metas de redução de emissões. Entre as atribuições estão (i) revisões anuais das emissões de gases de efeito estufa da Alemanha; (ii) análise dos relatórios de progresso sobre o cumprimento das metas climáticas estabelecidas; (iii) caso o conselho identifique que as metas não estão sendo alcançadas em algum setor específico, o governo federal é obrigado a apresentar planos de ação corretivos. O conselho revisa esses planos e emite pareceres sobre sua viabilidade e adequação para corrigir os desvios; (iv) orientações e recomendações baseadas em análises científicas. Vale ressaltar que todos os relatórios e pareceres emitidos pelo Conselho Nacional de Especialistas são tornados públicos. Mais informações em: <https://expertenrat-klima.de/en/>

Tabela 13 - Emissões setoriais nos orçamentos de carbono (MtCO₂ e por ano)

Sector	Current (2019)	CB4 (average 2023-27)	NDC (2030)	CB6 (average 2033-37)
Agriculture and LULUCF	63	51 to 57	44 to 52	38 to 48
Buildings	88	73 to 82	55 to 66	34 to 47
Domestic Transport	122	100 to 111	67 to 80	29 to 43
Fuel Supply	26	18 to 20	14 to 16	10 to 12
Industry	78	58 to 65	36 to 45	19 to 29
Power	58	28 to 31	14 to 17	9 to 11
Waste and F-gases	40	24 to 27	17 to 20	12 to 15
Greenhouse Gas Removals	0	0 to 0	-12 to -1	-33 to -11
Inti Aviation and Shipping*	45	(42 to 46)	(44 to 50)	39 to 46
Total (incl. IAS)	520			192
Total (excl. IAS)	476	371	262	

Fonte: UNFCCC (2021)

Desde então, o Reino Unido aumentou a ambição de sua NDC para 2030, para se alinhar com a meta de longo prazo, visando reduzir as emissões em 68% abaixo dos níveis de 1990 até 2030 (UNFCCC, 2023). A NDC foi revisada com maior detalhamento e fornece uma série de informações adicionais para facilitar a clareza, a transparência e a compreensão em relação às metas e suas medidas de implementação.

Isto inclui informações sobre como o Reino Unido cumprirá a sua NDC até 2030, como irá avaliar este cumprimento, uma atualização sobre o progresso feito para expandir o escopo da NDC contemplando as dependências da Coroa Britânica, e mais informações sobre como suas metas climáticas estão relacionadas com objetivos mais amplos em torno de temáticas de gênero, competências verdes, transição justa, biodiversidade, saúde, poluição atmosférica e participação pública. A NDC contempla então:

- Reduzir as emissões de GEE em pelo menos 68% abaixo dos níveis de 1990 até 2030;
- Alcançar a neutralidade climática até 2050;

Apesar da NDC contemplar emissões e remoções provenientes de Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte, tanto a Escócia quanto o País de Gales têm metas próprias (incluído LULUCF):

- Escócia:
 - Reduzir as emissões em pelo menos 75% abaixo dos níveis de 1990 até 2030; 90% em 2040; e neutralidade de GEE até 2045;
- País de Gales:
 - Reduzir as emissões em pelo menos 63% abaixo dos níveis de 1990 até 2030; 89% até 2040; e neutralidade até 2050;
 - *Net Zero Wales* 2050 estabelece um orçamento de carbono II (2021-25) em 37% e orçamento de carbono III (2026-30) em 58%;

Em relação à cobertura, a NDC cobre os setores de Energia (incluindo transportes), Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, na sigla em inglês para *Industrial Processes and Product Use*), Agricultura, Resíduos e Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF). Setorialmente, o Reino Unido se compromete a:

- Eliminar progressivamente energia a carvão até 2024 e obter descarbonização total do sistema energético até 2035;
- Até £1,7 bilhões para aumentar a produção de energia nuclear e mais de £1,6 bilhões para promover a capacidade eólica offshore e cumprir a meta de 50 GW até 2050;
- Considerar recomendações do Comitê de Mudanças Climáticas para estabelecer metas para a produção de aço à base de minério e atingir emissões próximas de zero até 2035;
- Eliminar a venda de novos veículos a gasolina e diesel até 2030.

3.4.2 Política pública e planos setoriais

O Governo do Reino Unido tem adotado novas políticas para o enfrentamento das mudanças climáticas nos últimos anos. A estrutura dessas novas políticas vem sendo replicada em outros países. Sua estratégia de descarbonização industrial, por exemplo, se destaca por seu nível de detalhamento, o anúncio de altíssimos investimentos e o levantamento de medidas prioritárias. Entre as mais recentes políticas e iniciativas, estão:

- *Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution* (2020): reforça o objetivo de atingir as emissões líquidas zero por meio da “revolução industrial verde”, apoiando o crescimento dos empregos verdes; visa mobilizar £12 bilhões em investimento público, e potencialmente três vezes mais do setor privado, para criar e apoiar até 250 mil empregos verdes. Segundo a Estratégia *Net Zero* que veio na sequência, o Plano gerou mais de 56 mil empregos.
- Estratégia de Descarbonização Industrial *Net Zero* - *Net Zero Industrial Decarbonization Strategy* (2021): Abrange todos os setores da indústria do Reino Unido (metais e minerais, produtos químicos, alimentos e bebidas, papel e celulose, cerâmica, vidro, refinarias de petróleo e manufatura menos energo-intensiva), e como parte primordial da estratégia, foram mapeados os clusters industriais,

seus respectivos setores, emissões e desafios, de modo a dar maior clareza, priorização nas ações e direcionamento. Entre os principais objetivos está a redução das emissões do setor em pelo menos dois terços até 2035 e em pelo menos 90% até 2050, com 3 MtCO₂ capturados através de CCUS e cerca de 20 TWh mudando para combustíveis de baixo carbono até 2030; Tais objetivos foram revisitados na Estratégia *Net Zero* de toda a economia (BEIS, 2021).

- *Estratégia Net Zero – UK Net Zero Strategy (2021)*: Posterior à *Estratégia Industrial Net Zero*, trouxe metas detalhadas, e em alguns casos, ainda mais rigorosas, para a indústria. Define políticas e propostas para descarbonização em todos os setores da economia do Reino Unido, visando a neutralidade de emissões até 2050. A Estratégia define o caminho de descarbonização até 2037 (CB6), e são previstos mais de £700 bilhões em investimentos públicos e privados, dos quais o setor industrial conta com pelo menos £14 bilhões adicionais até 2037 (UNFCCC, 2021);
- *Build Back Better (2021)*: visa incentivar o crescimento econômico por meio de investimentos em infraestrutura, qualificação e inovação, com investimentos na ordem de £600 bilhões (BEIS, 2021b);
- *Estratégia de Inovação do Reino Unido - UK Innovation Strategy (2021)*: tem por objetivo transformar o Reino Unido em um *hub* global de inovação até 2035, e está diretamente ligada ao *Build Back Better*, onde as infraestruturas, as competências e a inovação são centrais. Define como empresas, governos, organizações de P&D, e prestadores de serviços financeiros terão de se unir para alcançar as ambições de inovação. Apesar do investimento público em P&D equivaler a £22 bilhões por ano, a estratégia reforça a necessidade de maiores investimentos do setor privado (BEIS, 2021c).
- *UK Emissions Trading Scheme (2021)*: O Sistema de Comércio de Emissões do Reino Unido (UK ETS) entrou em vigor em 1 de janeiro de 2021. O UK ETS abrange as indústrias intensivas em energia, o setor de energia e a aviação no Reino Unido e no Espaço Econômico Europeu (EEA). Em 2023, o UK ETS passou por um pacote de reformas destinadas a alinhá-lo com a meta de neutralidade em 2050. Entre as mudanças, houve expansão de sua cobertura para os setores marítimo (doméstico) e de energia a partir de resíduos e incineração de resíduos, incluindo ajustes no limite máximo e nos processos de monitoramento, relato e verificação (MRV) (BEIS, 2023).

3.4.3 Estratégias de implementação

O Reino Unido visa descarbonizar a indústria em linha com os objetivos de neutralidade, ao mesmo tempo em que transforma os centros industriais, atraindo investimentos, qualificando profissionais e garantindo empregos com salários condizentes. Segundo a *Estratégia Net Zero*, a expectativa para 2037 é uma redução de 63% a 76% das emissões da Indústria (UNFCCC, 2021). Para isso, o Governo aponta que é necessária uma descarbonização profunda através de eficiência energética e de recursos, mudança de combustíveis e implantação de CCUS, começando pelos *clusters* industriais e pelos principais emissores, como o setor siderúrgico. Também é necessária a descarbonização de plantas industriais menores e mais dispersas, o que impõe exigências às suas infraestruturas. A Tabela 14 apresenta os elementos essenciais da construção da política industrial do Reino Unido para atingimento das metas de curto e longo prazo.

Tabela 14 - Peças-chave de implementação da política industrial do Reino Unido

Objetivos	Medidas de implementação
Estratégia de Descarbonização Industrial Net Zero	Entre as principais medidas propostas para reduzir as emissões do setor em pelo menos dois terços até 2035 e em pelo menos 90% até 2050, estão: (i) utilização de CCUS, substituição de combustíveis, uso do hidrogênio, melhorias na eficiência energética e aceleração da inovação industrial; (ii) avançar nos mecanismos de financiamento, precificação do carbono e endereçar os riscos de vazamento de carbono, por meio de estudos de avaliação de impactos; (iii) fomentar o consumo de produtos de baixa emissão de carbono, evitando o risco de produtos intensivos em carbono mais baratos, por meio da criação de padrões e rotulagem, obrigações de transparência de informações e maiores incentivos para as escolhas sustentáveis; (iv) destravar e/ou facilitar o acesso a recursos voltados para a efetivação da estratégia de descarbonização industrial.
Estratégia Net Zero	A estratégia indica que serão necessários £14 bilhões para o setor industrial, destacando a necessidade de acelerar a descarbonização em “clusters”, que representam aproximadamente metade das emissões industriais do Reino Unido, investimentos em CCUS, utilização de hidrogênio e mudanças de combustíveis, e melhorias da eficiência energética e de recursos; além disso, ainda prevê geração de 54 mil empregos até 2030; e entrega de quatro conglomerados de CCUS até 2030; além de outras medidas de curto, médio e longo prazo.
Build Back Better	Investimentos de £100 bilhões em infraestrutura em 2022; £12 bilhões para projetos verdes; Apoiar o crescimento de pequenas e médias empresas para aumentar a produtividade, por meio da digitalização (programa <i>Help to Grow Digital</i>) e da melhoria das técnicas de gestão (programa <i>Help to Grow Management</i>); Apoiar o acesso ao financiamento, através de reformas, para resolver os desincentivos dos fundos de pensões em investir em empresas de elevado crescimento; apoio governamental contínuo a startups; e implementação de fundo de £ 375 milhões para incentivar negócios inovadores.

<p>Estratégia de Inovação do Reino Unido</p>	<p>A Estratégia de Inovação tem 4 pilares principais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desencadeando negócios – direcionado para quem quer inovar. Entre as ações: (i) aumentar o investimento público anual em P&D para £22 bilhões; (ii) reduzir a complexidade para acesso a crédito por empresas inovadoras; (iii) investir £ 200 milhões para financiamento no estágio de crescimento de empresas de ciências da vida; (iv) aprimorar a regulação, a fim de preparar o país para extrair valor da inovação; • Pessoas – visa tornar o Reino Unido um lugar atraente para talentos inovadores. Entre as ações: (i) apoiar 30 mil gestores de pequenas e médias empresas para impulsionar o desempenho, a resiliência e o crescimento de seus negócios; (ii) atrair e reter talentos altamente qualificados em inovação; • Instituições e locais – Garantir que as instituições de pesquisa, desenvolvimento e inovação irão atender às necessidades de empresas e locais em todo o Reino Unido. Entre as ações: (i) Investir £ 25 milhões em projetos de inovação universidade-empresas; (ii) Alocar £127 milhões através do Fundo <i>Strength in Places</i> para desenvolver a capacidade de P&D e apoiar o crescimento local em todo o Reino Unido; (iii) Realizar um mapeamento do panorama das organizações do Reino Unido que realizam todas as formas de pesquisa, desenvolvimento e inovação; • Missões e tecnologias – Estimular a inovação e enfrentar os principais desafios, impulsionando a capacidade em tecnologias-chave. Entre as ações: (i) Identificar tecnologias transformadoras para o futuro da economia; e (ii) Investir £ 59 milhões na indústria, universidades e governo para desenvolver novas tecnologias transformadoras (<i>Prosperity Partnerships</i>);
<p>UK Emissions Trading Scheme (Sistema de Comércio de Emissões do Reino Unido)</p>	<p>As principais mudanças implementadas são: (i) reduzir em 30% o montante total de licenças disponíveis durante o período 2021-2030, com uma reformulação do limite máximo (cap) em 2024; (ii) aumentar o cap da indústria de 37% para 40% do limite total a partir de 2024. A definição de um limite mais elevado para a quantidade de licenças gratuitas disponíveis garantirá que se possa continuar fornecendo licenças gratuitas aos setores com maior risco de fuga de carbono (<i>carbon leakage</i>).</p> <p>Além disso, o Governo deixou claro alguns pontos a serem consultados e revisitados para as próximas fases do ETS: (i) a metodologia para a distribuição de licenças gratuitas e a melhor forma de lidar com os setores de maior risco de fuga de carbono; (ii) a expansão da cobertura do ETS para outros setores; (iii) a inclusão de tecnologias de remoção de GEE (<i>Greenhouse Gas Removal - GGR</i>), incluindo desenho, elegibilidade e inclusão no ETS; e (iv) a estrutura de mercado do UK ETS, incluindo o papel dos atuais mecanismos de estabilidade do mercado (um preço de reserva em leilão e um mecanismo de contenção de custos), bem como a opção de um mecanismo de ajuste de oferta.</p>

Observa-se que a Estratégia *Net Zero* é composta pela Estratégia Industrial e estratégias dos demais setores, contemplando não só o status atual das políticas e planos vigentes, mas novos compromissos, iniciativas e novos investimentos, mostrando como toda a economia alcançará emissões líquidas zero até 2050. Verifica-se, por exemplo, que os subsídios e os mandados de mercado impulsionarão a adoção de veículos elétricos, assim como o financiamento e contratos governamentais apoiarão o fornecimento de eletricidade de baixo carbono a partir de fontes renováveis e nucleares, bem como a produção de hidrogênio limpo e clusters de captura e armazenamento de carbono (UNFCCC, 2021).

Cabe ressaltar a importância dada aos *clusters*³², pois, além de sua importância econômica e no processo de inovação e compartilhamento de conhecimento, mais de dois terços das emissões industriais provêm desses conglomerados. Neste sentido, o Reino Unido assumiu a meta de estabelecer o primeiro cluster industrial com emissões líquidas zero do mundo até 2040 e pelo menos um cluster de baixo carbono até 2030 (prevê quatro clusters de CCUS, capturando 20-30 MtCO₂ em toda a economia, incluindo 6 MtCO₂ de emissões industriais, por ano até 2030). Já no que tange a locais mais dispersos, a nova estratégia aposta em melhorias na eficiência com mudanças de combustíveis e eletrificação.

Apesar de afirmar que a descarbonização completa da economia nas próximas três décadas “será uma jornada de oportunidades e mudanças sem precedentes”, a Estratégia *Net Zero* também descreve os desafios envolvidos, com mudanças que terão de ser feitas em todos os setores. No entanto, após o final do CB6 em 2037, o documento não detalha a rota das emissões setoriais, e sim, três “cenários ilustrativos” (altos recursos³³, alta eletrificação³⁴, alta inovação³⁵), refletindo a grande incerteza para o futuro. Neste contexto, afirma que há uma série de caminhos para atingir a neutralidade, dependendo dos custos e da disponibilidade das principais tecnologias, bem como das escolhas feitas por indivíduos e empresas. Apesar disso, destaca algumas “tecnologias verdes e recursos energéticos essenciais” que figuram fortemente em todos os três cenários e ajudam a reduzir radicalmente a demanda por combustíveis fósseis:

- Eletricidade, em que os renováveis e a energia nuclear satisfazem a demanda que se duplicará até 2050;
- Hidrogênio, que “complementa” a eletricidade, especialmente em áreas mais difíceis de eletrificar, como partes da indústria e aquecimento, transportes mais pesados, aviação e transporte marítimo;
- Captura e armazenamento de carbono, utilizados no setor energético, indústria, produção de hidrogênio e remoções de GEE utilizando DAC (*direct air capture*) e BECCS (*Bioenergy Energy with Carbon Capture and Storage*);

32 ZERO CARBON HUBS. **UK industrial clusters decarbonization**. 2024. Disponível em: <https://www.zerocarbonhubs.co.uk/industrial-clusters.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

33 Explora o impacto do uso extensivo do hidrogênio, especialmente para descarbonizar edifícios, energia e veículos pesados. Também pressupõe níveis mais elevados de plantação de árvores, aumentando as “emissões negativas” a partir dos sumidouros de uso do solo.

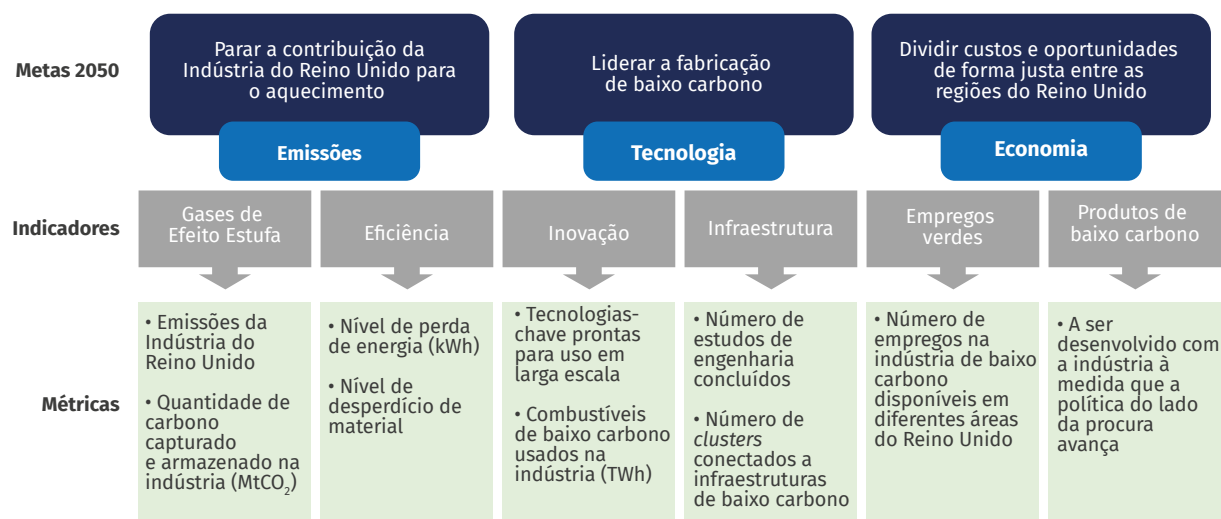
34 Explora o impacto da eletrificação generalizada na descarbonização dos transportes, aquecimento e indústria, em relação a outros cenários, com descarbonização profunda do fornecimento de eletricidade;

35. Explora inovações bem-sucedidas que permitam alcançar emissões residuais mais baixas na aviação, enquanto taxas de captura mais elevadas aumentam o impacto das tecnologias de captura de carbono, com níveis mais elevados de DACCS em 2040.

- Biomassa, utilizada para emissões negativas em combinação com CCS e para produzir combustíveis para indústria, transportes e edifícios.

Apesar da distância temporal até 2050, o Reino Unido prevê um monitoramento periódico do progresso das ações no setor (Quadro 2) em sua Estratégia Industrial *Net Zero*, que gerará um relatório anual do Comitê das Alterações Climáticas (CCC), e retroalimentação de informações para enfrentar decisões cruciais, como: onde priorizar a construção de infraestruturas, como viabilizar tecnologias de baixo carbono e torná-las atrativas, como gerenciar as importações/exportações, e como implementar medidas de adaptação.

Quadro 2 - Indicadores para medir o progresso do setor industrial em relação à ambição



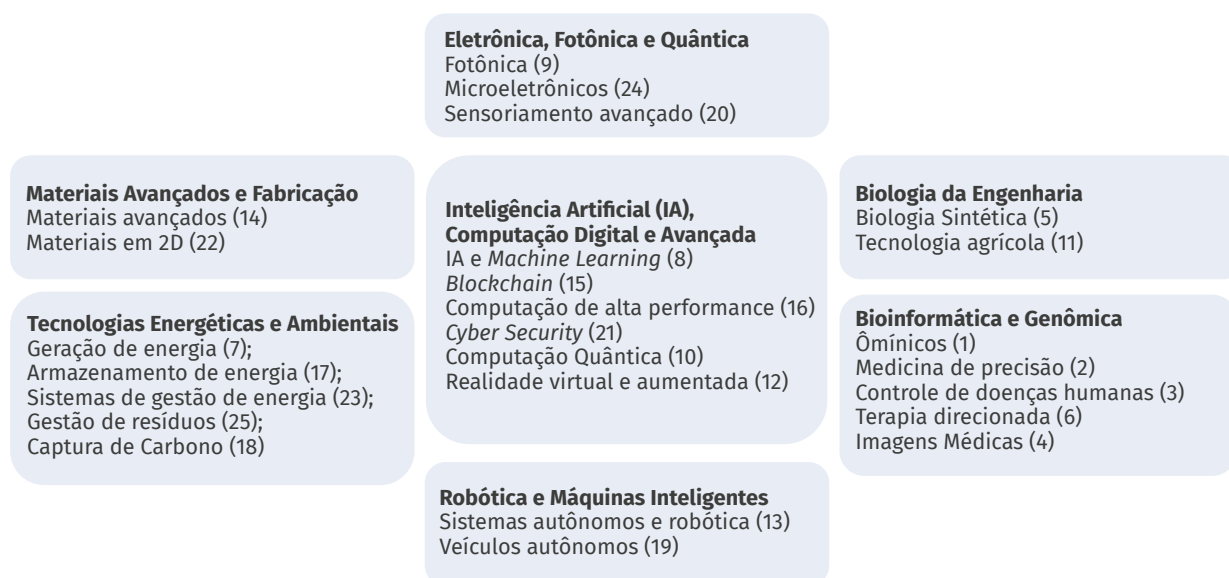
Fonte: Adaptado de BEIS (2021)

3.4.4 Tecnologias e ações prioritárias para a descarbonização

O Reino Unido tem uma longa tradição de excelência em pesquisa e inovação tecnológica, tendendo a destacar-se nas fases iniciais de investigação básica. No entanto, a jornada para trazer inovações de base tecnológica ao mercado é muitas vezes longa, complexa e não linear. Neste sentido, coube por exemplo, à Estratégia de Inovação (BEIS, 2021c) identificar as principais áreas tecnológicas estratégicas e oportunidades para o Reino Unido. Assim, sete linhas tecnológicas relacionadas à saúde e às ciências da vida são destacadas: Materiais Avançados e Fabricação; Inteligência Artificial (IA), Computação Digital e Avançada; Bioinformática e Genômica; Biologia da Engenharia; Eletrônica, Fotônica e Quântica; Tecnologias Energéticas e Ambientais; e Robótica e Máquinas Inteligentes.

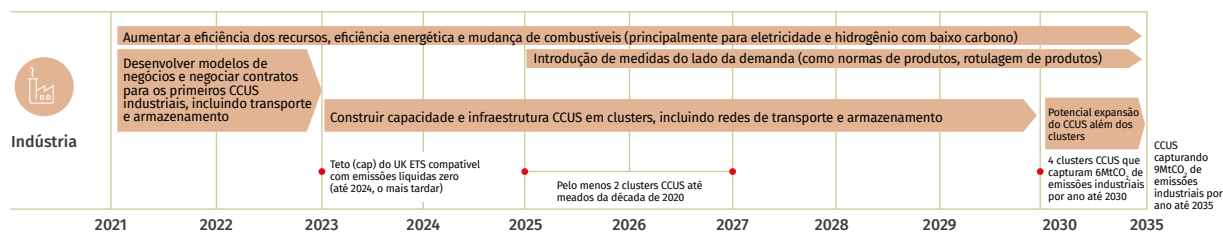
Exercícios analíticos foram realizados para classificar e priorizar as principais tecnologias de curto e médio prazo no âmbito das sete linhas. Tais exercícios se fundamentaram em um mapeamento das tecnologias líderes em financiamento de P&D pelo Reino Unido e publicações de resultados de P&D, citações, patentes, além da avaliação de vantagem comparativa, potencial econômico e de comercialização. Contudo, o sucesso dessas tecnologias reside na futura priorização e direcionamento da atividade governamental e empresarial para responder às oportunidades de mercado. Isto será impulsionado pelo Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia, presidido pelo primeiro-ministro (BEIS, 2021c).

Figura 8 - tecnologias prioritárias de P&D no Reino Unido de acordo com *UK Innovation Strategy*



Fonte: Adaptado de BEIS (2021c)

Um dos grandes desafios é conseguir prever todos os caminhos possíveis para alcançar a neutralidade. Podem surgir novas tecnologias, permitindo que o mercado se mova mais rapidamente ou com custos mais baixos do que o esperado, enquanto em outras áreas o progresso pode ser dificultado por desafios inesperados de implementação à medida que as tecnologias ganham escala. A Estratégia *Net Zero*, portanto, busca traçar um caminho que mantenha a flexibilidade no longo prazo, mas que, ao mesmo tempo, garanta as ações necessárias de curto prazo. Isto visa proporcionar a certeza necessária para impulsionar o investimento e a mudança, permitindo ao mesmo tempo que o mercado responda às novas oportunidades e desafios que surgem da transição. A Figura 9 apresenta um resumo não exaustivo de ações necessárias até 2035, mas centra-se nas novas tecnologias que precisam ser desenvolvidas e implantadas no curto prazo, de modo a garantir a neutralidade em 2050.

Figura 9 - Atividades tecnológicas essenciais para o setor industrial até 2035

Fonte: Adaptado de UNFCCC (2021)

De modo geral, a Estratégia *Net Zero* aponta os pilares essenciais e as considerações para que o Reino Unido atinja a neutralidade de emissões (BEIS, 2022):

1. UK ETS como fator-chave no caminho para a neutralidade em 2050;
2. Integração de fontes de energia de baixo carbono de forma inteligente e flexível;
3. Aumento da diversidade de fontes de energia para usos finais;
4. Aumento da eficiência energética;
5. Inovação para novas tecnologias;
6. Investimento verde, tanto do setor público quanto do privado;
7. Mudança comportamental da demanda e envolvimento público;
8. Novas normas e regulamentos que garantam a escala da produção sustentável/produtos verdes;
9. Planejamento e infraestrutura que acompanhem a inovação e novas fontes energéticas;
10. Uso sustentável de recursos e melhor compreensão das compensações de uso da terra;

Um fato pioneiro da Estratégia Industrial é que, em Setembro de 2022, uma revisão independente da abordagem do governo para cumprir a meta foi conduzida e subsidiada pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial (BEIS). O relatório *Mission Zero – Independent Review of Net Zero*³⁶ realiza uma varredura da atual política industrial, elencando riscos e oportunidades, de modo a responder se o Reino Unido é capaz de cumprir e se está em linha com seus compromissos climáticos, além de recomendar ações para os próximos anos. Vinte e cinco recomendações para escalar e integrar políticas, roteiros e tecnologias de baixo carbono são elencadas para ação imediata em 2025, e dez missões prioritárias para direcionar investimentos públicos e privados até 2035 foram destacadas, entre elas (i) estabelecer um plano claro para a descarbonização da indústria, construído em torno de investimentos de longo prazo em tecnologias de baixo carbono, CCUS e hidrogênio; (ii) estimular a utilização eficiente e circular dos recursos, incentivando ações de reciclagem e reutilização de materiais críticos; (iii) catalisar decisões e ações com um roteiro de P&D e tecnologia para 2050, impulsionando uma regulamentação mais ágil; (iv) desenvolver planos efetivos para melhorias e expansão do grid e infraestrutura para energias renováveis; e (v) esforços para a ambição de que até 2035 não sejam vendidas novas caldeiras a gás e que todos os novos aparelhos de aquecimento em residências e locais de trabalho sejam de baixo carbono.

36 SKIDMORE, Chris. **Mission zero: independent review of net zero.** https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1128689/mission-zero-independent-review.pdf. Acesso em: 08 ago. 2023.



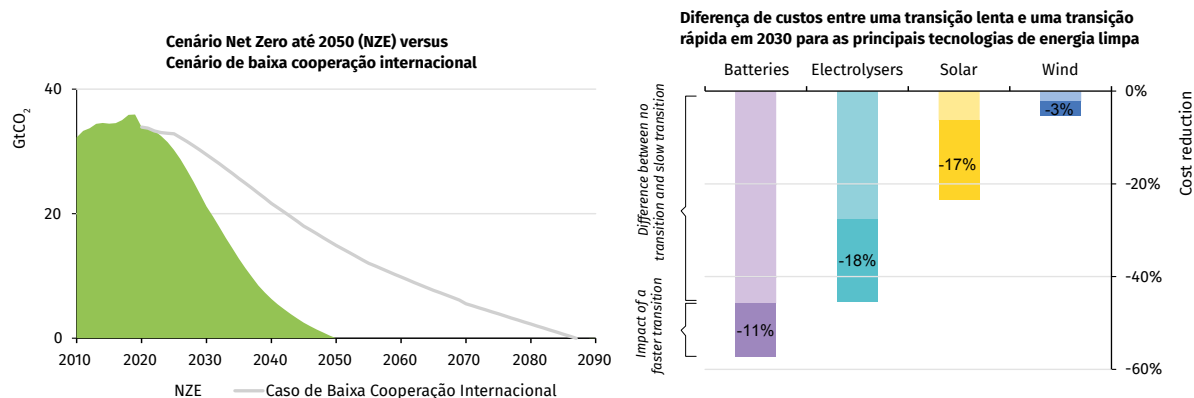
4 MECANISMOS DE FOMENTO E COOPERAÇÃO INTERNACIONAL – BRASIL

A arquitetura global do financiamento climático é complexa e possui diversos instrumentos e mecanismos conduzidos bilateral ou multilateralmente por países, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima e do Acordo de Paris, ou por bancos públicos e privados. Vários países desenvolvidos estabeleceram iniciativas de financiamento climático ou canalizam o financiamento através das suas instituições de apoio ao desenvolvimento. Muitos países em desenvolvimento também criaram fundos regionais e nacionais e canais colaborativos para receber financiamento climático (Watson, et al., 2023). Com isso, diferentes iniciativas setoriais estão sendo alavancadas com apoio de fundos específicos e fluxos transfronteiriços de capital, conhecimento e tecnologia, entre elas, iniciativas no setor da indústria e de energia, devido à sua alta participação nas emissões globais de GEE.

Sabe-se que as mudanças sistêmicas necessárias resultarão não só em novos produtos e serviços, mas também em mudanças nos processos de produção, na infraestrutura e nos modelos de negócio que não se limitam apenas a um único mercado (UNIDO, 2022). Ao alinhar e coordenar ações a nível internacional por meio de cooperação e financiamento, os países e as empresas podem acelerar a inovação, criar sinais mais fortes para investimento e maiores economias de escala, além de estabelecer condições de concorrência equitativas sempre que necessário para garantir que a concorrência seja um motor de transição e não um entrave. A cooperação internacional, o financiamento e o compartilhamento de melhores práticas podem apoiar a adoção generalizada de políticas eficazes e de tecnologias disponíveis (IEA, 2022).

Sem cooperação internacional, a transição global, crucial para alcançar a neutralidade climática, pode ser adiada por décadas, já que os custos das tecnologias críticas de baixo carbono poderiam ser significativamente mais baixos através da ação coletiva de muitos países (Figura 10). Em outras palavras, quanto mais rapidamente a transição avançar, mais rapidamente fornecerá tecnologias limpas a custos mais baixos, tornando-as disponíveis para todos (IEA, 2022).

Figura 10 - Comparativo de cenários *net zero* sem e com cooperação internacional, e a velocidade da transição



Fonte: Adaptado de IEA (2022)

Em um país em desenvolvimento como o Brasil, o mundo enxerga uma janela de oportunidades a ser explorada. O Brasil está assumindo o comando do G20 e do BRICS, além de sediar a Conferência das Nações Unidas - COP30 em 2025. Com isso, o reposicionamento do país na geopolítica global, seja na esfera energético-ambiental, seja na esfera político-mercadológica, o torna ainda mais atrativo para investimentos.

A melhoria da competitividade econômica e o avanço no desenvolvimento produtivo e tecnológico da indústria brasileira dependem dessa integração à comunidade internacional. Somando a urgência climática e a necessidade imediata da descarbonização da indústria, tal integração se desenha por acordos de cooperação que também construam bases sólidas para aprimorar a eficiência energética e produtiva com otimização dos recursos, promover inovações tecnológicas de baixo carbono de modo a dar escala e reduzir custos, e criar oportunidades de empregos verdes. Neste cenário, serão apresentados alguns dos principais mecanismos de fomento e cooperação internacional que abrangem o Brasil e a descarbonização da Indústria, com foco nos países mencionados neste relatório:

Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)

- O Brasil tem participado das atividades da OCDE e de seus órgãos técnicos, com a presença de especialistas brasileiros. Segundo o Ministério da Fazenda³⁷, observa-se uma crescente convergência das políticas nacionais e das melhores práticas internacionais em diversas áreas, como os códigos de conduta para empresas multinacionais, aprimoramento regulatório e políticas de concorrência e promoção de investimento estrangeiro direto. A entrada do Brasil na OCDE é prioridade para a indústria brasileira, e tem apoio de países como Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos (OECD, 2022b).

37 BRASIL. Ministério da Economia. **O Brasil na OCDE**. abr. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/ocde/o-brasil-na-ocde>. Acesso em: 08 ago. 2023.

- O Comitê do Aço da OCDE (*OECD Steel Committee*) se concentra em questões de estrutura de mercado, demanda e capacidade, mas tem, cada vez mais, incorporado discussões relacionadas aos aspectos da descarbonização, tornando-se um importante recurso para apoiar as conversas globais. Além dos atuais membros da OCDE, o Brasil participa do Comitê (IEA, 2022).

União Europeia

- Movimentos para destravar o acordo Mercosul-União Europeia estão sendo realizados, o que beneficiaria a Indústria brasileira em diversos aspectos. Entre as medidas discutidas que podem auxiliar os esforços para a descarbonização, estão ações que reafirmam compromissos no âmbito da UNFCCC, e regras para promoção do desenvolvimento sustentável, que envolvem também negociações para restrições de comércio e investimentos que tenham impactos no desmatamento, biodiversidade e direitos trabalhistas.
- O Horizonte Europa³⁸ (*Horizon Europe*) é o programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da União Europeia com um orçamento de EUR 95,5 bilhões entre 2021 e 2027. O Brasil é mencionado em diversas áreas de financiamento como desejável ou elegível. Além disso, o país firmou um acordo administrativo com a UE com o propósito de simplificar os mecanismos de cofinanciamento para apoiar a participação de pesquisadores e entidades brasileiras no Programa. Este acordo envolve a participação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Agência de Financiamento de Estudos e Projetos (FINEP) e o Conselho Nacional de Agências de Financiamento Estaduais (CONFAP).

Alemanha

- A Agência Alemã de Cooperação Internacional³⁹ (GIZ) atua no Brasil nas áreas prioritárias de energias renováveis, eficiência energética e proteção e uso sustentável de florestas tropicais, com crescente interesse nas áreas de desenvolvimento urbano sustentável e financiamento climático. Por exemplo, o projeto *Promoting Green Hydrogen in Brazil* (H2Brazil) visa melhorar as condições legais, institucionais e tecnológicas para o desenvolvimento de um mercado de hidrogênio de baixo carbono no país, em que até EUR 34 milhões serão atribuídos a cinco produtos: condições de enquadramento, divulgação, formação profissional, inovação e expansão do mercado. Outro programa é o PotencializEE - Programa Investimentos Transformadores de Eficiência Energética, que mobiliza EUR 18 milhões até 2024 com o intuito de promover a eficiência energética em pequenas e médias empresas (PMEs) industriais no Brasil. O PotencializEE conta com recursos do *Mitigation Action Facility*, uma iniciativa conjunta de financiamento que visa ajudar países em desenvolvimento e economias emergentes nos esforços para redução das emissões de GEE.

38. EC - EUROPEAN COMMISSION. **Fundings and grants**. 2024. Disponível em: https://rea.ec.europa.eu/funding-and-grants_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

39 GIZ. **Brazil**. 2023. Disponível em: <https://www.giz.de/en/worldwide/392.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

- Centro Alemão de Ciência e Inovação em São Paulo⁴⁰ (DWI-SP) criado em 2012, reúne representantes de universidades e agências de fomento e do setor privado. É um dos seis centros criados pelo Ministério de Relações Exteriores da Alemanha no mundo.
- O Banco de Desenvolvimento Alemão⁴¹ (KfW) apoia programas e projetos que envolvem principalmente intervenientes do setor público em países em desenvolvimento e economias emergentes. Suas áreas prioritárias no Brasil são proteção climática e utilização sustentável das florestas tropicais, energias renováveis e eficiência energética, e desenvolvimento urbano sustentável. Por exemplo, o novo FGEnergia⁴² - Programa de Garantia a Créditos para Eficiência Energética – evidencia a colaboração entre KfW e BNDES, e busca promover a eficiência energética em PMEs. Além disso, o KfW em cooperação com o Banco do Brasil oferece empréstimo a juros baixos para a proteção do clima e da biodiversidade. O KfW está financiando em mais de EUR 80 milhões medidas para reflorestamento de áreas degradadas no Brasil no âmbito do Programa ABC.

Reino Unido

- Entre os compromissos assumidos na Estratégia *Net Zero* está o de duplicar o financiamento climático internacional para pelo menos £11,6 bilhões entre 2021 e 2025, financiando projetos de adaptação para a neutralidade e construção de resiliência a nível internacional.
- Outro compromisso é implantar o Mecanismo de Empréstimo Direto para Crescimento Limpo⁴³ (*Clean Growth Direct Lending Facility*) de £2 bilhões da *UK Export Finance* (UKEF) para projetos internacionais de desenvolvimento limpo e criar oportunidades de exportação para sua cadeia de fornecimento.
- A Parceria para o Crescimento Verde e Inclusivo⁴⁴ (*Partnership for Green and Inclusive Growth*) entre Brasil e Reino Unido impulsionará a cooperação e o diálogo, inicialmente nos pilares de clima, floresta, agricultura, energia e finanças. A parceria incluirá a colaboração por meio do intercâmbio de políticas públicas, compartilhamento de conhecimento e experiências, ciência e inovação, cooperação e mobilização de financiamento, incluindo capital privado, e colaboração entre as indústrias, incluindo a oportunidade de acessar até £4 bilhões em apoio financeiro a projetos sustentáveis da agência britânica de crédito à exportação, *UK Export Finance*.
- A Parceria para Transições Climáticas Aceleradas (*Partnering for Accelerated Climate Transitions*, UK PACT) apoia países em desenvolvimento com potencial para reduções de emissões, dentre eles o Brasil, construindo bases de conhecimento e trocando experiências via projetos de implementação. O UK PACT lançou recentemente, em agosto de 2024, em parceria com o Ministério do Desenvolvimento,

40 DWI São Paulo. **Calendário científico**. <https://www.dwi-h-saopaulo.org/pt/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

41 KfW. **German-Brazilian cooperation intensified**. 2023. Disponível em: https://www.kfw-entwicklungsbank.de/About-us/News/News-Details_752320.html. Acesso em: 08 ago. 2023.

42 BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/garantias/bndes-fgenergia/bndes-fgenergia>. Acesso em: 08 ago. 2023.

43 REINO UNIDO. **Clean growth direct lending facility**. Disponível em: <https://www.ukexportfinance.gov.uk/products-and-services/clean-growth-direct-lending-facility/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

44 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Declaração Conjunta Brasil-Reino Unido sobre Crescimento Verde e Inclusivo**. maio 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/declaracao-conjunta-brasil-reino-unido-sobre-crescimento-verde-e-inclusivo>. Acesso em: 08 ago. 2023.

Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), por meio do Hub de Descarbonização da Indústria e o Ministério de Minas e Energia (MME), a terceira chamada pública para apresentação de propostas de projetos nas áreas descarbonização industrial. As propostas selecionadas poderão receber aporte de até £3 milhões (R\$ 21 milhões), para desenvolvimento dos projetos.

- A Iniciativa de Descarbonização Industrial Profunda⁴⁵ (*Industrial Deep Decarbonisation Initiative*, IDDI) é liderada pelo Reino Unido e visa estimular a demanda global por materiais industriais de baixo carbono, encorajando os governos e o setor privado a comprar aço e cimento de baixo carbono, e compartilhando dados e informações para padrões e metas comuns. O Brasil aderiu a essa iniciativa⁴⁶.
- O Hub de Descarbonização Industrial – Parceria Brasil-Reino Unido⁴⁷, lançado na COP28, é liderado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) e pelo Departamento de Segurança Energética e *Net Zero* (DESNZ) do Reino Unido, com suporte técnico fornecido pela UNIDO pelo Leadership Group for Industry Transition (LeadIT). Ele surge como outra iniciativa coorganizada pelo Reino Unido e Brasil com o objetivo de mobilizar investimentos internacionais em projetos de descarbonização da indústria brasileira.

Estados Unidos da América

Os Estados Unidos são o segundo maior parceiro comercial do Brasil, perdendo apenas para a China, e por esse motivo, a parceria Estados Unidos-Brasil vai ao encontro de compromissos compartilhados em diversas esferas na busca por desenvolvimento econômico sustentável, promoção da paz internacional, direitos humanos, proteção da biodiversidade; e uma forte cooperação em matéria de defesa, saúde e segurança.

- Mecanismos e fóruns bilaterais, como o Fórum de Energia EUA-Brasil, o Grupo de Trabalho sobre Minerais Estratégicos, o Diálogo Comercial (*U.S.-Brazil comercial dialogue*) e o Fórum de CEOs, reúnem os setores público e privado para coordenar medidas políticas que possam facilitar melhores relações econômicas.
- Os Estados Unidos fornecem apoio técnico e financeiro através de vários meios, entre eles, a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), que visa identificar oportunidades bilaterais e multissetoriais para aumentar a ambição da ação climática – especialmente através da redução do desmatamento. Um exemplo é a Parceria para a Conservação da Biodiversidade Amazônica⁴⁸, um acordo bilateral plurianual (2014-2030) de US\$ 130 milhões.

45 CLEAN ENERGY MINISTERIAL. **Industrial Deep Decarbonisation Initiative**. Disponível em: <https://www.cleanenergyministerial.org/initiatives-campaigns/industrial-deep-decarbonisation-initiative/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

46 BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Ministro Alexandre Silveira anuncia adesão a iniciativas globais para descarbonização e energias limpas**. jul. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ministro-alexandre-silveira-anuncia-adesao-a-iniciativas-globais-para-descarbonizacao-e-energias-limpas>. Acesso em: 08 ago. 2023.

47 REINO UNIDO. **Hub de descarbonização industrial no Brasil**: Brasil-Reino Unido memorando de entendimento. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/industrial-decarbonisation-hub-brazil-uk-memorandum-of-understanding/f50387db-a12c-49a5-b876-a073b31ad007>. Acesso em: 08 ago. 2023.

48 USAID. **Welcome to Partnership for the Conservation of Amazon Biodiversity**. Disponível em: <https://pcabhub.org/en-us>. Acesso em: 08 ago. 2023.

- A Parceria dos Líderes Florestais e Climáticos (*The Forest and Climate Leaders' Partnership* - FCLP), foi lançada na COP 27, co-liderada pelos Estados Unidos, e visa mobilizar ações mais fortes para acabar com o desmatamento e fortalecer o apoio dos governos doadores, filantropia, setor privado e instituições financeiras multilaterais. Um dos grandes focos é o Brasil, e contribuições para o Fundo Amazônia também foram anunciadas.

Estratégias do setor privado

- Organizações privadas e não governamentais têm apresentado iniciativas de financiamento que podem facilitar a transição da indústria. Entre elas, o Grupo de Trabalho sobre Divulgações Financeiras Relacionadas com o Clima (*Task Force on Climate-related Financial Disclosures*), o Quadro da OCDE para Finanças Alinhadas aos ODS (*the OECD's Framework for SDG Aligned Finance*) e os Princípios da ONU para o Investimento Responsável, entre muitos outros.
- A *First Movers Coalition*⁴⁹ é uma coligação de empresas que utilizam o seu poder de compra para criar mercados iniciais para tecnologias limpas inovadoras em oito setores de difícil abatimento - Aviação, transporte marítimo e rodoviário, aço, alumínio, cimento e concreto, e químicos. O *First Movers Coalition* publicou em janeiro de 2024 um relatório sobre o potencial do Brasil para ampliação da descarbonização nos setores de aço, alumínio e aviação. O texto foi produzido em parceria com a Secretaria de Economia Verde, Descarbonização e Bioindústria do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (SEV/MDIC) e com representantes de entidades e de empresas dos três setores.
- A *Mission Possible Partnership*⁵⁰ promove a descarbonização em toda a cadeia de valor industrial, com base na iniciativa *Science-Based Targets*. Foca na colaboração para implementar uma visão compartilhada em sete setores: alumínio, cimento e concreto, produtos químicos (amônia) e aço; aviação, transporte marítimo e transporte rodoviário.

É importante ressaltar cooperações relevantes entre Reino Unido, União Europeia (incluindo a Alemanha), Estados Unidos, como o *Global Arrangement on Sustainable Steel and Aluminium*⁵¹, *Mission Innovation*⁵² e a *Breakthrough Agenda*⁵³, ou do próprio G7. Apesar de não participar diretamente, o Brasil é exemplo de estudos de caso na indústria do aço, alumínio e uso de bioenergia, por exemplo.

49 WEFORUM. **First movers coalition**. Disponível em: <https://www.weforum.org/first-movers-coalition>. Acesso em: 08 ago. 2023.

50 MISSION POSSIBLE PARTNERSHIP. **Sector transition strategies**. 2024. Disponível em: <https://missionpossiblepartnership.org/sector-transition-strategies/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

51 EC – EUROPEAN COMMISSION. **Joint EU-US Statement on a Global Arrangement on Sustainable Steel and Aluminium**. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_5724. Acesso em: 08 ago. 2023.

52 NET-ZERO INDUSTRIES. **Roadmap towards net-zero industries**. Disponível em: http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2022/05/MINZI_roadmap_draft_May2022_MISec.pdf. Acesso em: 08 ago. 2023.

53 REINO UNIDO. **COP26 World Leaders Summit – Statement on the Breakthrough Agenda**. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/cop26-world-leaders-summit-statement-on-the-breakthrough-agenda-2-november-2021/7a0907c9-afa2-4c9f-ae3-b2be0fc9eaa5>. Acesso em: 08 ago. 2023.



5 OPORTUNIDADES E INCENTIVOS PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA

5.1 SISTEMATIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL EM RELAÇÃO AOS ESFORÇOS BRASILEIROS

A sistematização da experiência internacional permite que se obtenham informações relevantes e elementos-chave das iniciativas de descarbonização industrial dos países estudados e que podem ser replicadas no processo da indústria brasileira. Entretanto, é importante avaliar as características de cada país, e entender as modularidades das soluções de descarbonização a serem implementadas. Enquanto países europeus e Estados Unidos somam esforços para descarbonizar o setor de energia, incluindo transportes e indústria, o Brasil conta com a maior participação nas emissões de GEE no setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (IPCC, 2023).

Além de suas NDCs fazerem menção a medidas para o setor industrial, os países estudados possuem metas de longo prazo e mesmo que não contenham todas as estratégias para a indústria, propõem avanços e medidas específicas em outros documentos oficiais. Estes documentos servem de apoio para a tomada de decisão, pois apresentam modelagens e cenários de mitigação com diferentes contribuições dos setores.

O Brasil por sua vez, apesar de se comprometer a reduzir em 53% as emissões de GEE até 2030 e alcançar a neutralidade até 2050, ainda não submeteu uma estratégia formal de longo prazo à UNFCCC, tampouco detalhou planos ou medidas para alcançar tais objetivos. Além disso, a própria NDC ainda não faz menção às medidas para o setor industrial, o que impede comparações diretas com os casos estudados. Portanto, a consolidação de marcos regulatórios, principalmente no que tange ao detalhamento das medidas para atingimento das metas climáticas brasileiras é necessária, assim como a possibilidade de maior participação de entidades representativas do setor produtivo nas discussões sobre essas medidas.

De modo geral, áreas e tecnologias prioritárias nas políticas e nos planos industriais estudados incluem biotecnologia, energia renovável, mudança de processos e troca de combustíveis, eletrificação industrial e veicular, manufaturas avançadas, novos materiais, baterias e semicondutores, uso de CCU e CCS industrial, e atenção especial aos setores de difícil abatimento, como a indústria cimentícia e do aço. Também abrangem segurança alimentar, cibernética, bem como defesa nacional, visando reduzir a dependência externa e abrandar os efeitos geopolíticos adversos. Para isso, os países estão adotando medidas como incentivos fiscais e subsídios, ao mesmo tempo em que buscam fortalecer e diversificar suas estruturas de financiamento e apoio à produção local. Para além de fundos e mecanismos tributários, os governos estão recorrendo a parcerias público-privadas, fomento aos clusters industriais e alianças, cooperação internacional e investimentos em P&DI (CNI, 2023).

Neste sentido, o país deve desenvolver a expertise nacional em Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) e processos robustos para a retenção de talentos. Entre ações prioritárias também se encontram o estímulo ao P&DI, desde a pesquisa básica ao ambiente de negócios; a promoção de maiores investimentos em bioeconomia e soluções baseadas na natureza; o desenvolvimento de estudos aprofundados e trocas de conhecimento sobre clusters industriais; a promoção de novos padrões de processos industriais nacionais voltados para tecnologias de baixo carbono e o desenvolvimento e transferência de tecnologia; assim como a criação de plataformas/hubs para compartilhamento de melhores práticas, treinamentos, engajamento e capacitação.

Outras ações se voltam à implementação de tecnologias de CCS e cadeias de valor do hidrogênio de baixo carbono de modo a atrair maiores investimentos e posicionar o Brasil como um dos líderes mundiais no setor; maior aproveitamento da biomassa/bioenergia na produção, aproveitando o protagonismo brasileiro; promoção do fluxo e economia circular de materiais e medidas de ganhos de eficiência energética; aproveitamento de subprodutos e resíduos para processos de produção; e estabelecimento de mecanismos de conexão entre ambientes de inovação e o setor industrial, incentivando atividades de *startups* e *sandboxes* regulatórios.

No que tange ao financiamento, é importante que o país:

- (i) crie condições e regulação apropriada para reduzir os riscos do setor financeiro, assim como destravar e/ou facilitar o acesso a crédito, financiamento, capital e recursos alternativos;
- (ii) incentive instrumentos financeiros e incentivos fiscais, empréstimos, títulos verdes e classificações e padrões do mercado de títulos, incluindo padrões ASG (Ambiental, Social e Governança);
- (iii) coordene ações e mecanismos financeiros por meio de cooperação internacional, fóruns bilaterais e multilaterais, acordos comerciais entre blocos, alianças setoriais como o Comitê do aço, e parcerias, como a Parceria para o Crescimento Verde e Inclusivo; e
- (iv) fomente a criação de fundos específicos para o setor industrial e regras para transparência financeira e proteção de investidores e consumidores.

Neste sentido, outro ponto de atenção diz respeito à governança e a visão sistêmica das estratégias dos países estudados, nas quais existem responsabilidades de fiscalização, monitoramento e retroalimentação de informações para o atingimento das metas, e forte participação do setor público e privado com investimentos em tecnologia e inovação. Aqui, um passo importante dado pelo Brasil foi o lançamento de planos, como a Nova Indústria Brasil (NIB)⁵⁴ e do Novo Programa de Aceleração (PAC)⁵⁵.

Lançada em janeiro de 2024, a NIB tem como objetivo impulsionar o setor industrial brasileiro, focando no desenvolvimento produtivo e tecnológico. A iniciativa busca aumentar a competitividade da indústria nacional, direcionar investimentos, gerar empregos de qualidade e fortalecer a presença

54 BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Brasil ganha nova política industrial com metas e ações para o desenvolvimento até 2033**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/janeiro/brasil-ganha-nova-politica-industrial-com-metas-e-aco-es-para-o-desenvolvimento-ate-2033>. Acesso em: 08 ago. 2023.

55 BRASIL. Casa Civil. Conheça o **Novo PAC**. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/conheca-o-programa>. Acesso em: 08 ago. 2023.

do país no mercado internacional. Para isso, a NIB se baseia em seis missões estratégicas: cadeias agroindustriais sustentáveis e digitais; complexo econômico e industrial da saúde; infraestrutura, saneamento, moradia e mobilidade sustentáveis; transformação digital da indústria; bioeconomia, descarbonização e transição energética; e tecnologias essenciais para a soberania e a defesa nacional. O investimento inicialmente previsto é de R\$ 300 bilhões até 2026⁵⁶, com recursos disponibilizados por meio de linhas específicas, que podem ser reembolsáveis ou não reembolsáveis, além de recursos do mercado de capitais.

Especificamente em relação à descarbonização industrial, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial – o CNDI estabeleceu a Missão 5: Bioeconomia, descarbonização e transição e segurança energéticas para garantir os recursos para as gerações futuras, e traz os seguintes desafios:

- Ampliar parcerias entre academia, setor privado e fundos internacionais para pesquisa aplicada;
- Incentivar a inovação tecnológica com foco na descarbonização;
- Estimular a qualificação profissional com foco nos setores da bioeconomia e transição e eficiência energética;
- Regulamentar as compras governamentais com foco na bioindústria;
- Promover a nacionalização de produção de equipamentos voltados à geração de energia renovável;
- Desenvolver as rotas tecnológicas “verdes”.

Considerando a parte de descarbonização, o estabelecimento, no âmbito do Plano Clima, das ações de redução de emissões do setor industrial, trarão concretude à necessidade de desenvolver programas sólidos para o atingimento tanto da redução de emissões como da importância de designar recursos específicos para viabilizar a Neointustrialização, aproveitando as vantagens comparativas verdes da nossa indústria.

Já o novo PAC, programa de investimentos coordenado pelo governo federal em parceria com o setor público nos diferentes níveis, privado e movimentos sociais, prevê o crescimento de setores estratégicos, destinando R\$1,7 trilhão em todos os estados do país. O programa está organizado em Medidas Institucionais e nove Eixos de Investimento. As Medidas Institucionais se constituem em: i) aperfeiçoamento do ambiente regulatório e do licenciamento ambiental; ii) expansão do crédito e incentivos econômicos; iii) aprimoramento dos mecanismos de concessão e PPPs; iv) incentivos à transição ecológica; e v) planejamento, gestão e compras públicas. Já os Eixos de Investimentos são as áreas beneficiadas pelo programa: transporte eficiente e sustentável; cidades sustentáveis e resilientes; água para todos; educação, ciência e tecnologia; saúde; infraestrutura social inclusiva; transição e segurança energética; inclusão digital e conectividade; e inovação para a indústria de defesa.

⁵⁶ Outros recursos têm sido anunciados e se somam à NIB, como o incremento de valores destinados ao mecanismo Plano Mais Produção (P+P). AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DA INDÚSTRIA. **Nova Indústria Brasil ganha reforço financeiro de R\$ 42,7 bilhões**. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/politica-industrial/nova-industria-brasil-ganha-reforco-financeiro-de-r-427-bilhoes/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

Além disso, a própria indústria brasileira tem se posicionado ativamente por meio do Plano de Retomada da Indústria⁵⁷, o Mapa Estratégico da Indústria (2023-2032)⁵⁸, e outras iniciativas, promovendo debates frequentes junto a órgãos ministeriais, associações, representantes e sociedade civil. Por fim, os países analisados se preocupam em trazer medidas de proteção da competitividade, compartilhamento de conhecimento, segurança energético-ambiental e de mercado, e geração de empregos verdes. Por exemplo, os efeitos das reformas nos EU ETS e UK ETS, as novas leis para produção de matérias-primas críticas e, em particular, as leis recentemente aprovadas, como a Lei do Desmatamento, as regras para evitar o *Greenwashing* e o CBAM, precisam continuar a ser fortemente discutidas no Brasil, garantindo que o país avance em sua agenda climática de forma eficaz e responsável.

5.2 DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES PARA A INDÚSTRIA NACIONAL

Os desafios da descarbonização industrial variam não apenas em função das características de cada país e sua governança, mas também em função das especificidades de cada segmento industrial. Portanto, é crucial compreender os principais entraves de forma individual, a fim de propor as soluções mais adequadas e assegurar mecanismos e um posicionamento eficaz de toda a Indústria.

O Brasil possui uma matriz elétrica limpa, e uma matriz energética em transição para predominância em fontes renováveis, o que traz benefícios comparativos das emissões nacionais em relação a outros países com energia majoritariamente dependente de combustíveis fósseis. Mas ainda existe uma parcela da atividade industrial, em especial devido ao consumo de energia gerada a partir da queima de combustíveis fósseis e às emissões dos processos de transformação, como as indústrias metalúrgicas e cimentícia.

Entre os desafios comuns enfrentados pelos segmentos industriais, como aço, cimento, vidro, alumínio, papel e celulose, e indústria química, destaca-se a necessidade de capacitação dessa nova força de trabalho, para lidar com novas tecnologias e processos de produção, o que requer tempo e recursos consideráveis. Além disso, a implementação de tecnologias mais sustentáveis em certos setores demanda investimentos iniciais significativos. Para aqueles que ainda estão em estágios iniciais de maturidade, há uma necessidade adicional de investimento em pesquisa e desenvolvimento, assim como a formação de parcerias tecnológicas estratégicas. Ademais, os custos relacionados à modernização das instalações e à adoção de novas tecnologias podem representar um obstáculo para muitas empresas do setor.

A indústria do vidro, por exemplo, enfrenta desafios relacionados à logística reversa, como a distância dos locais de consumo e coleta até as empresas que reciclam (incluindo *hubs* e cooperativas), encarecendo o transporte, e dificultado pelos baixos índices de coleta seletiva no país e da ainda fragilidade do envolvimento da cadeia de consumo. Além disso, apesar de ainda incipiente no país e

57. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Plano de Retomada da Indústria**: uma nova estratégia, focada em inovação, descarbonização, inclusão social e crescimento sustentável. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2023/5/plano-de-retomada-da-industria-uma-nova-estrategia-focada-em-inovacao-descarbonizacao-inclusao-social-e-crescimento-sustentavel/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

58. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Mapa Estratégico da Indústria 2023-2032**. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2023/10/mapa-estrategico-da-industria-2023-2032/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

da inviabilidade econômica, a indústria do vidro tem explorado alternativas como o biogás/biometano e o hidrogênio de baixo carbono como fontes energéticas complementares, e possibilidades de substituição de componentes tradicionais, como a barrilha, um composto mineral, por materiais de origem vegetal, entre outros.

Diferente de setores das indústrias de base como siderurgia, cimento, vidro, químicos e fertilizantes, que são considerados de difícil abatimento de emissões de GEEs (*hard-to-abate*) devido à natureza de suas operações intensivas em carbono e em energia, a indústria do papel e celulose é uma importante produtora de biomassa, e pilar na construção da bioeconomia. 87% da energia consumida pelo setor vem de fontes renováveis, sendo a principal delas o licor preto, seguido da biomassa e do cavaco; além disso, algumas empresas já são autossuficientes em energia e exportam o excedente para a rede de distribuição. Também é importante ressaltar o significativo sequestro e armazenamento de carbono proporcionado por esse setor, além das emissões evitadas e da circularidade da cadeia. Ainda assim, a gestão de resíduos e efluentes é um desafio constante, juntamente com a modernização da infraestrutura para otimização da recuperação de energia em processos industriais, entre outros desafios de cunho tecnológico, e custo.

Na indústria química, os desafios se concentram em vários processos, principalmente na produção de amônia, etileno e metanol. A substituição de matérias-primas mais emissoras, como a nafta petroquímica, pelo gás natural e pela biomassa (alcoólquímica e oleoquímica), representa um avanço significativo na transição, uma vez que proporciona maior eficiência energética e redução das emissões de CO₂. Em etapas posteriores, a utilização de matérias-primas oriundas da reciclagem química e hidrogênio de baixo ou zero carbono na produção de produtos químicos tem o potencial de minimizar a pegada de carbono de setores industriais importantes, especialmente quando combinada com tecnologias de captura e uso de carbono (CCUS). No entanto, a modificação ou substituição de processos químicos tradicionais por alternativas mais sustentáveis pode ser desafiadora e onerosa, exigindo investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento.

Para combater os resíduos plásticos mal gerenciados e atingir a neutralidade climática, as taxas de reciclagem devem aumentar significativamente em todo o mundo, apoiadas por uma infraestrutura aprimorada de coleta, triagem e distribuição de resíduos, incentivos econômicos e de mercado e implementação de leis e políticas. Além disso, integrar a reciclagem química com a reciclagem mecânica é crucial. Embora a reciclagem mecânica seja eficiente em termos de recursos, a reciclagem química pode lidar com uma gama mais ampla de resíduos plásticos e superar problemas como a degradação de polímeros. Usando resíduos plásticos separados como matéria-prima valiosa, a indústria química pode reduzir os potenciais impactos ambientais da incineração de plástico ou da má gestão de resíduos plásticos.

Por sua vez, a indústria de alumínio tem implementado diversas medidas para reduzir as emissões diretas e indiretas, mesmo considerando que a intensidade carbônica do alumínio brasileiro é aproximadamente três vezes inferior à média mundial. Dentre as medidas, destacam-se: tecnologias de geração própria de energia por fontes renováveis; maximização do uso da sucata do processo

industrial e pós-consumo; substituição de combustíveis fósseis carbono-intensivos por gás natural e biomassa - ou idealmente por fontes renováveis; adoção de medidas de eficiência nas plantas atuais – como a recuperação de calor e vapor; modernização dos fornos; melhorias logísticas em áreas remotas; promoção da circularidade e ampliação contínua da parcela reciclada do produto nacional.

Nesse contexto, os índices de reciclagem de alumínio no Brasil são impressionantes, com 57,3% do consumo de produtos de alumínio em 2023 provenientes da reciclagem. Entretanto, a atividade de reciclagem enfrenta desafios significativos, como a sonegação e a fraude, além da informalidade nas atividades, onde diversas empresas e agentes informais operam de maneira dispersa, dificultando a fiscalização por parte dos órgãos públicos em relação à conformidade tributária e regulatória. Adicionalmente, a disponibilidade de crédito e linhas de financiamento para modernização de processos, obtenção de escala, importação de equipamentos e investimento em tecnologia e inovação ainda é limitada.

Já a produção de cimento no Brasil vem adotando, há muitas décadas, as melhores práticas disponíveis internacionalmente, como medidas de eficiência energética, crescente utilização de combustíveis alternativos (queima de biomassa e de resíduos) e a busca pela ampliação do uso de adições e substitutos de clínquer (escórias siderúrgicas, cinzas de termoelétricas, pó de calcário e argilas calcinadas), o que ajudou a posicioná-la entre os países com as menores intensidades carbônicas do mundo – a menor em 20 dos últimos 30 anos. Para avançar ainda mais, entretanto, este segmento enfrenta desafios competitivos e relacionados à descarbonização da produção, sejam eles técnicos, regulatórios, normativos ou de financiamento. Entre os principais desafios estão: dificuldades na disponibilidade de argilas adequadas para calcinação; limite técnico e normativo para adição de filler calcário e outras adições; falta de incentivo público no desenvolvimento e investimento em novas tecnologias de adição somados à ausência de incentivos para compras públicas com alta adição; inviabilidade financeira para fornos de calcinação de argilas; falta de incentivos econômicos para projetos de ampliação de coprocessamento de resíduos; custos logísticos das biomassas e competição com outras aplicações (reutilização na siderurgia, uso em caldeira); entre outros desafios de cunho regulatório e de custos.

A siderurgia possui alta relevância estratégica na economia nacional, seja em razão de seus impactos diretos e indiretos nos demais setores da economia, seja por força de seu potencial circular e impulsionador para uma economia de baixo carbono e insumo essencial para fabricar equipamentos e infraestrutura necessários à descarbonização, como turbinas eólicas, painéis solares, torres de transmissão de energia e dutos para transporte de gás natural. Adicionalmente, é um material de grande relevância para a economia circular. Suas propriedades físico-químicas o tornam o material mais reciclado no mundo, com uma reciclabilidade que pode chegar a até 100%, podendo ser reciclado inúmeras vezes mantendo a qualidade e as propriedades inerentes do aço original.

A indústria do aço brasileira vislumbra que nos curto e médio prazos, suas ações estarão voltadas à utilização da estrutura produtiva já existente, porém adaptada a tecnologias de baixo carbono através de uma combinação de iniciativas a serem adotadas no máximo do limite técnico-econômico

possível, considerando, por exemplo, a ampliação do uso de sucata, de gás natural e uso de biomassa. No entanto, diversos desafios persistem, entre os quais se destacam: inadequação da infraestrutura atual para o transporte e a distribuição de gás natural, que pode não ser suficiente para atender à futura demanda; tarifas elevadas de gás natural em comparação a outros países; baixa oferta de sucata no mercado interno; a dificuldade de importação do insumo em virtude da adoção de medidas de restrição à exportação da matéria-prima em mercados internacionais; a oferta insuficiente de carvão vegetal dentro de um raio econômico, juntamente com os altos custos do transporte interestadual desse insumo; e falta de um arcabouço jurídico e regulatório consolidado para o uso de tecnologias como captura e armazenamento de carbono (CCUS) e hidrogênio, além dos elevados custos de capital (CAPEX) e operacionais (OPEX) para a implementação de tecnologias disruptivas.

Além disso, a crescente competitividade da siderurgia em países com incentivos, como os Estados Unidos, pode acelerar o comércio internacional desses produtos. Isso é preocupante, pois as exportações do Brasil se concentram em itens de baixa complexidade tecnológica. A indústria química e a siderurgia enfrentam concorrência predatória de produtos importados, impulsionada pela valorização da moeda e pelos incentivos estaduais que favorecem a entrada de produtos estrangeiros.

Apesar dos avanços em diversas tecnologias e processos necessários para a descarbonização, alguns segmentos industriais altamente energo-intensivos e de difícil abatimento (do inglês, *hard-to-abate*) ainda carecem de soluções disponíveis, maduras, ou economicamente viáveis. Esses setores também estão mais expostos às restrições de políticas de comércio internacional, como o CBAM da União Europeia, que não leva em conta as emissões de escopo 2, ou seja, aquelas associadas ao consumo de eletricidade, mesmo com a vantagem brasileira de baixa intensidade de carbono da matriz elétrica.

De modo geral, os desafios enfrentados pelo Brasil também abrangem uma série de dificuldades estruturais, tributárias, burocráticas, trabalhistas e econômicas, comumente referidas como Custo Brasil. Esse conjunto de fatores impacta negativamente o ambiente de negócios, eleva os preços dos produtos nacionais e compromete os investimentos no país.

Assim, com base na análise dos países estudados na experiência internacional e nas principais dificuldades enfrentadas pelos setores industriais brasileiros, foram sintetizadas as principais medidas de implementação e as recomendações mais relevantes para a indústria brasileira:

Desenvolvimento estratégico:

- Consolidar marcos regulatórios modernos e harmonizados, principalmente no que tange à Estratégia de Longo Prazo e detalhamento das medidas necessárias para a descarbonização da indústria e atingimento da NDC;
- Adotar medidas que garantam uma oferta de gás natural com tarifa competitiva e expandir a rede de distribuição das concessionárias locais do insumo.

- Para que as metas de redução de emissões no setor sejam realmente viáveis, é importante considerar o crescimento da capacidade produtiva de cada segmento industrial, assim como as expectativas futuras, em consonância com as metas de desenvolvimento do país.
- Promover uma comunicação transparente e revisões frequentes das emissões de todos os setores industriais, juntamente com suas respectivas ações de mitigação. Essa abordagem deve ser baseada em processos participativos e na busca pela melhoria contínua, demandando maior ambição e comprometimento de cada segmento e empresa.
- Fomentar o envolvimento direto e indireto das entidades representativas dos setores econômicos na implementação da estratégia de neutralidade climática;
- Aumentar o volume de investimentos públicos e privados em infraestrutura; a exemplo dos recursos do PAC, que se compromete com a transição ecológica e a neoindustrialização;
- Preparar as empresas brasileiras, com foco nas pequenas e médias, para expandirem seu alcance no mercado, permitindo-lhes integrar cadeias globais de fornecimento;
- Destruir barreiras para geração de empregos e negócios verdes;
- Promover melhorias no ambiente de negócios nos contextos nacional e internacional, com o objetivo de estimular a competitividade da indústria brasileira;
- Estimular o fomento à P&DI, desde a pesquisa básica até o ambiente de negócios;
- Promover maiores investimentos em bioeconomia e soluções baseadas na natureza;
- Considerar a vida útil de equipamentos e plantas industriais, como fornos, ao estabelecer planos setoriais e discussões sobre orçamento de carbono e metas de redução de emissões;
- Aumentar o combate ao desmatamento ilegal, visto que o atingimento da meta está fortemente condicionado ao cumprimento do desmatamento zero; E também alavancar fundos e investimentos voltados para a proteção da biodiversidade;

Tecnologia e inovação:

- Implementar tecnologias de CCS e cadeias de valor do hidrogênio de baixo carbono de modo a atrair maiores investimentos e posicionar o Brasil como um dos líderes mundiais no setor;
- Maior aproveitamento da biomassa/bioenergia na produção, aproveitando o protagonismo brasileiro;
- Promover o fluxo e a economia circular de materiais e medidas de ganhos de eficiência energética; assim como aproveitar subprodutos e resíduos para processos de produção;
- Cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com suas premissas de Logística Reversa e demais instrumentos;

- Adotar medidas para simplificar a logística e reduzir os custos no transporte de matérias-primas e insumos energéticos utilizados nos processos produtivos, incluindo sucata;
- Desenvolver estudos aprofundados e trocas de conhecimento sobre clusters industriais;
- Promover novos padrões de processos industriais nacionais voltados para tecnologias de baixo carbono, reconhecendo a necessidade de investimentos significativos em capital (CAPEX) e custos operacionais (OPEX), dado que a transição para tecnologias mais sustentáveis requer um elevado aporte financeiro;
- Promover o aumento da competitividade e alavancar as exportações brasileiras de alto valor agregado.
- Apoiar o desenvolvimento das cadeias do complexo industrial da defesa e segurança nacional;
- Atrair parcerias e investimentos que fomentem a transformação digital, com ações específicas voltadas, por exemplo, para a fabricação de chips e semicondutores, além da instalação de datacenters no país, aproveitando principalmente o potencial de energia renovável.
- Promover o desenvolvimento e a transferência de tecnologia, assim como a criação de plataformas/hubs para compartilhamento de melhores práticas, treinamentos, engajamento e capacitação;
- Desenvolver a expertise nacional em CTI e processos robustos para a retenção de talentos;
- Estabelecer mecanismos de conexão entre ambientes de inovação e o setor industrial, incentivando atividades de startups e sandboxes regulatórios;

Aspectos mercadológicos (cooperação internacional, financiamento, e mercado de carbono):

- Formulação de mecanismos para superação das barreiras comerciais que impactem bens e serviços de origem nacional;
- Criar um sistema robusto, e de longo prazo, de financiamento aos investimentos e às exportações;
- Criar condições e regulação apropriada para redução dos riscos do setor financeiro, bem como destravar e/ou facilitar o acesso a crédito, financiamento, capital e recursos alternativos;
- Incentivar instrumentos financeiros e incentivos fiscais, empréstimos, títulos verdes e classificações e padrões do mercado de títulos, incluindo padrões ESG;
- Fomentar um ambiente favorável ao investimento, que combine incentivos para a redução das emissões com a flexibilidade necessária para integrar novas tecnologias, incluindo aquelas que possam ser disruptivas.
- Fomentar a criação de fundos específicos para o setor industrial e regras para transparência financeira e proteção de investidores e consumidores;

- Criar condições de maior aproveitamento e replicação dos recursos de agências internacionais e bancos de desenvolvimento em prol da descarbonização da indústria;
- Coordenar ações a nível internacional por meio de cooperação e financiamento, para que países e empresas possam se alinhar e acelerar a inovação tecnológica;
- Estimular e estabelecer mecanismos financeiros por meio da cooperação internacional, fóruns bilaterais e multilaterais, acordos comerciais entre blocos, alianças setoriais e parcerias técnicas com outros países.
- Estabelecer um mercado regulado de carbono no Brasil por meio de uma lei, no modelo *cap and trade*, para o setor industrial, que não afete a competitividade nacional face aos importados. É preciso também criar a infraestrutura no Governo e as condições para apoiar os mecanismos de precificação de carbono e evitar distorções;
- Incluir a participação do setor industrial nas discussões sobre o desenho do mercado de carbono, promovendo uma estrutura mais eficaz e que favoreça a transição para uma economia de baixo carbono;
- Buscar meios de garantir a competitividade da indústria nacional frente aos produtos importados, que poderão chegar ao mercado brasileiro em condições mais competitivas (mecanismo de ajuste de carbono na fronteira brasileira);
- Implantar processos concretos para monitoramento, relato e verificação (MRV), e registo nacional de emissões de GEE da atividade industrial, equivalentes à estrutura de registro internacional, garantindo a comparabilidade de dados;
- Diferente dos países estudados, dar maior ênfase aos projetos de REDD+, observando sua metodologia, integridade dos créditos de carbono gerados e integração com o arcabouço internacional.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição para uma economia de baixo carbono tornou-se a pilar incontestável na agenda global. Nesse cenário, o estabelecimento de uma coordenação incisiva, de regulamentações efetivas e estratégias abrangentes, é fundamental para combater os efeitos adversos das mudanças climáticas. O setor industrial, espinha dorsal da economia mundial, tem um papel preponderante não apenas em sua adesão às metas de redução de emissões, mas também por ser um propulsor de inovações que podem promover uma descarbonização inclusiva e justa. Descarbonizar, em sua essência, significa estabelecer metas tangíveis, assegurar financiamentos adequados, e estimular cooperações bilaterais e multilaterais, especialmente em países emergentes como o Brasil, que enfrentam desafios tecnológicos e ainda dependem consideravelmente de combustíveis fósseis.

Na escala global, observa-se um crescente foco em estratégias de descarbonização segmentada, objetivando um setor industrial mais ágil, tecnológico e preparado para lidar com desafios contemporâneos, como a escassez de recursos vitais e as intrincadas cadeias de suprimento. O Brasil, munido de um vigoroso mercado consumidor e uma matriz elétrica majoritariamente limpa, tem direcionado esforços no sentido de potencializar as energias renováveis. Entretanto, há uma demanda latente por políticas industriais mais harmonizadas que facilitem uma transição equitativa, permitindo que o país compita no cenário internacional e responda proativamente às mudanças globais. Uma desconexão entre as políticas industriais e ambientais ainda persiste, necessitando de maior sinergia para a realização plena dos objetivos de sustentabilidade e de neutralidade climática até 2050.

No panorama do financiamento climático, emerge uma complexa rede que engloba desde mecanismos sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima e do Acordo de Paris, até robustas estruturas de financiamento de instituições financeiras públicas, privadas e agências multilaterais. A visão holística dessas iniciativas passa por uma profunda metamorfose, ao dissociar a industrialização da exploração indiscriminada de recursos naturais. Tal transição requer uma profunda renovação nos processos e nos modelos de negócios. A troca de expertise, o financiamento colaborativo e a cooperação internacional são catalisadores que aceleram essa metamorfose, democratizando tecnologias e tornando-as acessíveis universalmente.

A inércia ou a falta de cooperação poderia postergar o alcance de emissões líquidas zero por gerações. Em contrapartida, uma transição ágil e coesa pode promover uma queda significativa nos custos das tecnologias de baixo carbono, gerando dividendos para todas as nações.

Para o Brasil, o horizonte é repleto de oportunidades. Seu protagonismo crescente em fóruns como MERCOSUL, G20, BRICS, e a iminente realização da COP30 em 2025, ressalta seu posicionamento geopolítico estratégico e sua atratividade como destino de investimentos. Esta integração global não é apenas crítica para o progresso econômico e tecnológico brasileiro, mas representa também uma resposta à urgência climática.

A dissecação das iniciativas internacionais de descarbonização industrial fornece panoramas ricos para a indústria brasileira. Contudo, ao integrar esses insights, é essencial considerar as nuances e especificidades da nação. Enquanto potências como Europa e EUA enfatizam a descarbonização energética e industrial, o Brasil se depara com desafios eminentes nas emissões vinculadas ao setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas.

A maioria dos países tem delineado metas precisas e meticulosas para a descarbonização industrial. O Brasil, apesar de ter se comprometido com uma redução de 53% nas emissões de GEE até 2030 e almejar a neutralidade carbônica até 2050, necessita consolidar uma estratégia de longo alcance. Para tanto, é imperativo moldar marcos regulatórios coesos que garantam a implementação e fomentar a participação proativa da indústria e da sociedade civil.

Os pilares prioritários identificados globalmente incluem biotecnologia, energia renovável e eletrificação industrial. Países têm fortalecido infraestruturas financeiras e promovido alianças público-privadas efetivas. Para o Brasil, é crucial potencializar Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI), estimular Pesquisa e Desenvolvimento e Inovação (P&DI), e alavancar a bioeconomia.

No âmbito financeiro, torna-se essencial estruturar regulamentações que simplifiquem o acesso ao crédito, em condições que reflitam as necessidades das empresas, além de direcionar recursos para a descarbonização dos setores *'hard-to-abate'*, que enfrentam desafios específicos na transição para tecnologias de baixo carbono. A promoção de instrumentos financeiros alinhados à sustentabilidade, e o estímulo à cooperação internacional são diretrizes primordiais. A governança se revela como um elemento central neste processo. Nações que alcançaram êxito nesse caminho têm investido maciçamente em tecnologia, monitorando e retroalimentando informações de maneira contínua. Para o Brasil, o lançamento de planos estruturantes como a Nova Indústria Brasil é um marco, juntamente com os investimentos do novo PAC. Além disso, os avanços nas discussões para a aprovação de um Mercado Regulado de Carbono pode mobilizar todo o sistema financeiro e produtivo do país nas discussões sobre enfrentamento climático.

No cenário global, a proteção da competitividade, a segurança energética e a geração de empregos sustentáveis emergem como preocupações unânimes. O Brasil, por sua vez, tem a prerrogativa de superar barreiras comerciais, edificar um mercado de carbono bem estruturado e priorizar projetos como o REDD+. Além disso, consolidar-se como vanguarda nos esforços contra o desmatamento ilegal é fundamental para honrar os compromissos estabelecidos no Acordo de Paris.

Em conclusão, ao se inspirar nas melhores práticas globais e ao adaptá-las à sua realidade intrínseca, o Brasil tem uma oportunidade sem precedentes de se posicionar como líder mundial em sustentabilidade industrial. A junção de investimentos robustos, aprimoramento da governança e engajamento da sociedade civil pode impulsionar o país para um futuro em que a industrialização e a sustentabilidade caminham lado a lado. É uma trajetória desafiadora, mas com visão, determinação e cooperação, o Brasil está mais do que capacitado para liderar este movimento global.

Agradecemos a contribuição das associações setoriais:

Associação Brasileira da Indústria Química – Abiquim

Associação Brasileira das Indústrias de Vidro – Abividro

Associação Brasileira de Alumínio – Abal

Indústria Brasileira de Árvores – Ibá

Instituto Aço Brasil

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP

REFERÊNCIAS

ALEMANHA. **Intergenerational contract for the climate**. jun. 2021. Disponível em: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/climate-change-act-2021-1936846>. Acesso em: 8 ago. 2023.

ALEMANHA. Federal Ministry of Finance. **Immediate Action Programme for 2022**. 2021. Disponível em: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Topics/Priority-Issues/Climate-Action/immediate-climate-action-programme-for-2022.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ALEMANHA. **Joining forces to strengthen German industry**. 2024. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/joining-forces-to-strengthen-german-industry.html>. Acesso em: 08 ago. 2023.

BEIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY. **Industrial Decarbonisation Strategy**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/industrial-decarbonisation-strategy>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BEIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY. **Build Back Better: our plan for growth**. 2021b. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/968403/PfG_Final_Web_Accessible_Version.pdf. Acesso em: 18 ago. 2023.

BEIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY. UK **Innovation Strategy**: leading the future by creating it. 2021c. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-innovation-strategy-leading-the-future-by-creating-it>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BEIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY. **The journey to Net Zero – Policy Paper**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/net-zero-strategy/2-the-journey-to-net-zero#a-systems-approach-to-the-net-zero-journey>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BEIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY. UK **Emissions Trading Scheme markets**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-emissions-trading-scheme-markets/uk-emissions-trading-scheme-markets>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BERKELEY CALIFORNIA-CHINA CLIMATE INSTITUTE. **States' climate action map**. 2024. Disponível em: <https://ccci.berkeley.edu/states-climate-action-map>. Acesso em: 8 ago. 2023.

BMUV - THE FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION, NUCLEAR SAFETY AND CONSUMER PROTECTION. 2021. **Federal Climate Change Act (Bundes-Klimaschutzgesetz)**. Disponível em: https://www.gesetze-im-internet.de/englisch_ksg/englisch_ksg.pdf. Acesso em: 04 set. 2023.

BMWK - FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND CLIMATE ACTION. **Industrial Strategy 2030**. 2023. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/industrial-strategy-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Acesso em: 04 set. 2023.

BMWK - FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND CLIMATE ACTION. **The National Hydrogen Strategy**. 2020. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=6. Acesso em: 04 set. 2023.

BMWK - FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND CLIMATE ACTION. **Rohstoffstrategie der Bundesregierung**. 2019. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Acesso em: 03 set. 2023.

BMWK - FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND CLIMATE ACTION. **Monitoring der Energiewende**. 2024. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/monitoring-prozess.html>. Acesso em: 05 set. 2024.

CSR. **Supply Chain Act. 2023**. Disponível em: <https://www.csr-in-deutschland.de/EN/Business-Human-Rights/Supply-Chain-Act/supply-chain-act.html>. Acesso em: 04 set. 2023.

CAP - THE CENTER FOR AMERICAN PROGRESS. **Investing to be competitive: the New U.S. industrial strategy**. 2023. Disponível em: <https://www.americanprogress.org/article/investing-to-be-competitive-the-new-u-s-industrial-strategy/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

CCI – CALIFORNIA-CHINA CLIMATE INSTITUTE. **California-China climate institute**. 2023. Disponível em: <https://ccci.berkeley.edu/states-climate-action-map>. Acesso em: 10 ago. 2023.

CLIMATE TRACKER. **Country summary**. 2023. Disponível em: <https://climateactiontracker.org/countries/eu/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

CLIMATE WATCH. **Net-zero tracker**. 2023. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/net-zero-tracker>. Acesso em 08 ago. 2023.

CLEAN ENERGY WIRE. **Germany's greenhouse gas emissions and energy transition targets**. 2023. Disponível em: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets>. Acesso em 04 set. 2023.

WATSON, Charlene; ODI; SCHALATEK, Liane; HBS; EVÉQUOZ, Aurélien. **The Global Climate Finance Architecture**. 2023. Disponível em: <https://climatefundsupdate.org/wp-content/uploads/2023/03/CFF2-2023-ENG-Global-Architecture.pdf>. Acesso em: 01 set. 2023.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Plano de Retomada da Indústria: uma nova estratégia, focada em inovação, competitividade, descarbonização, inclusão social e crescimento sustentável**. Brasília: CNI, 2023.

DEHST - DEUTSCHE EMISSIONSHANDELSSTELLE. **Greenhouse Gas Emissions in 2020**. 2020. Disponível em: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/publications/2020_VET-Report_summary.pdf?__blob=publicationFile&v=3. Acesso em: 04 set. 2023.

DOE – DEPARTMENT OF ENERGY. **Industrial Decarbonization Roadmap**. Washington: United States Department of Energy, 2022.

DOE – DEPARTMENT OF ENERGY. **DOE Establishes Bipartisan Infrastructure Law’s \$9.5 Billion Clean Hydrogen Initiatives**. 2022b. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/doe-establishes-bipartisan-infrastructure-laws-95-billion-clean-hydrogen-initiatives>. Acesso em: 20 ago. 2023.

EIA – U. S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Annual Energy Outlook 2021 with Projections to 2050**. 2021. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo21/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks**. 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ENERGY.GOV. **Regional clean hydrogen hubs**. 2023. Disponível: <https://www.energy.gov/oced/regional-clean-hydrogen-hubs>. Acesso em: 20 ago. 2023.

HERTWICH, E.G. et al. Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics – a review. **Environ. Res. Lett.**, v. 14, n. 4, p. 043004, 2019. Disponível em: doi:10.1088/1748-9326/ab0fe3. Acesso em: 20 ago. 2023.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. **Interactive data viewers**. 2023. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. **Approximated estimates for greenhouse gas emissions**. 2023b. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/f6e68f73-b494-4f8c-8c73-8a153a53f64a?activeAccordion=>. Acesso em: 20 ago. 2023.

EUROSTAT. **EU economy emissions in 2021: -22% since 2008**. 2022. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20221221-1>. Acesso em: 25 ago. 2023.

EUROPEAN CLIMATE. **The circular economy: a powerful force for climate mitigation**. Disponível em: <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2018/06/FINAL-MATERIAL-ECONOMICS-CIRCULAR-ECONOMY-SUMMARY.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **A Europe fit for the digital age: empowering people with a new generation of technologies**. Disponível em: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **A meta climática da UE para 2040 na via da neutralidade climática até 2050 para uma sociedade sustentável, justa e próspera**. 2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52024DC0063>. Acesso em: 05 set. 2024.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Bioeconomy strategy**. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/bioeconomy/bioeconomy-strategy_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC – EUROPEAN ECONOMY. **Circular economy action plan**. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Cluster policy**. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/cluster-policy_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Commission outlines European Hydrogen Bank to boost renewable hydrogen**. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/news/commission-outlines-european-hydrogen-bank-boost-renewable-hydrogen-2023-03-16_en. Acesso em: 08 ago. 2023. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Critical raw materials act**. 2023f. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en. Acesso em: 25 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Effort sharing 2021-2030: targets and flexibilities**. 2023c. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets/effort-sharing-2021-2030-targets-and-flexibilities_pt. Acesso em: 25 ago. 2023.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **ERA industrial technology roadmaps**. 2024. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/era-industrial-technologies-roadmaps_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Germany - Final updated NECP 2021-2030 (submitted in 2024)**. 2024c. Disponível em: https://commission.europa.eu/publications/germany-final-updated-necp-2021-2030-submitted-2024_en. Acesso em: 05 set. 2024.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Horizon Europe**. 2021. Disponível em: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-06/rtd-2021-00013-03-00-pt-tra-01.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Important Projects of Common European Interest (IPCEI)**. Disponível em: https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/legislation/modernisation/ipcei_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Industrial alliances**. 2024. Disponível em: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **National energy and climate plans**. 2023. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en. Acesso em: 25 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **National long-term strategies**. 2023d. Disponível em: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-long-term-strategies_en. Acesso em: 25 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Regulamento Indústria de Impacto Zero: um marco de referência para a capacidade de fabrico de produtos com tecnologias estratégicas de impacto zero.** 2024b. Regulamento Indústria de Impacto Zero. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/infographics/net-zero-industry-act/>. Acesso em: 05 set. 2024.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Zero pollution targets.** Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan/zero-pollution-targets_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC – EUROPEAN ECONOMY. **Recovery and resilience facility.** Disponível em: https://next-generation-eu.europa.eu/recovery-and-resilience-facility_en. Acesso em: 08 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind.** 2023b. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6691. Acesso em: 25 ago. 2023.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **The green deal industrial plan: putting Europe's net-zero industry in the lead.** 2023e. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_510. Acesso em: 25 ago. 2023.

EU - EUROPEAN PARLIAMENT. **New EU regulatory framework for batteries: setting sustainability requirements.** set. 2024. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2021\)689337](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2021)689337). Acesso em: 08 ago. 2023.

EU – EUROPEAN PARLIAMENT. **Parliament adopts new law to fight global deforestation.** 2023b. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

EU – EUROPEAN PARLIAMENT. **Princípios gerais da política industrial da EU.** 2023. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/61/principios-gerais-da-politica-industrial-da-ue>. Acesso em: 25 ago. 2023.

EU – EUROPEAN PARLIAMENT. **Briefing: towards climate neutrality.** 2023c. Disponível: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI\(2022\)733513_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI(2022)733513_EN.pdf). Acesso 23 ago. 2023.

EU – EUROPEAN PARLIAMENT. **Climate change: deal on a more ambitious Emissions Trading System (ETS).** 2023d. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221212IPR64527/climate-change-deal-on-a-more-ambitious-emissions-trading-system-ets>. Acesso em 25 ago. 2023.

EU - EUROPEAN PARLIAMENT. **Net-zero industry act.** 2023e. Disponível: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/747903/EPRS_BRI\(2023\)747903_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/747903/EPRS_BRI(2023)747903_EN.pdf). Acesso em: 23 ago. 2023.

EUROPEAN UNION. **Eur-Lex.** 2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A628%3AFIN>. Acesso em: 08 ago. 2023.

EUROPEAN UNION. **ERA industrial technology roadmap for low-carbon technologies in energy-intensive industries.** 2022. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c9f70ebf-b48e-11ec-9d96-01aa75ed71a1/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ENERGY.GOV. **Biden-Harris Administration Announces \$135 Million to Reduce Emissions Across America's Industrial Sector.** 15 jun. 2023. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-135-million-reduce-emissions-across-americas>. Acesso em: 8 ago. 2023.

EUROPEAN COUNCIL. **Fit to 55.** 2023. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

FRANSEN T.; HENDERSON, C.; O'CONNOR, R.; ALAYZA, N.; CALDWELL, M.; CHAKRABARTY, S.; DIXIT, A.; FINCH, M.; KUSTAR, A.; LANGER, P.; STOLLE, F.; WALLS, G.; WELLE, B. **The State of Nationally Determined Contributions:** 2022. Washington: World Resources Institute, 2022. Disponível em: doi.org/10.46830/wriipt.22.00043. Acesso em: 23 ago. 2023.

HOROWITZ, R.; BINSTED, M.; BROWNING, M.; FAWCETT, A.; HENLY, C.; HULTMAN, N.; MCFARLAND, J.; MCJEON, H. The energy system transformation needed to achieve the US long-term strategy. **Joule**, v. 6, n. 7, p. 1357-1362, 2022.

IDRIC - INDUSTRIAL DECARBONISATION RESEARCH AND INNOVATION CENTRE. **Next Steps for Decarbonising UK Industry:** IDRIC Policy Synthesis Report 2022. 2023. Disponível em: <https://idric.org/wp-content/uploads/IDRIC-Policy-Synthesis-Report-2022.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **AR6 Synthesis Report:** climate change 2023. Geneva, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022:** mitigation of climate change. working group iii contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Breakthrough Agenda Report 2022.** 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2022>. Acesso em: 08 ago. 2023.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Policies.** 2023a. Disponível em: <https://www.iea.org/policies>. Acesso em: 08 ago. 2023.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Tracking industry.** 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/industry#tracking>. Acesso em: 08 ago. 2023.

JOHNSON, O. W.; METE, G.; SANCHEZ, F.; SHAWOO, Z.; TALEBIAN, TOWARD, S. Climate-Neutral Heavy Industry: An Analysis of Industry Transition Roadmaps. **Appl. Sci.**, v. 11, p. 5375, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app11125375>. Acesso em: 08 ago. 2023.

KRAUSMANN, et al. Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 114, n. 8, p. 1880–1885, 2017. Disponível em: doi:10.1073/pnas.1613773114. Acesso em: 08 ago. 2023.

KRAUSMANN, F.; LAUK, C.; HAAS, W.; WIEDENHOFER, D. From resource extraction to outflows of wastes and emissions: the socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. **Glob. Environ. Change**, v. 52, p. 131–140, 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003. Acesso em: 08 ago. 2023.

LEADIT - LEADERSHIP GROUP FOR INDUSTRY TRANSITION. **Is industry transition now a priority in the latest round of NDCs?** 2021. Disponível em: <https://www.industrytransition.org/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

MCKINSEY. **How the European Union could achieve net-zero emissions at net-zero cost.** 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/how-the-european-union-could-achieve-net-zero-emissions-at-net-zero-cost#/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. 2023. **OECD environmental performance reviews: Germany:** OECD, 2023.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD Environmental Performance Reviews: the United Kingdom 2022.** Paris: OECD Publishing, 2022.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **A OCDE e o Brasil: uma relação mutuamente benéfica.** 2022b. Disponível em: <https://www.oecd.org/latin-america/paises/brasil-portugues/>. Acesso em: 02 set. 2023.

SEI - STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE. **Industry transitions: a critical gap in national climate commitments.** 2019. Disponível em: <https://www.sei.org/features/industry-transitions-gap-ndcs/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

UBA – UMWELT BUNDESAMT. **Data on the Environment.** 2023. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/en/data/>. Acesso em: 04 set. 2023.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissions Gap Report 2022: the closing window: climate crisis calls for rapid transformation of societies.** Nairobi, 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>. Acesso em: 10 jul. 2023.

UNEP FI - UN ENVIRONMENT PROGRAMME FINANCE INITIATIVE. **Sectoral Risk Briefings: Insights for Financial Institutions.** 2023. Disponível em: <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2023/04/Climate-Risks-in-the-Industrials-Sector.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

UNFCCC – UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **NDC Registry.** 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em: 10 jul. 2023.

UNFCCC – UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **Update to the long-term strategy for climate action of the Federal Republic of Germany.** 2022. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Anlage%20_Update%20to%20the%20long-term%20strategy%20for%20climate%20action%20of%20the%20Federal%20Republic%20of%20Germany_02Nov2022_0.pdf. Acesso em: 04 set. 2023.

UNFCCC – UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **GHG profile.** 2023c. Disponível em: https://di.unfccc.int/ghg_profile_annex1. Acesso em: 20 ago. 2023.

UNFCCC – UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **Net zero strategy: build back greener.** 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UK%20Net%20Zero%20Strategy%20-%20Build%20Back%20Greener.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

UNFCCC – UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **Long-term low greenhouse gas emission development strategy of the European Union and its Member States.** 2020. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/HR-03-06-2020%20EU%20Submission%20on%20Long%20term%20strategy.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

UNIDO - UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. **Nationally Determined Contributions (NDCs) and contribution of Industries.** 2022. Disponível em: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2022-07/Day%203-Climate%20Promise%20-Industry-%20PAGE%20Summer%20school.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. White House. **Infrastructure Investment and Jobs Act.** 2021. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/build/guidebook/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **National Strategy for Advanced Manufacturing.** 2022. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/National-Strategy-for-Advanced-Manufacturing-10072022.pdf>. Acesso em 20 ago.2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **Chip and Science Act.** 2022b. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/09/fact-sheet-chips-and-science-act-will-lower-costs-create-jobs-strengthen-supply-chains-and-counter-china/>. Acesso em: 22 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **US Methane Emissions Reduction Action Plan.** 2022c. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/11/US-Methane-Emissions-Reduction-Action-Plan-1.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **Investing in America.** 2023. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/invest/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **Inflation Reduction Act Guidebook.** 2023b. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf>. Acesso em 20 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **President Biden's Actions to Tackle the Climate Crisis**. 2023c. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/climate/#:~:text=Reducing%20U.S.%20greenhouse%20gas%20emissions,clean%20energy%20to%20disadvantaged%20communities>. Acesso em: 20 ago. 2023.

US GOV - UNITED STATES GOVERNMENT. **The Long-Term Strategy of the United States: pathways to net-zero greenhouse gas emissions by 2050**. 2023d. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

UK GOV. **The Climate Change Act 2008 (2050 Target Amendment) Order 2019**. Disponível em: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2019/1056/made>. Acesso em: 21 ago. 2023.

WANG, J.; RODRIGUES, J. F. D.; HU, M.; BEHRENS, P.; TUKKER, A. The evolution of Chinese industrial CO2 emissions 2000–2050: A review and meta analysis of historical drivers, projections and policy goals. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 116, p. 109433, 2019. Disponível em: [doi:10.1016/j.rser.2019.109433](https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109433). Acesso em 08 ago. 2023.

WRI. **Uma análise sobre os atuais Planos Climáticos Nacionais (NDCs)**. 2022. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/analise-atuais-planos-climaticos-nacionais-ndcs>. Acesso em: 08 ago. 2023.

YANG, X.; NIELSEN, C. P.; SONG, S. et al. Breaking the hard-to-abate bottleneck in China's path to carbon neutrality with clean hydrogen. **Nat Energy**, v. 7, p. 955–965, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01114-6>. Acesso em: 08 ago. 2023.

ZINK, T.; GEYER, R. Circular Economy Rebound. **J. Ind. Ecol.**, v. 21, n. 3, p. 593–602, 2017. Disponível em: [doi:10.1111/jiec.12545](https://doi.org/10.1111/jiec.12545). Acesso em: 08 ago. 2023.

CNI

Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente

Gabinete da Presidência

Danusa Costa Lima e Silva de Amorim
Chefe do Gabinete

DIRETORIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Roberto de Oliveira Muniz
Diretor de Relações Institucionais

Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Davi Bomtempo
Superintendente de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Gerência de Clima e Energia

Juliana Borges de Lima Falcao
Gerente de Clima e Energia

Rafaela Aloise
Isabela Araujo Varandas
William Bach
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO

Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Superintendência de Publicidade e Mídias Sociais

Mariana Caetano Flores Pinto
Superintendente de Publicidade e Mídias Sociais

Carolina Helena Rattacaso Hagen
Marcela Louise Moura de Santana
Produção Editorial

DIRETORIA CORPORATIVA

Cid Carvalho Vianna
Diretor Corporativo

Superintendência de Desenvolvimento Humano

Renato Paiva
Superintendente de Desenvolvimento Humano

Gerência de Educação Corporativa

Priscila Lopes Cavichioli
Gerente de Educação Corporativa

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

Carolina Grangeia
William Wills
Consultoria

Arabela Traduções
Revisão Gramatical

Alessandro Mendes
Projeto Gráfico e Diagramação

**MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA,
COMÉRCIO E SERVIÇOS - MDIC**

Geraldo José Rodrigues Alckmin Filho
Ministro

**Secretaria de Economia Verde, Descarbonização e
Bioindústria - SEV**

Rodrigo Sobral Rollemberg
Secretário

Departamento de Descarbonização e Finanças Verdes

João Francisco Paiva Avelino
Diretor

Gustavo Saboia Fontenele e Silva
Coordenador-Geral de Descarbonização

Demetrio Florentino de Toledo Filho
Jose Ribamar Vieira de Araujo Junior
Leonardo Belvino Póvoa
Luiz Camargo De Miranda
Equipe técnica

www.cni.com.br

/cniBrasil

@cniBr

/cniweb

/company/cni-brasil

