



NOTA TÉCNICA

EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE TRANSIÇÃO JUSTA NO SETOR DO CARVÃO MINERAL

AGOSTO/2026

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



NOTA TÉCNICA EPE-DEA-SEE-SMA-024/2025-R1

Colaboradores

Superintendentes

Carla Achão
Elisangela Medeiros de Almeida

Superintendentes Adjuntos

Arnaldo dos Santos Junior
Glauce Maria Lieggio Botelho

Consultores Técnicos

Gabriel Konzen
Hermani de Moraes Vieira

Coordenação Técnica

Caroline Chantre Ramos
Maria Fernanda Bacile Pinheiro
Vinicius Mesquita Rosenthal

Equipe Técnica

Ana Carolina Oliveira Fiorini
Caio Monteiro Leocadio
Caroline Chantre Ramos
Clayton Borges da Silva
Fernanda Marques Pereira Andreza
Gabriel de Almeida de Barros
Gabriel Konzen
Leyla Adriana Ferreira da Silva
Luciano B. Oliveira
Hermani de Moraes Vieira
Maria Fernanda Bacile Pinheiro
Mariana Lucas Barroso
Otto Hebeda
Rodrigo Abreu Carvalho
Vinicius Mesquita Rosenthal
Vitoria Soares de Aragão (estagiária)

Controle de versões

<i>Data</i>	<i>Versão do arquivo</i>	<i>Descrição</i>
08/01/2026	V0	Publicação original
04/08/2026	R1	1ª revisão da publicação



VALOR PÚBLICO

A EPE REALIZA ESTUDOS E PESQUISAS PARA SUBSIDIAR A FORMULAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA POLÍTICA E DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO.

ESSA NOTA TÉCNICA SUBSIDIA A FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS VOLTADAS À TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA NAS REGIÕES CARBONÍFERAS DO SUL DO BRASIL. O DOCUMENTO APRESENTA UM PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DO CARVÃO MINERAL NO SETOR ELÉTRICO, FAZ UM LEVANTAMENTO DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS, INCLUINDO AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS COMO REQUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL E RECONVERSÃO DAS ÁREAS DE PRODUÇÃO, ALÉM DE PROSPECTAR USOS ALTERNATIVOS ENERGÉTICOS E NÃO ENERGÉTICOS PARA O CARVÃO NACIONAL. COM ISSO, PRETENDE APOIAR DECISÕES ESTRATÉGICAS DE GOVERNO NACIONAL E SUBNACIONAL, CONTRIBUINDO PARA MITIGAR IMPACTOS REGIONAIS.

**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**



Ministro de Estado
Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário-Executivo
Gustavo Cerqueira Ataíde

Secretária de Transição Energética e Planejamento
Mariana de Assis Espécie



Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e
Ambientais**

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Reinaldo da Cruz Garcia

**Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e
Biocombustíveis Interino**

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Gestão Corporativa
Carlos Eduardo Cabral Carvalho

<http://www.epe.gov.br>

Sumário

1. Introdução	12
2. Contextualização da produção e do descomissionamento de minas e usinas térmicas a carvão mineral no mundo	13
3. Experiências internacionais e propostas relacionadas à transição energética justa e ao fechamento de minas e usinas a carvão mineral	18
3.1. China	20
3.2. Estados Unidos.....	20
3.2.1. Estudo de caso: Appalachia	23
3.3. Índia	27
3.3.1. Planos governamentais para TEJ	27
3.4. Indonésia.....	30
3.4.1. Planos governamentais para TEJ	31
3.5. Austrália	34
3.5.1. Planos governamentais para TEJ	34
3.5.2. Estudo de Caso: Latrobe Valley e Hazelwood.....	35
3.6. África do Sul	41
3.6.1. Planos governamentais para TEJ	42
3.7. Colômbia	45
3.7.1. Planos governamentais para TEJ	45
3.8. Canadá	48
3.8.1. Planos governamentais para TEJ	49
3.9. Alemanha	53
3.9.1. Planos governamentais para TEJ	53
3.9.2. Estudo de Caso: Ruhr	55
3.9.3. Estudo de Caso: Lusatia	60
3.10. Reino Unido.....	63
3.10.1. Planos governamentais para TEJ	64
3.10.2. Estudo de Caso: South Wales	66
3.10.3. Estudo de Caso: Humber e Yorkshire	70
3.11. Espanha	75
3.11.1. Planos governamentais para TEJ	75
3.11.2. Estudo de Caso: Asturias.....	78
3.12. Chile	82
3.12.1. Planos governamentais para TEJ	84
3.12.2. Estudo de Caso: Tocopilla e Huasco	88
3.13. França.....	96
3.13.1. Planos governamentais para TEJ	96
3.13.2. Estudo de Caso: Loos-en-Gohelle	98
3.14. Polônia	100
3.14.1. Planos governamentais para TEJ	101
3.14.2. Estudo de Caso: Silesia e Małopolska Ocidental	103
3.14.3. Síntese das experiências internacionais	108

4. Alternativas de Conversão e Descomissionamento para Usinas Térmicas a Carvão	111
4.1. Iniciativa Coal to Nuclear	111
4.1.1. Principais aspectos e fatores na análise da conversão C2N	113
4.1.2. Análise de localização	114
4.1.3. Análise técnico-econômica de projetos C2N	116
4.1.4. Alguns exemplos de C2N	118
4.2. Outras alternativas de conversão de usinas a carvão	118
4.2.1. Gás Natural	119
4.2.2. Biomassa	120
4.3. Aproveitamento da infraestrutura para outras renováveis	121
4.4. Prospeção de outros usos possíveis para o carvão nacional	122
4.4.1. Rotas de captura e estocagem de carbono	122
4.4.2. Liquefação e gaseificação do carvão	124
4.4.3. Armazenamento Térmico de Energia Sensível (Sensible Heat Thermal Energy Storage – SHTES)	124
4.4.4. Grafite sintético	125
4.4.5. Agregado em cimento ou concreto	125
5. Transição Energética Justa no Contexto Brasileiro	127
5.1. As UTEs a carvão mineral e as atividades de mineração	127
5.2. Políticas públicas	131
6. Recomendações para o Brasil a partir das experiências e propostas internacionais	134
6.1. Trabalhadores	134
6.1.1. Diagnóstico e planejamento antecipado	134
6.1.2. Qualificação, reconversão e orientação profissional	134
6.1.3. Empregabilidade e estímulo à economia local	135
6.1.4. Proteção social e compensações	135
6.1.5. Atenção a grupos vulneráveis e monitoramento	135
6.2. Área do empreendimento	135
6.2.1. Transição energética e reaproveitamento de infraestrutura	135
6.2.2. Requalificação de áreas industriais e ambientais	135
6.2.3. Regeneração urbana e valorização cultural	136
6.3. Futuro da região	136
6.3.1. Diagnóstico participativo e inclusivo	136
6.3.2. Políticas de apoio territorial integrado	136
6.3.3. Infraestrutura e fomento à transição energética	136
6.3.4. Monitoramento e avaliação contínuos	136
6.4. Governança	137
6.4.1. Esfera Nacional (Federal)	137
6.4.2. Esfera Estadual ou Regional	137
6.4.3. Esfera Local (Municipal e Comunitária)	137
6.4.4. Organização independente	137
6.5. Financiamento e incentivos	137
6.5.1. Financiamento estruturado e sustentável	138
6.5.2. Incentivos econômicos e fiscais	138
6.5.3. Apoio à requalificação e transição dos trabalhadores	138

7. Considerações Finais.....	139
8. Referências Bibliográficas	141

■ Siglas e Abreviaturas

ABI	Associação de Seguradoras Britânicas
ACT	Accelerating Coal Transition
ADEME	Agência Federal para Transição Ecológica
AfDB	African Development Bank
AGU	Advocacia Geral da União
AMREC	Associação Brasileira de Carvão Mineral
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APR	Ruhr Action Plan
BECCS	Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
C2N	Coal to Nuclear
CCTI	Iniciativa de Transição do Carvão do Canadá
CCTI-IF	Iniciativa de Transição do Carvão do Canadá – Fundo de Infraestrutura
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CDR	Remoção de Dióxido de Carbono
CD2E	Criação e Desenvolvimento de Eco-negócios
CCS	Captura e Armazenamento de Carbono
CCUF	Captura, Armazenamento e Utilização de Carbono com produção de fertilizantes
CCUS	Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono
CCEAR	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
CFPP	Carbon Free Power Project
CERRD	Centro de Recursos para o Desenvolvimento Sustentável
CGE	Gases de Efeito Estufa
CFE	Conselho de Segurança Nuclear
CLG	Chemical Looping Gasification
CIPP	Comprehensive Investment and Policy Plan
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNEN 1.03	Norma da CNEN: Licenciamento de Instalações Nucleares
CNEN NE 1.04	Norma da CNEN: Licenciamento de Instalações Nucleares
COPs	Conferência das Partes
CPI	Comprehensive Investment and Policy Plan
CRT	Coalfields Regeneration Trust
CSN	Conselho de Segurança Nuclear
CTCN	Invest Chile, Centro de Inovação e Economia Circular da Macrozona Norte
CTJL	Termelétrica Jorge Lacerda
DEA	Diretoria de Estudos Econômicos-Energéticos e Ambientais

DESNZ	Departamento para Segurança Energética e Emissões Líquidas Zero
DMF	District Mineral Foundation
DMRE	Departamento de Minas e Energia
DOE	Departamento de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EDF	Électricité de France
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FITIEC	Federação Interestadual dos Trabalhadores na Indústria da Extração do Carvão no Sul do País
FNDR	Fundo Regional de Inovação para a Competitividade
FONTE	Fórum Nacional de Transição Energética
GEM	Global Energy Monitor
GGGI	Global Green Growth Institute
GEE	Gases de Efeito Estufa
GoI	Governo da Indonésia
GT	Grupo de Trabalho
GW	Gigawatt
HTGR	High Temperature Gas-cooled Reactor
IAEA	Agência Internacional de Energia Atômica
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBA	Exposição Internacional de Arquitetura
IEA	Agência Internacional de Energia
INL	Idaho National Laboratory
IPP	Produtores Independentes de Energia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPG	Grupo de Parceiros Internacionais
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
IRP	Integrated Resource Plans
JETP	Parceria de Transição Energética Justa da Indonésia
JET-IP	Just Energy Transition Investment Plan
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft
LTS	Long-Term Strategy
LVA	Latrobe Valley Authority
MHI	Mitsubishi Heavy Industries
MDI	Modelo de Decisão de Investimentos
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MoC	Ministério do Carvão
MoSPI	Ministério de Estatísticas e Implementação de Programas

MT	Ministério do Trabalho
MWh	Megawatt-hora
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NLCIL	Neyveli Lignite Corporation India Limited
NMET	National Mineral Exploration Trust
NRC	Nuclear Regulatory Commission
NRW	North Rhine-Westphalia
NUM	National Union of Mineworkers
OBSP	Output Based Pricing System
ONS	Operador Nacional do Sistema
OWD	Our World in Data
PCC	Comissão Presidencial para o Clima
P\&D\&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PLANTE	Plano Nacional de Transição Energética
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PNE	Plano Nacional de Energia
PNTE	Política Nacional de Transição Energética
PPCA	Powering Past Coal Alliance
PRAS	Programa de Recuperação Ambiental e Social
PTTJ	Plano Territorial de Transição Justa
PWR	Pressurized Water Reactor
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RAG AG	RAG Aktiengesellschaft
ROM	Run-of-Mine
RVR	Ruhr Regional Association
SFR	Sodium-cooled Fast Reactor
SIECESC	Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina
SIGA	Sistema de Informações de Geração da Aneel
SMRs	Small Modular Reactors
SNTEP	Secretaria Nacional de Transição Energética
TSEJ	Plano de Transição Socioecológica Justa
TWH	Terawatt-hora
UAMPS	Utah Associated Municipal Power Systems
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UN-Page	Parceria para Ação na Economia Verde
WDA	Development Agency
ZIM	Iniciativa para o Futuro Regional do Carvão e Siderurgia
ZPEs	Zonas de Planejamento de Emergência

ZRR Zukunftsagentur Rheinisches Revier

ZTJ Zonas de Transição Justa

1. Introdução

Esta Nota Técnica foi elaborada em resposta à Solicitação do Gabinete da Presidência da EPE, conforme o processo nº 48002.001246/2025-71, que trata da elaboração de um estudo técnico comparativo sobre experiências internacionais de transição justa no setor do carvão mineral.

A motivação reside na necessidade de compreender e enfrentar os potenciais impactos socioeconômicos decorrentes do encerramento futuro das atividades de usinas termelétricas a carvão e de minas associadas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Trata-se de um processo que afeta diretamente trabalhadores, comunidades locais, cadeias produtivas regionais e estruturas ocupacionais consolidadas, exigindo a formulação de estratégias que assegurem uma transição energética justa, planejada e inclusiva, capaz de minimizar riscos sociais e econômicos e de promover alternativas sustentáveis para as populações e economias envolvidas.

O objetivo deste estudo é subsidiar esse processo por meio da análise de experiências internacionais relevantes, reunindo tanto estudos de casos de fechamento de minas e usinas a carvão quanto documentos de planejamento energético em escala nacional. Adicionalmente, o estudo busca levantar possíveis usos alternativos do carvão nas regiões com minas e Usinas Termelétricas (UTE). A partir dessas análises, buscou-se identificar diagnósticos das políticas públicas aplicadas (requalificação profissional, recuperação e conversão das áreas de produção, incentivos a novas atividades econômicas regionais, governança e financiamento); fatores críticos de sucesso e riscos associados; elementos comparáveis e não comparáveis ao contexto brasileiro considerando sua governança federativa, estrutura econômica regional e arcabouço legal; e perspectivas tecnológicas e industriais de novos usos para o carvão mineral nacional, tanto energéticos quanto não energéticos. Embora avanços tecnológicos possam, em tese, ampliar a relevância do setor do carvão mineral para a economia regional, essa linha de análise não foi contemplada neste estudo.

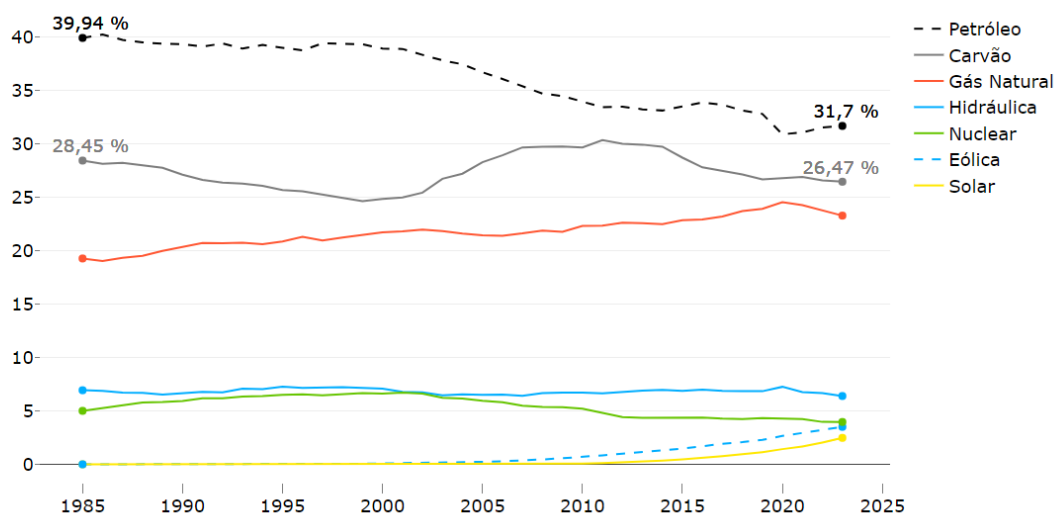
Ao reunir e analisar essas experiências e propostas, o estudo busca contribuir com subsídios técnicos para o debate e para a formulação de políticas públicas oferecendo elementos comparáveis que contribuam para orientar o caso brasileiro diante dos desafios da transição energética justa.

2. Contextualização da produção e do descomissionamento de minas e usinas térmicas a carvão mineral no mundo

- O carvão é a segunda maior fonte de energia primária mundial (26% da matriz);
- O carvão é a principal fonte de geração de eletricidade mundial (34% da matriz);
- A produção de energia a partir do carvão continua aumentando globalmente;
- A busca pela redução das emissões de GEE tem fechado minas em muitos países;
- Até 2035, estima-se que cerca de 414 mil empregos serão perdidos neste setor.

O uso do carvão e o setor carbonífero vêm se transformando ao longo dos últimos 50 anos. No entanto, esse combustível permanece sendo uma das principais fontes de energia do mundo, representando cerca de 26% da oferta total de energia primária e ocupando a segunda posição entre as fontes mais utilizadas, ficando atrás apenas do petróleo (Figura 1). As transformações estruturais nas indústrias de carvão foram impulsionadas por fatores como a crescente mecanização das minas, a adoção de políticas governamentais e a concorrência com outras fontes de energia, especialmente com a expansão do uso do petróleo, gás natural e energia nuclear, além do avanço das fontes renováveis. Embora os fatores que impulsionam essa transformação variem entre os países, o fechamento progressivo das minas de carvão configura-se como uma consequência inevitável da transição energética (The World Bank, 2018).

Figura 1. Participação na Matriz Energética Mundial por Fonte



Nota: a participação foi calculada utilizando o método de substituição.

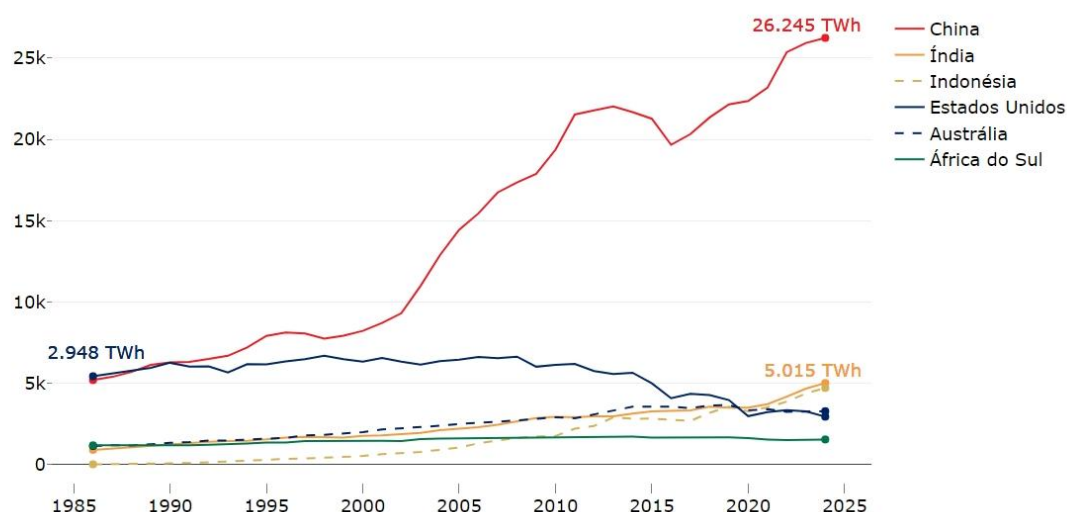
Fonte: elaboração própria com dados do Energy Institute (2024), obtidos através da plataforma Our World in Data.

Além dos fatores econômicos e estruturais, a necessidade urgente de enfrentar a crise climática tem acelerado essa transição. Os cenários compatíveis com a limitação do aquecimento global a 1,5 °C, conforme estabelecido pelo Acordo de Paris, exigem uma rápida e profunda redução no uso de combustíveis fósseis, sendo que o carvão mineral é a fonte com maior emissão de gases de efeito estufa (GEE) por megawatt-hora (MWh), com produção média de cerca de 400

quilogramas de CO₂ por MWh (IPCC, 2023). Essa transição implica transformações estruturais significativas nos setores produtivos e no mercado de trabalho, aumentando o risco de que os trabalhadores, comunidades e empresas que dependem das atividades ligadas aos combustíveis fósseis sejam abandonados (Wong et al., 2022). Diante desse contexto, governos em diferentes países têm mobilizado recursos e implementado políticas públicas voltadas à proteção e à inclusão dos grupos mais vulneráveis no processo de transição energética.

Embora o carvão muitas vezes seja considerado um combustível do passado, seu consumo dobrou nas últimas três décadas. Durante o auge das medidas de isolamento (ou *lockdown*) da pandemia de Covid-19, em 2020, a demanda caiu significativamente, mas logo se recuperou devido aos altos preços do gás natural, desencadeados pela guerra na Ucrânia (IEA, 2024). Assim, alguns países adiaram o *phase-out* do carvão e outros ainda usam o combustível para expandir suas matrizes energéticas. Nos últimos anos, a produção, o consumo, o comércio, as emissões de CO₂ e a geração de energia a carvão atingiram níveis recordes em escala global (IEA, 2024). Em 2024, a China respondeu por mais de 26 mil TWh de produção a carvão, e outros países como Índia e Indonésia também apresentaram crescimento, contrastando com a queda observada nos Estados Unidos e Austrália, refletindo diferentes dinâmicas nacionais frente à transição energética (Figura 2).

Figura 2. Produção de Carvão como Energia Primária em TWh (2024)



Fonte: elaboração própria com dados do Energy Institute (2024), obtidos através da plataforma Our World in Data.

Apesar das crescentes pressões por transições energéticas em direção a fontes menos emissoras de GEEs, a produção de carvão manteve-se elevada nos principais países mineradores, alcançando, em 2024, um recorde de aproximadamente nove bilhões de toneladas extraídas (IEA, 2024). A China lidera esse cenário, sendo responsável por mais da metade da produção mundial (Figura 3). Em seguida, destacam-se a Índia e a Indonésia (GEM, 2025a).

Figura 3. Produção e Consumo de Energia a partir do Carvão por País (2024)

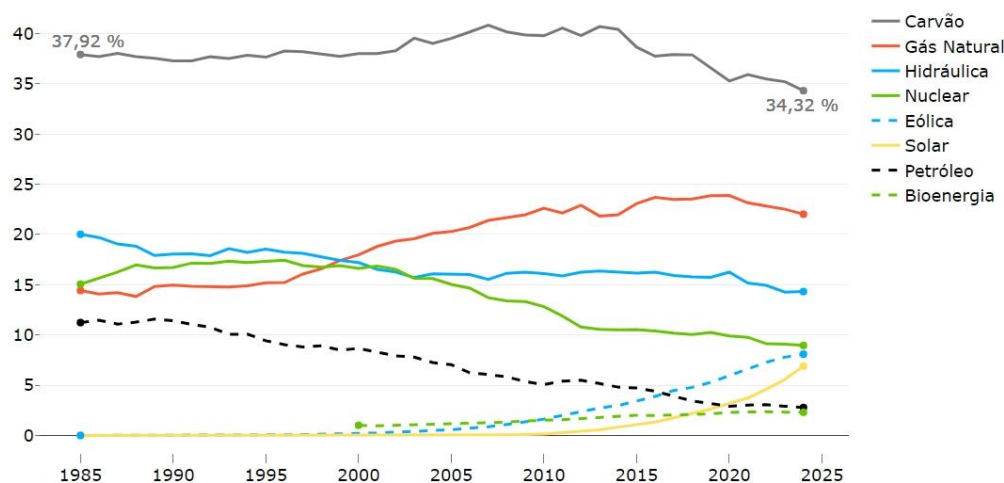
		▼ Produção (TWh)	Consumo per capita (kWh)	Variação 2023-2024 (TWh)
1	China	26.245	18.036	312
2	Índia	5.015	4.397	341
3	Indonésia	4.714	4.625	344
4	Austrália	3.283	15.835	20
5	Estados Unidos	2.948	6.356	-304
6	África do Sul	1.545	15.252	229
7	Colômbia	421	1.165	-122
8	Canadá	318	2.042	-35
9	Alemanha	229	5.183	-26

Criado com Datawrapper

Fonte: elaboração própria com dados do Our World in Data (OWD). **Notas:** Inclui apenas combustíveis sólidos comerciais, ou seja, carvão betuminoso e antracito (carvão duro), linhito e carvão marrom (sub-betuminoso), além de outros combustíveis sólidos comerciais. Inclui também o carvão produzido para transformações de Carvão em Líquido (Coal-to-Liquids) e Carvão em Gás (Coal-to-Gas).

O setor elétrico é o principal impulsionador da demanda por carvão, consumindo cerca de dois terços do carvão global. Após um aumento na participação do carvão na matriz elétrica mundial entre o início dos anos 2000 e meados da década de 2010, observou-se uma tendência de queda contínua a partir de 2015. Em 2024, a geração global de eletricidade a carvão atingiu um novo recorde de 10.700 TWh, com aproximadamente 2.143 GW de capacidade instalada. Ainda que o volume absoluto permaneça elevado, a participação relativa do carvão na matriz elétrica mundial segue em declínio, alcançando 34,3% em 2024 (ENERGY INSTITUTE, 2024) (Figura 4).

Figura 4. Participação na Matriz Elétrica por Fonte



Nota: a participação foi calculada utilizando o método de substituição.

Fonte: elaboração própria com dados do Energy Institute (2024), obtidos através da plataforma Our World in Data.

A China possui 55% da capacidade instalada de usinas a carvão no mundo, distribuído em mais de 3.230 unidades geradoras, seguida pela Índia com 11% em cerca de 850 unidades, e pelos Estados Unidos, com 9% em 401 unidades (GEM, 2024). A China foi responsável por um aumento de 294 GW na capacidade instalada de UTEs a carvão em operação desde 2015, sendo que a capacidade instalada em operação no restante do mundo aumentou 259 GW no período, ou seja, o país é responsável por grande parte da expansão de carvão no período (GEM, 2024) e, sem ele, possivelmente, a capacidade instalada em operação mundial teria diminuído.

Por outro lado, houve um avanço significativo no fechamento de minas e usinas a carvão. Desde 2015, cerca de 1.500 minas de carvão tiveram suas atividades encerradas globalmente. Entre 2015 e 2024, os EUA lideraram a maior parte desse movimento, com 1.173 minas fechadas. No que se refere ao descomissionamento de usinas, a Global Energy Monitor (GEM) registrou, entre 2000 e 2024, a retirada de aproximadamente 500 GW de capacidade. Desse montante, os EUA responderam por 166 GW, seguidos pela China com cerca de 126 GW. No mesmo período, foram 3.029 unidades geradoras térmicas desativadas, das quais 1.146 estavam localizadas na China (38%) e 772 nos Estados Unidos (25%) (GEM, 2024).

Com relação aos trabalhadores, as minas de carvão empregam cerca de 3 milhões de pessoas, sendo que 62% desse total atuam na extração de carvão térmico. A China concentra a maior parte dessa força de trabalho, respondendo por 54% dos empregos nas minas de carvão térmico, seguida pela Índia, com 12%, e pela Indonésia, com 11% (GEM, 2024). Esses números refletem não apenas a escala das operações nesses países, mas também a forte dependência socioeconômica de comunidades inteiras em relação à atividade mineradora.

Os impactos sociais da transição energética já se fazem presentes e tendem a se intensificar nos próximos anos. Estimativas indicam que, até 2035, cerca de 414 mil postos de trabalho nas minas de carvão poderão ser eliminados sem políticas de proteção. Em países como Índia e China, os mais afetados por essa perspectiva, grande parte desses trabalhadores está

concentrada junto às comunidades locais e sofre com os desafios de adaptação frente à transição energética (GEM, 2023).

O conceito de transição justa foi forjado por sindicatos do setor fóssil associados a movimentos ambientais desde o início dos anos 1970 para propor soluções práticas frente aos desafios de trabalhadores e comunidades com o fechamento das atividades de minas e indústrias fósseis. Nos últimos anos o conceito se consolidou inclusive nos fóruns internacionais, como as Conferências das Partes (COPs), ampliando seu sentido original. De toda forma, se mantém como um conceito central para trabalhadores, governos e empresas e se posiciona como uma alternativa ao negacionismo ambiental ao buscar soluções locais para trabalhadores e comunidades para lidar com esse problema global (Stavis et al., 2020).

Nos próximos itens desta Nota Técnica, serão analisadas experiências em diferentes países do mundo em que a questão do fechamento de minas e UTEs a carvão está associada a políticas e propostas para assegurar uma transição justa. Por outro lado, também serão expostos como algumas das nações seguem ampliando a utilização do carvão e ainda não endereçaram este aspecto fundamental para uma economia de baixo carbono em seus planos e estratégias energéticas.

3. Experiências internacionais e propostas relacionadas à transição energética justa e ao fechamento de minas e usinas a carvão mineral

Com o objetivo de compreender se, e como, os países estão atravessando o processo de uma transição energética justa relacionada ao setor do carvão mineral, foram analisados (i) documentos governamentais para identificar planos e propostas e (ii) estudos de caso, que permitem observar a transição na prática.

Para os documentos governamentais, foram feitas pesquisas nas bases *IEA - IEA's Policies and Measures Database* -, da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) - *National Energy Transition Planning Dashboard*, além de sites dos governos, em especial dos ministérios de energia ou correlatos.

Para a seleção dos países, priorizou-se a escolha dos principais produtores e consumidores de carvão mineral. Adicionalmente, procurou-se selecionar casos na América Latina, Europa, Ásia-Pacífico, América do Norte e África, pois a diversidade de contextos institucionais e socioeconômicos permitiria entender um escopo amplo de experiências e propostas. Um fator de restrição se refere à disponibilidade de documentos governamentais que apresentassem objetivos, ações e metas relacionados ao descomissionamento de plantas de carvão atrelados à transição justa ou relatos fiéis dos desafios práticos de planos desta natureza. Dessa forma, os países selecionados foram:

- **América Latina:** Chile e Colômbia
- **Europa:** Alemanha, Espanha, França, Reino Unido e Polônia
- **Ásia-Pacífico:** Índia, China, Indonésia e Austrália
- **América do Norte:** Canadá e Estados Unidos
- **África:** África do Sul

A partir da seleção de países, foram desenvolvidos estudos de casos acerca de regiões afetadas pelo processo de descomissionamento de plantas e usinas de carvão, considerando como critérios: a conclusão do processo de descomissionamento (ou processo avançado); a presença de políticas ou iniciativas regionais para endereçar os impactos sobre os trabalhadores e comunidades; planos concretos de reconversão de áreas ou iniciativas em curso para adaptação de antigas áreas de mineração; e a disponibilidade de informações sobre os impactos observados. Com base nesses critérios, os seguintes estudos de caso foram analisados:

- Appalachia, nos EUA;
- Hazelwood, no Latrobe Valley, na Austrália;
- Ruhr e Lusatia, na Alemanha;
- South Wales e a região de Humber e Yorkshire, no Reino Unido;
- Asturias, na Espanha;
- Tocopilla e Huasco, no Chile;
- Loos-em-Gohelle, na França; e
- Silesia e Małopolska Ocidental, na Polônia.

Para nortear a análise, tanto dos planos e políticas nacionais quanto dos estudos de caso, atenção especial foi dada às seguintes questões:

Visão Geral:

-  Quanto carvão mineral termal o país produz?
-  O país tem um perfil importador ou exportador?
-  Qual é a participação do carvão na energia primária?
-  Qual é a participação do carvão na matriz elétrica?
-  Quantos trabalhadores o país emprega nas minas de carvão mineral?
-  Quantas minas de carvão mineral termal foram fechadas?
-  Quantas unidades geradoras térmicas a carvão mineral termal foram fechadas?
-  Qual foi a motivação para o fechamento das minas?
-  Qual o potencial de reservas estimadas?

Análise do documento:

Futuro da região



- Quais atividades econômicas são previstas para estas regiões após o fim da atividade carbonífera?

Trabalhadores



- Qual o destino dos trabalhadores da indústria carbonífera?
- Há tratamento diferenciado para jovens e pessoas acima de 50 anos?
- As ações voltadas aos trabalhadores são de responsabilidade das empresas, das associações, das prefeituras ou do Governo Federal?

Governança



- Quem participa da governança, formulação, monitoramento e aprimoramentos do plano de transição?

Área do empreendimento



- Quais as ações socioeconômicas e ambientais para a área diretamente afetada da mina e/ou da UTE?

Financiamento e incentivos



- De que forma são abordados os impactos na arrecadação municipal?
- Quem financia os custos da transição?
- Quanto custa o processo de transição?

Serão apresentadas, a seguir, as análises dos países, dispostas de acordo com o ranking dos maiores produtores mundiais de carvão.

3.1. China

O carvão continua sendo a fonte básica de energia na China. Desde 2012, a produção anual de carvão bruto variou entre 3,41 e 3,97 bilhões de toneladas. Representou, nos últimos anos, cerca de 58% da energia elétrica consumida e 54% da energia primária (China, 2020: 10). A China prevê ampliar a produção de fontes renováveis numa proporção maior do que as não renováveis. Isto indica que os investimentos em fontes não renováveis continuam, com foco nas áreas ricas em recursos e sob controle da escala e do ritmo deste avanço (China, 2021: 29).

A China, de acordo com a visão oficial, não visa necessariamente encerrar todas as suas minas, mas convertê-las por meio de um mecanismo de longo prazo voltado à “mineração de carvão verde”, priorizando a inclusão de características ecológicas e eficientes e a construção de minas de carvão modernas “seguras, inteligentes e ecológicas” (China, 2024). Atualmente, cerca de 2 milhões de pessoas trabalham nas minas, sendo metade nas de carvão térmico. Além disso, é o maior importador mundial de carvão.

Desde 2021, a China não financia novas UTEs à carvão em outros países. Internamente, sua estratégia visa uma menor taxa de utilização de água, aumento da taxa de recuperação de terras para agricultura e aumento da segurança nas minas. Em relação às UTEs antigas, mais de 100 GW foram desativados no país entre 2013-2022 (China, 2024: 20). Em 2023, cerca de 95% das térmicas estavam no padrão de emissões “ultrabaixos”, reduzindo a descarga total de poluentes em mais de 90% no período, seguindo novas legislações sobre controle da qualidade do ar.

De forma complementar, a China concluiu projetos de CCUS (*Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono*) relevantes, um deles representando a maior instalação da Ásia, e que juntos apresentam capacidade de captura de um milhão e quinhentas mil toneladas por ano. Um absorvente com baixo consumo de energia, alta capacidade e alta estabilidade foi desenvolvido para obter a captura de alta pureza de dióxido de carbono do gás de combustão de carvão para gerar energia (China, 2024).

Uma das estratégias nacionais em relação às áreas das antigas UTEs é implementar sistemas eólico-solar-hídrico e eólico-solar-carvão (associados a armazenamento) nas áreas em que estes recursos estiverem disponíveis. Assim, novas plantas de energia, quando possível, ocuparão áreas de mineração de carvão, espaços ociosos em usinas de energia e áreas de petróleo e gás.

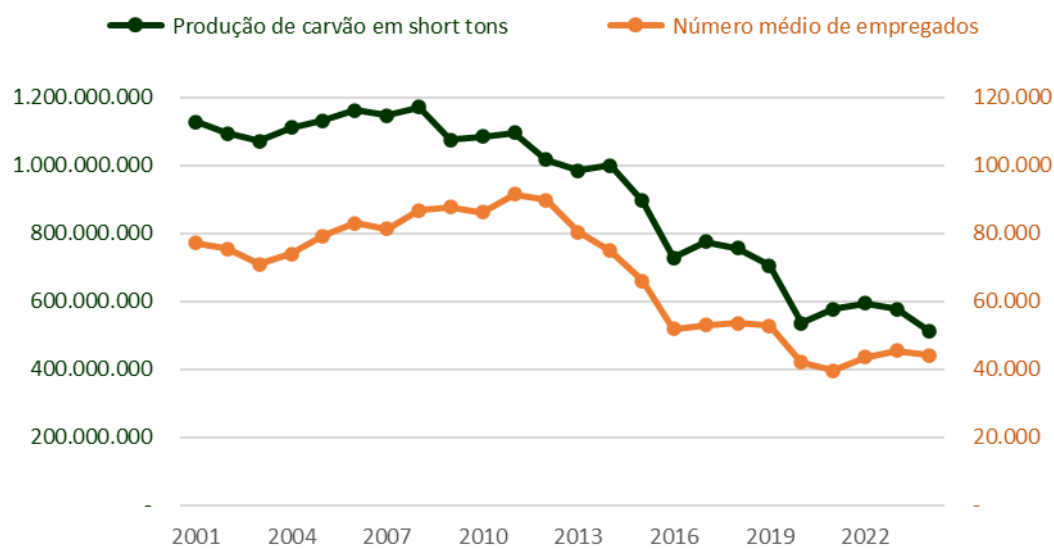
Em todos os planos oficiais consultados (“Plano Quinquenal 2021-2025”; “Energia na Nova Era da China” e na “Transição Energética da China”), não há menção aos trabalhadores, comunidades e regiões. Conforme apontado, embora a China tenha fechado usinas antigas, o plano de expansão continua e, portanto, não há razão para colocar questões sobre como tratar trabalhadores cujas atividades laborais serão encerradas, o futuro da região ou o que fazer com a área do empreendimento, pois há ampliação desta atividade no horizonte futuro.

3.2. Estados Unidos

Os Estados Unidos (EUA) possuem um histórico de relevante participação do carvão, com 22 dos 50 estados sendo parte de três grandes regiões carboníferas. A região mais relevante é a do cinturão da Appalachia, que compreende oito estados e é responsável por cerca de 25% da

produção nacional (SHARMA *et al*, 2023). Apesar da relevância histórica, a participação do carvão tem sido modificada no país: em 2024, o carvão representou cerca de 8% da energia primária e 15% da eletricidade gerada no país. Em 1990, essa participação era de 23,7% e 53,4%, respectivamente (Energy Institute, 2024). Como apresentado na Figura 5, entre 2001 e 2024, a produção de carvão em toneladas curtas (*short tons*) e o número médio de trabalhadores empregados nesse setor reduziu em 55% e 43%, respectivamente.

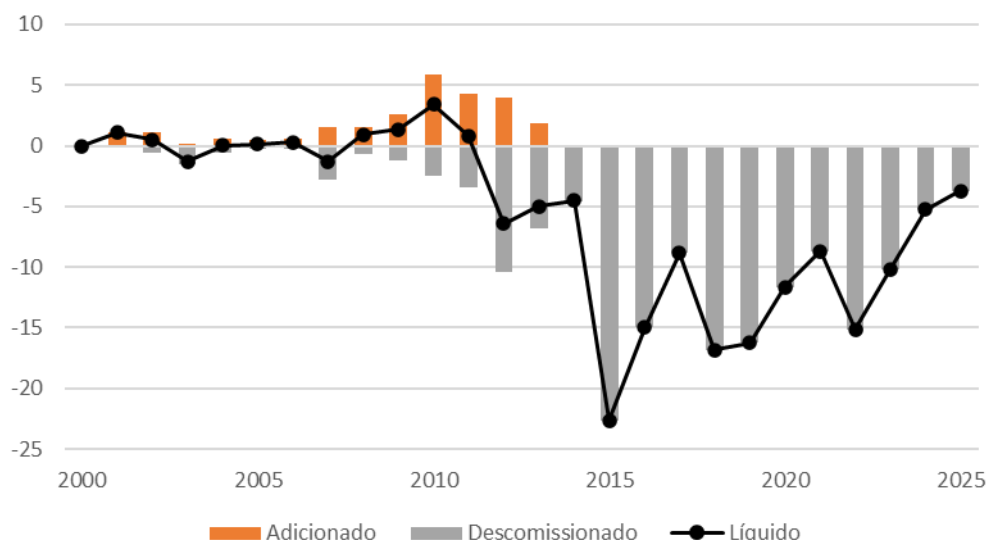
Figura 5. Produção de carvão e número médio de empregados no setor (2001-2024)



Fonte: EIA (2025)

Segundo Sharma *et al* (2023), dois fatores ajudam a explicar o declínio do carvão nos EUA. Em primeiro, o surgimento de alternativas mais limpas e baratas de geração de energia, como o gás natural, a solar e a eólica para abastecimento doméstico e a simultânea redução das perspectivas de exportação em função de restrições regulatórias e incertezas nos mercados da Ásia. Outra questão foi a crescente pressão para redução do uso do carvão como energético, motivada por questões climáticas. Nas últimas décadas, isso se traduziu em uma redução líquida da capacidade instalada de geração termelétrica a carvão nos EUA (Figura 6).

Figura 6. Mudança na capacidade de geração de energia termelétrica a carvão nos EUA, em GW (2000-2025)



Fonte: Adaptado a partir de GEM (2025a)

Apesar da trajetória recente de descomissionamento, o governo Trump anunciou um conjunto de ações para impulsionar a indústria do carvão em abril de 2025, dentre as quais (DOE, 2025a):

- Avaliar a disponibilidade de carvão como recurso energético em terras federais dentro de 60 dias, além de agilizar concessões e remover barreiras à mineração nessas áreas;
- Apoio à exportação de carvão, incluindo o estímulo a tecnologias de carvão e facilitação de acordos internacionais;
- Adicionar o carvão à lista de exclusões categóricas¹ previstas sob a Lei Nacional de Política Ambiental (*National Environmental Policy Act* - NEPA) em até 30 dias;
- Identificar em até 60 dias locais em que usinas a carvão podem ser usadas para apoiar a infraestrutura de Inteligência Artificial e Data Centers;
- Designação do carvão metalúrgico como mineral crítico;
- Postergação da operação da usina J.H. Campbell, prevista para ser desativada em maio de 2025, através de ordens emergenciais entre maio e agosto para minimizar riscos de apagões e resolver questões críticas de segurança da rede elétrica durante a onda de calor do verão.

Em setembro do mesmo ano, o Departamento de Energia dos EUA (DOE) comprometeu-se a conceder financiamento de US\$ 625 milhões para expandir e revitalizar a indústria de carvão americana, em conformidade com as decisões emitidas pelas Ordens Executivas anteriores. Este montante está dividido em diferentes ações (DOE, 2025a):

- US\$ 350 milhões para projetos voltados para a reativação e modernização de unidades de geração a carvão e garantir confiabilidade e capacidade elétrica no curto prazo;

¹ No âmbito do NEPA, a lista de “exclusões categóricas” refere-se a um conjunto de ações que o governo federal determina, após revisão do *Council on Environmental Quality*, que não têm, individualmente ou cumulativamente, um efeito significativo sobre o ambiente humano e, portanto, não exigem uma avaliação ou declaração de impacto ambiental. Na prática, a inserção nessa lista reduz as exigências ambientais sobre a atividade (DOE, 2025b).

- b. US\$ 175 milhões para projetos de geração a carvão que proporcionem benefícios diretos de acessibilidade, confiabilidade e resiliência energética em comunidades rurais;
- c. US\$ 50 milhões para desenvolvimento e implementação de sistemas avançados de gestão de águas residuais que permitam às usinas a carvão prolongar sua vida útil, reduzir custos operacionais e melhorar a recuperação de subprodutos comerciais;
- d. US\$ 25 milhões para engenharia e *retrofit*, para permitir que usinas a carvão alternem entre combustíveis, mantenham capacidade total de vapor e flexibilidade econômica para prolongar a vida útil das plantas;
- e. US\$ 25 milhões para desenvolvimento e teste para apoiar investimentos que mantenham a eficiência e confiabilidade das caldeiras ao utilizar 100% gás natural.

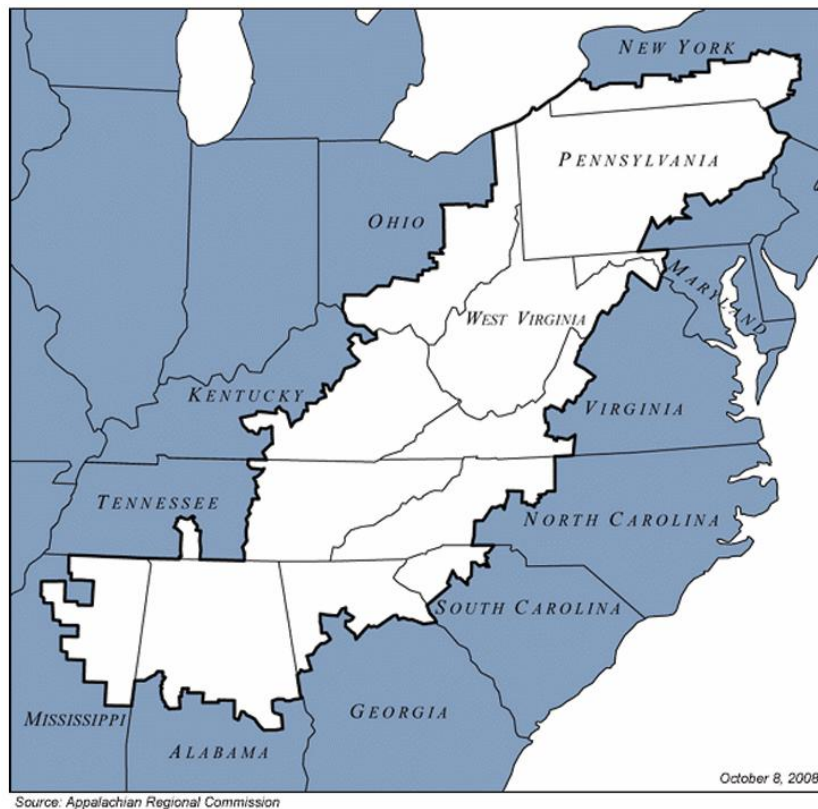
Nesse contexto, e conforme definido pela Ordem Executiva 14.241 de 2025, o atual direcionamento da política energética americana é de que o carvão é essencial para a segurança energética, tornando uma prioridade da política nacional apoiar a indústria doméstica, remover barreiras regulatórias federais, ampliar as exportações e incentivar a utilização do carvão para atender à demanda doméstica crescente. Assim, não há a definição de políticas de transição justa para o setor e seus trabalhadores em nível federal.

Cabe ressaltar, no entanto, que administrações anteriores implementaram políticas de apoio à transição de comunidades dependentes do carvão e seus trabalhadores. Em 2016, o *Power Plus Plan* foi anunciado pelo presidente Obama, destinando mais de US\$ 55 milhões para a implementação de estratégias direcionadas de desenvolvimento econômico e da força de trabalho em diversos programas federais, com o objetivo de incentivar a diversificação econômica de regiões impactadas, criar empregos em indústrias existentes e novas, atrair novos investimentos para geração de empregos e fornecer serviços de recolocação e capacitação para trabalhadores afetados (WHITE HOUSE, 2015). Parte significativa dos esforços associados a esse plano se concentraram na região dos Apalaches, uma das mais impactadas pelo declínio do carvão no país, e objeto do estudo de caso a seguir.

3.2.1. Estudo de caso: Appalachia

A Appalachia é uma região localizada nas Montanhas Apalaches, no leste dos EUA, compreendendo mais de 420 condados em 13 estados (Figura 7), superando 25 milhões de habitantes. Historicamente, a região tem como principais atividades empregadoras a mineração de carvão e a extração de madeira (IISD, 2017).

Figura 7. Região da Appalachia, nos EUA



Fonte: IISD (2017)

Historicamente, a região caracterizou-se pela ausência de integração com a economia nacional, com necessidade de intervenções para promoção do desenvolvimento econômico. No período recente, essa visão se manteve, com o declínio da indústria de carvão sendo considerado um dos motivadores contemporâneos para esse diagnóstico. Nesse contexto, diversos programas foram implementados na região, como apresentado no Quadro 1.

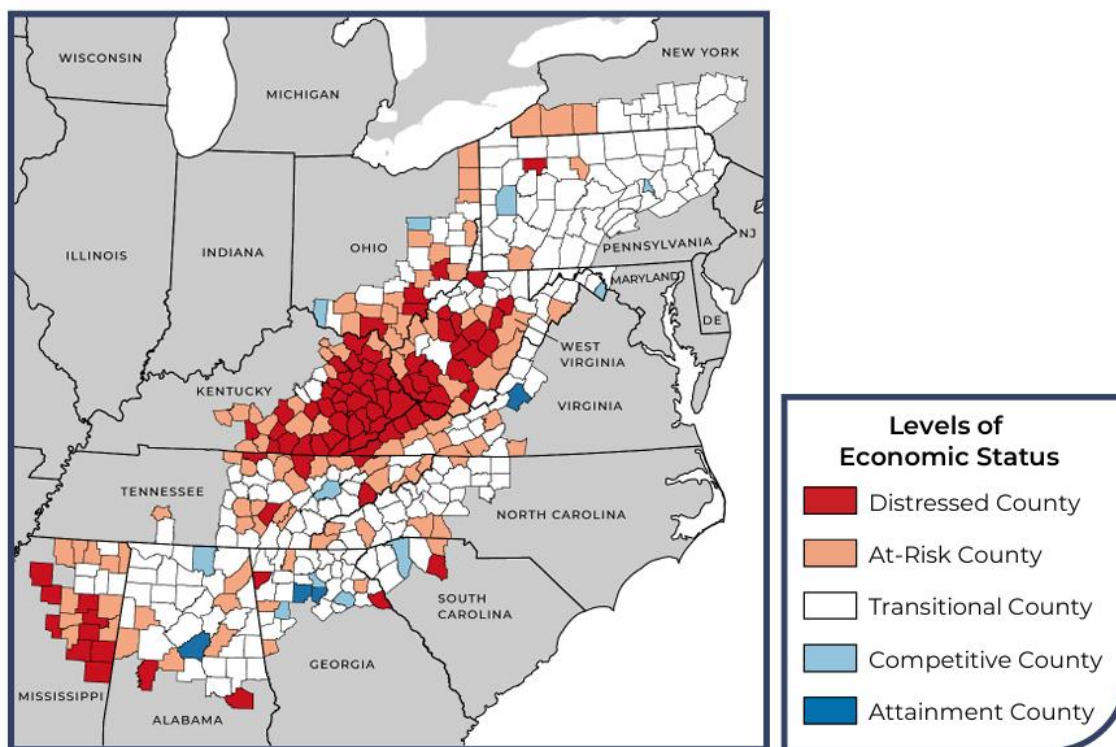
Quadro 1. Histórico de políticas implementadas na região da Appalachia

Ano	Ação	Descrição
1963	Criação da <i>Appalachian Regional Commission</i> (ARC)	A ARC atua como uma agência de desenvolvimento regional, estabelecida com o objetivo de endereçar os altos níveis de pobreza, desemprego e baixa renda.
1972	Introdução de tributo sobre a produção de carvão no Kentucky	- Taxação inicial sobre 4% das vendas do carvão produzido na região; - Objetivo da taxa era financiar iniciativas de diversificação econômica; - Recursos financiaram a abolição de impostos sobre comida e medicamentos, além de iniciativas de desenvolvimento econômico na região; - Além disso, inicialmente foram construídos 11 parques industriais regionais.
1980	Criação do <i>Local Government Assistance Fund</i>	- Criado com o objetivo de ampliar o escopo de atividades financiadas com a taxa sobre receitas do carvão; - Obrigações de investir 30% dos recursos em projetos de estradas para o transporte de carvão e os 70% restantes em projetos prioritários em áreas como segurança pública, proteção ambiental, serviços sociais e desenvolvimento industrial.
1985	Pacote de atração de investimentos no Kentucky	Cerca de US\$ 150 milhões em subsídios para instalação de uma fábrica da Toyota (investimento de US\$ 800 milhões), objetivando a criação de 3 mil empregos
1992	Local Government Economic Development Fund	- Criado a partir da preocupação de que os recursos não estavam sendo alocados em benefício de municípios produtores de carvão, considerados os mais necessitados; - Concessão de subsídios para projetos diversos, como incubadoras de tecnologia, programas de treinamento, empreendedorismo, prestação de serviços públicos e investimentos em infraestrutura; - Recursos são alocados com base em uma fórmula que considera o emprego na mineração, os rendimentos provenientes da mineração e as taxas de desemprego.

Fonte: Adaptado de IISD (2017)

Destaca-se a centralidade do estado de Kentucky nas políticas apresentadas, que concentra a maior parte dos municípios considerados “em dificuldade econômica”, segundo índice desenvolvido pela agência regional com base em uma comparação das taxas médias de desemprego, renda per capita e pobreza, comparados com a média nacional. A Figura 8 apresenta o resultado do índice para o ano fiscal de 2024. Os resultados dessa análise determinam a alocação dos investimentos do *Local Government Economic Development Fund*.

Figura 8. Índice de status econômico por município na região da Appalachia (2024)



Nota: As cinco categorias de status econômico são em dificuldade (distressed), em risco (at-risk), em transição (transitional), competitivo (competitive) ou desenvolvido (attainment).

Fonte: ARC (2024)

A implementação do imposto sobre a produção de carvão no estado do Kentucky e as políticas regionais complementares sofreram inúmeras críticas. Em primeiro plano, grande parte da arrecadação foi utilizada para cobrir déficits do governo estadual. Entre 1972 e 1992 foram arrecadados cerca de US\$ 3 bilhões, e menos de 8% destinaram-se aos municípios produtores de carvão. Esse cenário reflete uma dificuldade na aplicação de recursos para diversificação econômica: em geral, o investimento em desenvolvimento econômico tende a gerar empregos em áreas urbanas, não necessariamente beneficiando comunidades mineradoras (IISD, 2017).

Não obstante, a transição observada no estado de Kentucky é similar ao observado em outros casos: a geração de empregos no processo de transição regional concentra-se no setor de serviços, cuja remuneração tende a ser significativamente inferior aos salários na indústria de mineração, dificultando a recolocação destes trabalhadores (IISD, 2017).

Segundo dados da ARC, apesar do histórico declínio do carvão na região da Appalachia, tem se verificado uma ligeira retomada da produção e empregos no setor, em níveis mais acentuados do que o observado no cenário nacional. Entre 2020 e 2023, a produção de carvão aumentou 18% na região, enquanto no país esse aumento foi limitado a 4%. Em termos de emprego, entre 2021 e 2023 os EUA apresentaram um aumento de 7% de trabalhadores empregados no setor de carvão. Na Appalachia, esse percentual foi de 21%.

3.3. Índia

O carvão possui um papel central no fornecimento energético da Índia. Segundo o Ministério de Estatísticas e Implementação de Programas (MoSPI), o recurso correspondeu a 79% do total de energia fornecida internamente no país e representou cerca de 60% da oferta total de energia primária no ano fiscal de 2023–2024, consolidando-se como a principal fonte energética do país (MoSPI, 2025a).

O carvão é tão importante na Índia que o país possui um ministério desse recurso. O Ministério do Carvão tem a responsabilidade geral de determinar políticas e estratégias relativas à exploração e desenvolvimento de reservas de carvão e linhito, sancionar projetos de alto valor e decidir sobre todas as questões relacionadas ao carvão. Sob o controle administrativo do Ministério, essas funções essenciais são exercidas por meio de Empresas do Setor Público, a saber, a *Coal India Ltd.* e suas subsidiárias e a *Neyveli Lignite Corporation India Limited (NLCIL)*. Além da *Coal India Ltd.* e da *Neyveli Lignite Corporation India Ltd.*, o Ministério do Carvão também possui uma *joint venture* com o Governo de Telangana, chamada *Singareni Collieries Company Limited*. O Governo de Telangana detém 51% do capital e o Governo da Índia, 49% (Índia, 2025).

Os recursos de carvão da Índia são substanciais: de acordo com o *Geological Survey of India* e o Ministério do Carvão, o país detinha, até abril de 2023, aproximadamente 380 bilhões de toneladas em recursos totais, sendo mais da metade classificados como “recursos medidos”. 70% das reservas estão concentradas nos estados de Odisha, Jharkhand and Chhattisgar (Ministry of Coal, 2025). Em termos de reservas, a EIA estima que o país possua 128 bilhões de toneladas e, com isso, ocupa a quinta posição global em volume (EIA, 2025; GEM, 2025a).

A produção de carvão continua crescendo no país, atingindo 997 milhões de toneladas no ano fiscal 2023-2024. O carvão não coqueificável tem a participação dominante na produção total de carvão, com cerca de 93,3% durante o ano fiscal. No entanto, para atender à demanda interna, a Índia depende da importação de carvão. Segundo dados da EIA (2025), no ano de 2023 a Índia importou cerca de 240 milhões de toneladas de carvão, em grande parte dos tipos sub-betuminoso, betuminoso e metalúrgico.

Segundo o Global Coal Mine Tracker, a força de trabalho em minas ativas é de 229.225, sendo que 30.000 trabalhadores estão em minas que possuem estimativa do fim de vida até 2030. Quarenta e quatro minas foram fechadas entre 2015 e 2024, sendo 32 de 2020 a 2024. Pelo menos 763 trabalhadores perderam seus postos de trabalho. No mesmo período, 119 térmicas a carvão foram fechadas, mas 65 foram abertas. A Índia produz mais de 1030 Mt nas suas minas em operação. Além disso, possui 850 plantas térmicas em operação, com capacidade instalada de 243.144 MW UTEs a carvão.

3.3.1. Planos governamentais para TEJ

No âmbito da parceria Índia-EUA para o crescimento sustentável, foi escrito o Relatório do Comitê Interministerial sobre Transição Justa do Setor de Carvão (Aayog, 2022). O comitê propõe um quadro de ação e implementação em múltiplos níveis, com o objetivo de construir uma base para o manejo do fechamento de ativos, incluindo os meios de sobrevivência das pessoas que são direta ou indiretamente afetadas pelo setor do carvão, como:

- saúde comunitária, dado que o acesso a serviços médicos é dado, muitas vezes, por hospitais/dispensários administrados pelas empresas de carvão;
- qualidade ambiental da área de mineração, que deve ser fechada de maneira a garantir que a água e ar estejam livres de qualquer contaminante prejudicial;
- infraestrutura física e social, uma vez que, com frequência, empresas do setor público - como a *Coal India Ltd.* – instalam a infraestrutura e fornecem acesso às comodidades, como escolas, hospitais e estradas e até água para a irrigação, nas regiões dependentes do carvão;
- reaproveitamento de recursos; e,
- finanças públicas, pois a mineração de carvão e as atividades associadas contribuem significativamente para a receita nos estados que possuem carvão.

O documento sugere ações preliminares para a implementação eficaz de uma estrutura de transição justa e um quadro de ação e implementação, propondo uma abordagem abrangente, consultiva, evolutiva e proativa. Como pré-requisitos para possibilitar uma transição justa, o documento destaca quatro elementos:

- Estabelecimento de uma Política de Transição do Carvão:* dada a complexidade e a longa duração da transição, será necessária uma estrutura política bem definida. Isso fornecerá o respaldo administrativo e legal necessário às ações propostas. Recomendou-se que o governo central desenvolva uma política de transição justa do carvão que deve ser finalizada após consultas adequadas com as partes interessadas relevantes (em particular, os estados envolvidos), oferecendo ao público em geral a oportunidade de participação sobre a política. A política deve ser revisitada e refinada periodicamente (por exemplo, a cada cinco anos), com base nas experiências coletadas;
- Estrutura de desenvolvimento regional:* os estados produtores de carvão devem preparar uma ampla estrutura e plano para um futuro pós-fechamento nessas regiões, com base em consultas com as comunidades locais. Essa estrutura pode orientar planos de reurbanização específicos para os ativos;
- Levantamento geoespacial de áreas com carvão:* para entender a extensão dos ativos em questão e a realidade do terreno em relação à paisagem, um levantamento geoespacial detalhado das regiões com carvão poderia ser realizado para preparar um plano de fechamento de minas de carvão;
- Plano de financiamento da transição:* a transição provavelmente exigirá recursos financeiros significativos (por exemplo, para restauração ecológica em minas legadas, desenvolvimento de novas oportunidades de emprego, indústrias, requalificação e treinamento etc.). Além disso, o fechamento das minas de carvão no curto e longo prazo provavelmente afetará negativamente as finanças das regiões produtoras de carvão que já são tipicamente carentes de recursos. Portanto, o governo Central deve apoiar o processo de transição justa nas minas de carvão, fornecendo assistência financeira necessária além das possibilidades do proponente do projeto e do governo estadual envolvido. Para esse fim, um "Fundo de Transição de Energia Verde da Índia", dedicado e não expiratório, poderia ser estabelecido com o propósito explícito de auxiliar comunidades, regiões e estados a traçar um caminho de desenvolvimento alternativo. Os recursos para tal fundo podem ser levantados de várias fontes, como recursos internacionais (financiamento climático), emissão de títulos, taxas especiais ou impostos, multas cobradas de poluidores e recursos existentes como *District Mineral*

Foundation (DMF), National Mineral Exploration Trust (NMET) e “Clean Energy Cess”. Um mecanismo bem definido para a utilização desses fundos também deve ser desenvolvido para garantir a responsabilidade do uso dos fundos.

O quadro deve ser planejado e estar em conformidade com os procedimentos/políticas estabelecidos, o que requer uma arquitetura institucional robusta. Por isso, o comitê propõe uma Força-Tarefa de três níveis:

- Nível 1: instituído a nível federal, deve ser presidido pelo Ministério do Carvão (MoC) e composto por representantes dos ministérios relevantes do governo federal, incluindo ministérios relacionados com o desenvolvimento rural, agricultura, desenvolvimento de recursos humanos e meio ambiente. Deve também incluir especialistas de fora do governo com experiência em setores relevantes, como carvão, desenvolvimento humano e meio ambiente. Esse nível tem o papel amplo de garantir uma transição justa no processo de encerramento de minas de carvão e é responsável por definir diretrizes e boas práticas no processo. Deve assegurar a convergência e o alinhamento com as políticas e programas nacionais existentes com a política de Transição Justa do setor do carvão. As suas responsabilidades incluem o acompanhamento do encerramento de ativos e do progresso dos encerramentos de ativos em curso, além do fornecimento de assistência técnica e financeira. Para tal, pode convocar reuniões com membros relevantes de outros níveis e desenvolver uma estratégia coordenada para operacionalizar a estrutura sugerida e incentivar a aprendizagem cruzada entre estados e ativos.
- Nível 2: instituído em nível estadual para estados produtores de carvão, é composto por representantes do governo estadual, representantes das empresas de carvão que operam no estado, representantes trabalhistas e especialistas em transição da sociedade civil. Esse nível é responsável por garantir que as preocupações do estado (como emprego, receita, reaproveitamento de recursos, etc.) sejam atendidas, incluindo a perda de receita estadual decorrente do fechamento de tais ativos e o alinhamento com as políticas estaduais existentes. Além de supervisionar os planos para o fechamento de cada ativo naquele estado, o Nível 2 também é responsável por estruturar o desenvolvimento regional para incluir ações mais amplas que permitam o fechamento de minas de carvão com princípios de transição justa. Isso inclui fornecer desenvolvimento de habilidades laborais ou requalificação necessários, executar programas de empreendedorismo e elaborar políticas industriais apropriadas.
- Nível 3: constituído pelo Nível 2 para cada ativo a ser fechado, composto por representantes das comunidades locais afetadas, representantes da equipe do projeto e da administração e agências distritais correspondentes. Deverão ser instituídos pelo menos 4 anos antes do fechamento do ativo, para que seja elaborado um plano consultivo de redesenvolvimento e readaptação específico para cada ativo; e sua duração é baseada no plano de fechamento do ativo específico. O desenvolvimento e implementação desse plano deve ocorrer com base em consultas públicas, para garantir que as preocupações e aspirações da comunidade sejam contempladas na estrutura para o fechamento do ativo específico. O Nível 3 também pode contratar consultores externos para auxiliá-los em suas tarefas, mas a responsabilidade permanece com eles.

A estrutura de ação e implementação inclui a escrita de relatórios anuais de fechamento, onde serão divulgados locais e datas de fechamento; planos de reabilitação específicos com

desenvolvimento participativo, com cronogramas e financiamento detalhado, com pelo menos 3 anos antes do fechamento; monitoramento pós-fechamento com relatórios anuais executados pelo Nível 3, aprovados pelo Nível 2, e disponibilizados publicamente.

Dessa forma, em linhas gerais, o Comitê recomenda a adoção da estrutura nas seguintes etapas:

- i. Desenvolver uma política de transição justa para lidar com o fechamento de minas de carvão, com base na ação e na estrutura de implementação sugeridas, e empreender as ações de facilitação associadas.
- ii. Identificar fontes de financiamento para apoiar a referida transição justa e desenvolver diretrizes para a utilização desses fundos a fim de viabilizar a transição justa prevista, de acordo com as diretrizes propostas.
- iii. Criar uma Força-Tarefa de três níveis, que será responsável pela operacionalização da política de transição justa proposta.
- iv. Garantir que as atividades relacionadas ao fechamento sejam realizadas de acordo com a política estipulada.
- v. Desenvolver planos de redesenvolvimento e readaptação para cada fechamento de ativo de carvão, com amplo envolvimento e consulta às comunidades locais.
- vi. Disponibilizar publicamente todas as informações (relatórios, dados etc.) para aumentar a responsabilização e a transparência.

O site do MoC não fala diretamente do descomissionamento, mas tem uma aba de sustentabilidade onde apresenta sugestões para as áreas ocupadas ou previamente ocupadas por minas de carvão. Destaca-se que algumas empresas de carvão/linhito estão optando por projetos solares montados no telhado e solo de minas em funcionamento, além de preverem o desenvolvimento de parques solares em algumas das áreas de mineração recuperadas. Em 2023, as estatais de carvão/linhito possuíam capacidade instalada de cerca de 1.656 MW de solar e 51 MW de eólicas, sendo planejados 5.570 MW de capacidade renovável até 2030. O MoC também promove o potencial de turismo nas áreas de mineração, após o esgotamento das reservas. Áreas mineradas, lixões e outras áreas afetadas são recuperadas simultaneamente assim que são desvinculadas da zona de mineração ativa (Índia, 2025).

3.4. Indonésia

A Indonésia é o terceiro maior produtor de carvão mundial, responsável por cerca de 9% ou 4.371 TWh em 2023 (Energy Institute, 2024), e 710 milhões de toneladas de carvão em 2024 (GEM, 2025a). Além de consumir o recurso, com 42,7% da sua matriz primária (2.808 TWh em 2023) e 61,8% da sua matriz elétrica advinda do carvão (350 TWh), também é um importante exportador, tendo exportado mais de 500Mt em 2023, principalmente para a Ásia (Ember, 2025a; Energy Institute, 2024; IEA, 2025). São 54.684 MW em operação em usinas a carvão (GEM, 2025a), emitindo cerca de 265 milhões de toneladas de CO₂ anualmente (GEM, 2025a). O país possui a sétima maior reserva de carvão do mundo, com 38.641 milhões de toneladas (EIA, 2025).

De 2015 a 2024, 4 minas foram fechadas, e, em 2022, 55 MW saíram de operação. Entre 2025 e 2030, planeja-se o descomissionamento de 595 MW de UTEs a carvão, atingindo um total de 2.305 MW até 2040 (GEM, 2025a). Atualmente, estima-se que mais de 215 mil trabalhadores sejam empregados em minas ativas no país, mas cerca de 20 mil podem perder seus empregos

com o fim da vida das minas em 2030 (GEM, 2025a). No entanto, tecnologias de energia renovável oferecem um retorno maior de anos de trabalho por GWh de eletricidade gerada por nova capacidade em comparação com o carvão (GRAFAKOS *et al.*, 2020).

Desde a ratificação do Acordo de Paris, a Indonésia identificou a transição energética como uma das estratégias principais para alcançar as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa, conforme estabelecido na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). O país estabeleceu em sua estratégia de longo prazo (LTS, *Long-Term Strategy*) uma meta de emissões líquidas zero até 2060. Em 2022, o Governo da Indonésia (Gol) e o Grupo de Parceiros Internacionais (IPG) lançaram a Parceria de Transição Energética Justa da Indonésia (JETP Indonésia).

3.4.1. Planos governamentais para TEJ

A JETP da Indonésia lançou o Plano de Investimento e Políticas (CIPP, *Comprehensive Investment and Policy Plan*) para planejar o caminho para alcançar as metas de transição energética e redução das emissões de gases de efeito estufa no setor de energia, ao mesmo tempo em que apoia as comunidades afetadas (JETP-Indonésia, 2023). Nele são listados objetivos intencionais condicionais para descarbonização, entre eles atingir emissões máximas do setor de energia até 2030 com um valor absoluto de não mais que 290 MT de CO₂ (a linha de base é de 357 MT de CO₂ em 2030), e diminuindo imediatamente a partir daí para alcançar emissões líquidas zero no setor de energia até 2050, incluindo com a o descomissionamento acelerado de usinas de carvão; além de acelerar a implantação de energia renovável de modo que a energia renovável represente pelo menos 34% de toda a geração de energia até 2030. Essas metas foram lançadas através de uma declaração conjunta do Gol e do IPG, condicionadas ao suporte internacional.

A análise do CIPP concluiu que alcançar todas as metas condicionais conjuntas poderia não representar um caminho de descarbonização realista. Por isso, o CIPP proposto em 2023 estabeleceu apenas metas de emissões e um roteiro para a rede interligada, mantendo o nível de ambição originalmente pretendido na Declaração Conjunta. Prevê-se, assim, que as emissões totais do setor de energia conectado à rede atinjam o pico até 2030, com uma meta de emissão de no máximo 250 MT de CO₂ em 2030; participação da geração de energia renovável de 44% até 2030; e emissões líquidas zero no setor de energia até 2050.

Cinco áreas de foco de investimento, com custo estimado em pelo menos US\$ 97,1 bilhões entre 2023-2030 e US\$ 580,3 bilhões entre 2023-2050, foram estabelecidas para atingir as metas do setor elétrico. Esses números excluem a extensão total do custo para avaliações e intervenções de transição justa, que devem custar pelo menos US\$ 0,2 bilhão até 2030. A JETP já obteve compromisso de financiamento inicial de US\$ 20 bilhões, que deve atuar como um catalisador, cobrindo aproximadamente um quinto do investimento total necessário para alcançar as metas da JETP estabelecidas para 2030. Uma das cinco áreas de foco de investimento da JETP é “aposentadoria antecipada de UTE a Carvão e descomissionamento gerenciado; *retrofits* de flexibilidade do carvão e aposentadorias antecipadas”, exigindo até US\$ 2,4 bilhões até 2030.

Em 2022, uma nova regulamentação proibiu o desenvolvimento de novas usinas de carvão, exceto para aquelas já incluídas no pipeline do Plano de Negócios para o Fornecimento de Eletricidade. A regulamentação também permite apoio fiscal para a desativação e descomissionamento acelerado de usinas por meio de instrumentos de financiamento misto. No entanto, a realização dessa oportunidade exige uma mobilização massiva de capital. No

cenário JETP, aposentadorias antecipadas são realizadas para 1,7 GW de capacidade de produtores independentes de energia e da empresa estatal de eletricidade da Indonésia até 2040, viabilizadas pelo apoio financeiro internacional do Mecanismo de Transição Energética.

No cenário JETP não são estimadas perdas de postos de trabalho pelo descomissionamento adiantado de UTEs de carvão, mas o plano destaca que podem existir impactos adversos sobre empregos informais para pequenos produtores de carvão vegetal e para muitos empregos relacionados ao transporte de carvão. O Plano pontua que, de modo geral, intervenções na força de trabalho e na proteção social precisam ser contextualizadas e adaptadas às comunidades afetadas nas áreas onde as UTEs a carvão estão sendo descomissionadas. Perdas de emprego no setor de mineração de carvão ocorrerão e novas oportunidades de trabalho em energias renováveis podem não estar na mesma localidade que aquelas comunidades afetadas pela redução da produção de eletricidade movida a carvão. Portanto, o plano destaca que programas de assistência social combinados com requalificação e programas de formação profissional precisam fazer parte de esquemas de emprego de longo prazo e devem ser implementados em um estágio relativamente inicial do programa JETP. Programas de educação e formação técnica e profissional podem ter um impacto ao longo do tempo sobre aqueles que se juntam a eles, e o descomissionamento acelerado de UTEs a carvão aumentará a demanda por suporte imediato. O CIPP destaca também que efeitos mais sistêmicos geralmente demoram de 5 a 10 anos para dar frutos e, portanto, ações precoces serão essenciais como parte dos objetivos de longo prazo do JETP.

As transições energéticas globais terão impacto significativo nas exportações de carvão da Indonésia. Países que correspondem a quase 85% do valor total das exportações de carvão do país têm um compromisso de alcançar emissões líquidas zero, embora com várias datas-alvo e status legais associados a esses compromissos (JETP-Indonésia, 2023 *apud* IEA, 2022). Assim, as minas de carvão e negócios adjacentes enfrentam um futuro incerto, mas provavelmente em declínio internacionalmente, e há compromissos internos para reduzir o uso de carvão. A produção de carvão é concentrada em províncias específicas, com a Indonésia do Norte sozinha produzindo 48% da oferta doméstica. O emprego geral na mineração na Indonésia atinge 250.000 pessoas, o que sugere que a redução da atividade mineradora poderia impactar centenas de milhares de indonésios; a perda de receita do governo local nas províncias afetadas poderia impactar os serviços para ainda mais pessoas (JETP-Indonésia, 2023 *apud* Instituto para a Reforma dos Serviços Essenciais, 2022).

O Plano menciona que, embora os benefícios econômicos, ambientais e sociais de uma transição do carvão sejam claros, desafios permanecem na implementação dessa transição, que pode ser apoiada por meio de uma abordagem de desativação gerenciada. Isso implica um plano cuidadosamente projetado, estruturado e implementado, que seja acordado por todas as partes interessadas afetadas e leve a cinco resultados-chave: 1) confiabilidade da rede, a curto e longo prazo, continua, se não melhorada; 2) oferta de oportunidades para crescimento econômico e diversificação, incluindo apoio para trabalhadores e comunidades afetadas pelas mudanças climáticas e pelos impactos econômicos da transição; 3) minimização de custos de eletricidade; 4) declínio rápido das emissões de carbono; e 5) estabilidade de instituições e empresas que fornecem serviços públicos cruciais.

Além disso, a Indonésia investiu muito na geração a carvão na última década para acompanhar o crescimento da demanda antecipada, com cerca de 20 GW de adições. Isso se traduz em uma quantidade substancial de capital que a empresa estatal de eletricidade da Indonésia (PLN) e os

produtores independentes de energia (IPP) ainda precisam recuperar. Os IPPs vincularam seu investimento a contratos de compra de energia a longo prazo através de contratos de compra de energia com a PLN – as condições contratuais incluem contratos de até 30 anos, termos inflexíveis de *take-or-pay* e transferência de custos de combustível – que precisariam ser reestruturados para transição bem-sucedida. Até o momento, um grande obstáculo na integração de energia renovável na rede indonésia tem sido a natureza inflexível dos contratos de compra de energia entre a PLN e os IPPs. As obrigações de *take-or-pay* nesses contratos, que fornecem pagamentos de capacidade fixa para os IPPs com base em um fator mínimo de disponibilidade da planta de 80%, levaram a uma adição significativa de capacidade de energia a carvão no sistema, sem incentivar essas usinas a se adaptarem a uma operação de rede flexível.

Para adaptar os contratos de compra de energia de carvão à flexibilidade operacional necessária durante a fase de descomissionamento gerenciada, a PLN poderia renegociar os termos contratuais para incentivar as usinas de carvão a fornecerem flexibilidade e serviços auxiliares. Isso permitiria ao sistema de energia ganhar a capacidade de ajustar sua operação em resposta a condições do sistema — como padrões de consumo de combustível ou alta produção de energia renovável — enquanto utiliza a geração baseada em combustíveis fósseis de maneira mais eficiente. Esses efeitos exigiriam mudanças políticas e contratuais, complementadas por mecanismos de financiamento, como refinanciamento com financiamento misto e o Mecanismo de Transição Energética.

O Plano considera que a reconfiguração de usinas a carvão pode desempenhar um papel fundamental na provisão de eletricidade segura e confiável. Reconfiguração refere-se a modificar uma usina de carvão para um novo uso (por exemplo, para armazenamento de energia), para apoiar um novo modo de operação (por exemplo, ajustar a produção para seguir a demanda ao invés de fornecer energia de base, ou seja, operações flexíveis), ou ambos. A reconfiguração de usinas a carvão tem o potencial de servir como uma ferramenta de transição enquanto as tecnologias de energia limpa se ampliam para se tornarem os recursos de geração de eletricidade dominantes. Basear as escolhas de reconfiguração nos requisitos técnicos da rede garante que a confiabilidade seja mantida enquanto maximiza a redução de emissões ao menor custo, e que os projetos de reconfiguração sejam credíveis do ponto de vista de financiamento e execução para evitar a dependência do carvão e vazamentos das emissões. Um exemplo disso é a queima conjunta com biomassa, que no cenário JETP compreende cerca de 5% a 10% da geração anual das usinas de carvão entre 2030 e 2050, atuando como uma estratégia complementar para reduzir as emissões das usinas existentes.

De modo geral, o JETP Indonésia segue princípios fundamentais: (1) contribuir positivamente para a economia da Indonésia e garantir a acessibilidade à energia; (2) garantir a segurança e a estabilidade energética, enquanto assegura uma transição justa; (3) garantir a sustentabilidade da energia; e (4) manter a sustentabilidade financeira de longo prazo para a PLN e suas subsidiárias. Entre os princípios de financiamento do JETP tem-se que os critérios de seleção sob o princípio de financiamento para a prontidão do projeto devem estar alinhados com as recomendações contidas na avaliação técnica e na Estrutura de Transição Justa.

3.5. Austrália

Atualmente, 25% da energia primária da Austrália é oriunda do carvão, incluindo 46% da eletricidade gerada em 2023. Nas minas de carvão, térmico e siderúrgico, dividem-se cerca de 50.000 trabalhadores. Na geração de eletricidade por combustíveis fósseis (em geral), trabalham cerca 6.600 pessoas (GILFILLAN 2023; Ember, 2025; Energy Institute, 2024).

No cenário mais provável, a previsão é que cerca de 90% das usinas a carvão serão desativadas antes de 2035. Até 2040, se espera não haver mais nenhuma usina ativa, o que representará o encerramento de cerca de 20GW de capacidade instalada (Austrália 2024: 10).

O desafio que o país enfrenta é substituir o carvão por fontes renováveis e de baixa emissão. Além da dimensão ambiental, o envelhecimento das usinas, os elevados custos de manutenção e a (baixa) competitividade em relação às renováveis também influenciam essa decisão. Como alternativas, destacam-se a energia eólica, solar e hídrica (inclusive reversível), além de baterias e UTEs a gás natural.

Vale notar que cerca de 95% dos 172 Mt (milhões de toneladas) de carvão metalúrgico produzidos em 2022 e 80% dos 246 Mt de carvão térmico foram exportados. Além disso, o país é o quarto com maior quantidade de recursos. Isso explica, em parte, por que, no nível nacional, os programas de apoio à economia de baixo carbono citam o fechamento das térmicas a carvão, mas não das minas.

3.5.1. Planos governamentais para TEJ

O Plano de eletricidade australiano prevê a criação de oportunidades econômicas e de emprego nas regiões afetadas pelo fechamento das usinas, sem detalhes (para um exemplo de plano regional detalhado, ver *Collie's Just Transition Plan* de 2020).

A *Net Zero Economy Authority* tem um programa de apoio para trabalhadores das regiões próximas ao fechamento de UTEs a gás ou carvão. Para avaliar se será implementado o plano a partir desta agência federal, é considerado: o número de trabalhadores afetados direta ou indiretamente, quantos desses pretendem procurar emprego após o fechamento, capacidade desses trabalhadores se recolocarem no mercado, capacidade da indústria local absorver esses trabalhadores, entre outros. Para fazer essa avaliação, são consultados atores das indústrias diretamente afetados ou indiretamente – o que pode incluir pequenas minas próximas à UTE. Assim que o fechamento de uma usina é anunciado, normalmente com uma antecipação de mais de 3 anos e meio, um plano tem que começar a ser implementado 2 anos antes da data de encerramento (Austrália, s.d.).

Para os trabalhadores, as três principais ofertas de apoio se referem a três eixos: planejamento de carreira, treinamento e consultoria financeira (às custas do empregador nesse momento); folga remunerada e flexibilidade para ir a entrevistas e treinamentos; e, conhecer novos empregadores e sindicatos. Tudo isso com apoio para manutenção dos empregos o quanto for possível até o fechamento. Em relação aos trabalhadores que podem ser transferidos para outras indústrias, destacam: os mineiros; operadores de geração de usinas de energia; motoristas de caminhão; metalúrgicos e soldadores; maquinistas e metalúrgico eletricitistas; engenheiros ou técnicos de engenharia ou desenhistas; gerentes de projetos de engenharia;

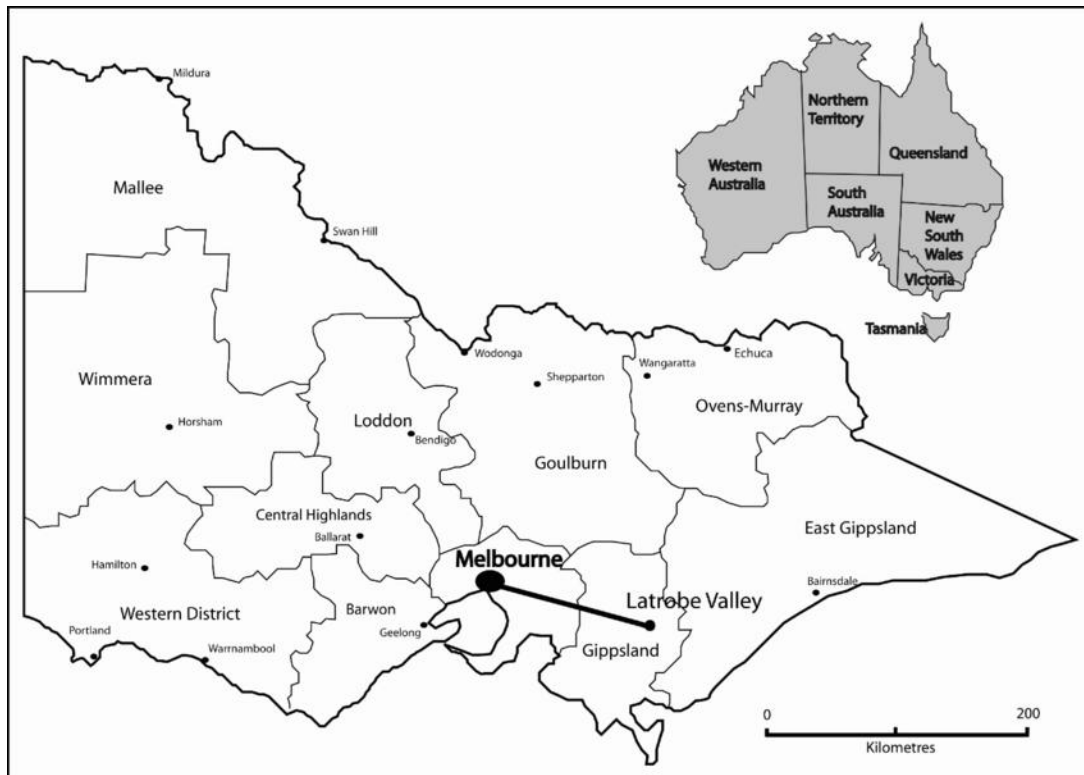
gerentes gerais de projetos, de programas ou de contratos; contadores; trabalhadores de administração e apoio de escritório. Há incentivos – via pagamentos - para as outras indústrias da região contratarem profissionais oriundos das UTEs em fechamento. Existe apoio também para os donos das indústrias que estão fechando, ou empregadores de atividades dependentes indiretamente do carvão. Para formar esse plano de emprego, é criada uma comissão com representantes do governo, das empresas e dos empregados (JOBS QUEENLAND, s.d).

Em resumo, o foco das ações está nos trabalhadores, com atenção à cadeia de empregos e empregadores relacionados à atividade principal que será fechada. O foco da ação é ajudar, nos 2 anos anteriores ao fechamento, para que os trabalhadores consigam outros empregos. Neste sentido, o diagnóstico visa identificar para cada trabalhador quais suas habilidades e possibilidades de se empregar futuramente, e, caso seja necessário novas habilidades, fornecer meios para que consigam aprender (recursos e tempo livre no trabalho atual). O diagnóstico se utiliza de métodos quantitativos (estatísticas do mercado de trabalho; tendências demográficas) e qualitativos (entrevistas e estudos de caso). Alguns riscos identificados são atrasos na coleta de dados, falta de recursos e mudanças nas condições econômicas regionais. E os critérios de sucesso se referem ao nível de engajamento do público-alvo, a conclusão do plano de transição da força de trabalho – dentro do orçamento previsto, e a adoção do plano pelo público-alvo da região (Australia, 2024).

3.5.2. Estudo de Caso: Latrobe Valley e Hazelwood

O Latrobe Valley é um vale localizado no estado de Victoria, a aproximadamente 150 quilômetros a leste da capital do estado, Melbourne, em uma região chamada Gippsland (Figura 9). O vale tem aproximadamente 1.422 km² e inclui a cidade de Latrobe, um dos quatro principais centros regionais de Victoria, com uma população de aproximadamente 74.000 habitantes.

Figura 9. Localização de Latrobe Valley

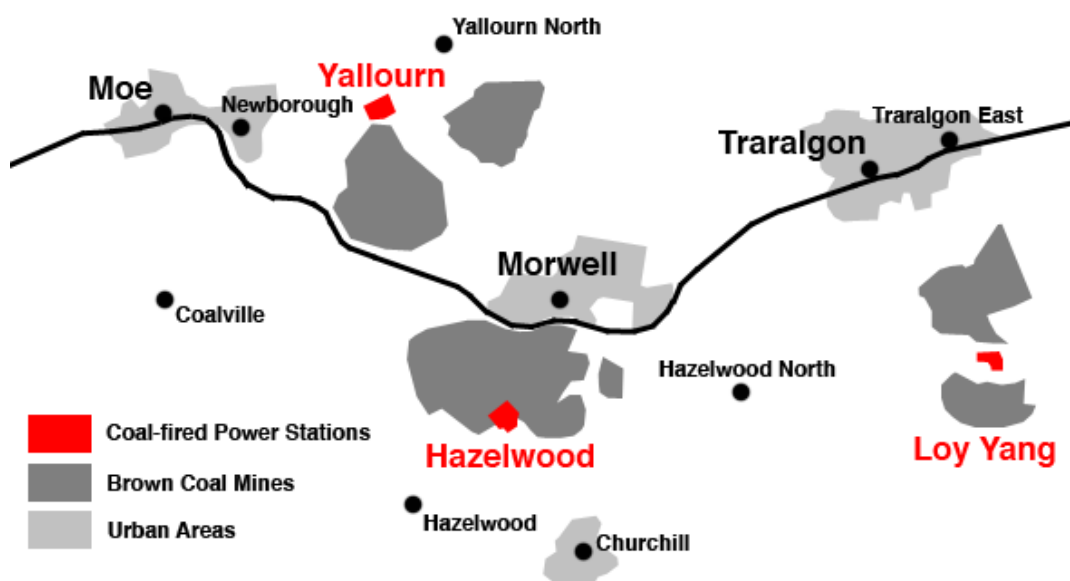


Fonte: WELLER (2012)

O vale está situado em uma das maiores reservas de lençol freático do mundo, que são extraídas de três minas a céu aberto (Yallourn, Hazelwood e Loy Yang, apresentadas na Figura 10), e usadas quase que inteiramente para a geração de eletricidade para uso doméstico, com o Latrobe Valley fornecendo aproximadamente 90% das necessidades de eletricidade de Victoria.

A escavação da mina a céu aberto de Morwell (posteriormente mina de Hazelwood) começou em 1955. O carvão da mina foi inicialmente fornecido à usina de Yallourn, até que a usina de Hazelwood entrou em operação. As oito unidades geradoras da Hazelwood entraram em operação entre 1964 e 1971. A usina de Hazelwood era uma das maiores da Austrália, com capacidade de 1.600 MW, e fornecia cerca de 5% da produção de eletricidade do país antes de seu fechamento, em março de 2017. Além disso, era a usina de energia mais intensiva em carbono da Austrália (e uma das mais intensivas em carbono do mundo), com mais de 1,5 kg de CO₂ por kWh, e a mais antiga em operação no momento do fechamento (JOTZO; MAZOUZ; WISEMAN, 2018). Além de símbolo da dependência australiana do carvão, Hazelwood também foi palco de disputas eleitorais desde meados dos anos 2000, sobretudo acerca da política climática (WISEMAN; CAMPBELL; GREEN, 2017).

Figura 10. Usinas e minas de carvão na região de Latrobe Valley



Fonte: Wikipedia (2025)

Durante as décadas de 1980 e 1990, a economia australiana passou por um conjunto de reformas liberalizantes, com foco dos governos estaduais e nacional em redução de tarifas, privatização e reformas microeconômicas. Em 1996, o governo de Victoria vendeu a *Hazelwood Power Corporation* por US\$ 2,35 bilhões para a *Hazelwood Power Partnership*, um consórcio privado liderado pela empresa britânica *National Power*, que assumiu as operações da mina *Morwell Open Cut* e da *Hazelwood Power Station*. Várias mudanças na marca e na propriedade das ações da *Hazelwood Power Partnership* ocorreram desde a privatização, sendo que os proprietários majoritários desde 2012 eram a multinacional francesa Engie (antiga GDF Suez), que detinha 72% das ações, e a multinacional japonesa Mitsui, que detinha os 28% restantes.

Como destacado por Jotzo, Mazouz e Wiseman (2018), a privatização levou a uma redução de empregos diretos e aumento da terceirização. Ao final do processo de privatização, cerca de 8.000 trabalhadores perderam seus empregos e o Valley se tornou a região mais desfavorecida de Victoria, com uma queda de 9% nos empregos de tempo integral na região entre 1994 e 2001 e um movimento migratório acentuado, sobretudo entre trabalhadores mais jovens. Entre 1991 e 1999, o número de residentes recebendo auxílio desemprego aumentou em 78,2% (WISEMAN; CAMPBELL; GREEN, 2017).

O processo de privatização da década de 1990 foi seguido pelo desenvolvimento de uma série extensa de planos governamentais com o objetivo de reposicionar o Valley e diminuir a dependência regional dos setores de eletricidade e recursos naturais. Exemplos são o *Latrobe Valley Ministerial Taskforce*, em 2000; a *Latrobe Economic Development Strategy 2004-2008*; o *Latrobe 2021 – The Vision for Latrobe Valley*, desenvolvido pela prefeitura municipal; e o *Latrobe Valley Industry and Employment Roadmap*, publicado em 2012 pelo governo de Victoria. No entanto, essas iniciativas tiveram sucesso limitado e a economia regional continuou dominada pelo setor de geração de eletricidade (WISEMAN; CAMPBELL; GREEN, 2017).

A partir de 2007, as discussões sobre a política climática e necessidade de mecanismos de mitigação das emissões de gases de efeito estufa tornaram-se centrais no debate político federal

e estadual. Em 2008, o *Garnaut National Climate Change Review*² identificou Latrobe Valley como a região que mais seria afetada pela adoção de um sistema de precificação do carbono (assim como outras opções de políticas de redução de emissões, como esquemas de “pagamento por fechamento” e subsídios à energia renovável), em função da sua dependência econômica em relação à mineração de carvão e geração de energia. Apesar da precificação de carbono ter sido implementada entre 2012 e 2014, aumentando os custos marginais das plantas de carvão, nenhuma usina foi fechada nesse período.

Em fevereiro de 2014, a mina de Hazelwood pegou fogo em consequência de incêndios florestais nas proximidades. O incêndio na mina durou 45 dias e cobriu a cidade vizinha de Morwell com fumaça e cinzas. Investigações posteriores constataram que houve efeitos adversos significativos à saúde da população. Além disso, constatou-se que o operador da mina estava despreparado para o incêndio, de modo que não identificou suficientemente os riscos para Morwell e comunidades vizinhas, e também não adotou medidas adequadas de controle de riscos (JOTZO; MAZOUZ; WISEMAN, 2018).

Em abril de 2016, o governo de Victoria anunciou um aumento nos royalties do carvão de 7,6 centavos para 22,8 centavos por gigajoule de energia, alinhando as taxas de Victoria a de outros estados australianos produtores de carvão. A partir desse momento, sinalizações da Engie e especulações do mercado indicavam a consideração de um fechamento antecipado de Hazelwood. Em novembro de 2016, a Engie anunciou a decisão de fechamento permanente da usina em março de 2017, enfatizando que esta foi uma decisão puramente comercial, principalmente em função dos crescentes custos necessários para garantir uma operação contínua segura e viável da usina.

Na época do anúncio do fechamento, Hazelwood empregava diretamente 750 trabalhadores - 450 funcionários e 300 terceirizados, e no ano fiscal de 2016, a Engie relatou pagamentos aos funcionários de aproximadamente US\$ 36 milhões. A média de permanência dos trabalhadores da Hazelwood era de 25 anos, com uma idade média de 52 anos (JOTZO; MAZOUZ; WISEMAN, 2018).

Dada a idade da usina de Hazelwood, o órgão de segurança do trabalho de Victoria exigiu atualizações e reparos em 5 de suas 8 caldeiras para atender aos padrões de saúde e segurança, a um custo estimado pela Engie de US\$ 400 milhões. A resposta da empresa foi de que “dadas as condições atuais e previstas do mercado, esse nível de investimento não pode ser justificado”. As estimativas da Engie é de que o custo de reabilitação do local será de US\$ 439 milhões para a mina e US\$ 304 milhões para a usina de energia – com duração de um ano para o descomissionamento, três anos para a demolição e 30 anos até que o local fosse devolvido ao governo de Victoria.

Como resposta ao fechamento de Hazelwood, um conjunto de políticas e programas foram anunciados. A nível federal, o governo australiano desenvolveu um pacote de cerca de US\$ 40 milhões para ajudar os trabalhadores afetados pelo fechamento da usina, incluindo US\$ 20 milhões para apoiar a infraestrutura local, US\$ 3 milhões para o mercado de trabalho (retreinamento, assistência para reposicionamento e outros apoios), e US\$ 20 milhões como parte de um pacote com foco na criação de empregos locais e diversificação da economia

² A *Garnaut Climate Change Review*, publicada em 2008, foi uma análise abrangente dos impactos das mudanças climáticas na Austrália, com proposição de políticas atingir um desenvolvimento sustentável. Liderada pelo professor Ross Garnaut, o documento incluiu a análise do potencial de um sistema de comércio de emissões.

regional. O governo de Victoria, por sua vez, anunciou US\$ 22 milhões em assistência para os trabalhadores da região e a criação da *Latrobe Valley Authority* (LVA) para liderar o trabalho nas estratégias de transição econômica. Adicionalmente, foram disponibilizados US\$ 224 milhões em fundos destinados a promover o crescimento econômico, o investimento e a criação de empregos na região, bem como o financiamento para projetos relacionados à infraestrutura, e programas de apoio a trabalhadores do setor de carvão e eletricidade que perderam seus empregos.

A criação da LVA é um dos elementos de destaque do caso de Hazelwood e Latrobe Valley. Alguns resultados desde sua instituição, em 2017, são (RDV, 2025):

- i. US\$ 750 milhões mobilizados em projetos, incluindo o *Gippsland Hi-Tech Precinct* e o *Gippsland Regional Aquatic Centre*;
- ii. O estabelecimento do *Worker Transition Service* (Serviço de Transição do Trabalhador) para apoiar os trabalhadores de Hazelwood e suas famílias na transição de carreira, treinamento, saúde e bem-estar;
- iii. Um programa de reembolso de crescimento econômico que forneceu financiamento para 374 empresas, resultando em 1.156 empregos;
- iv. A entrega da *Latrobe Valley Sports and Community Initiative*, de US\$ 85 milhões, que criou instalações inclusivas de última geração e 500 empregos em toda a região;
- v. Liderança do *Business Support Service* em parceria com os seis governos locais de Gippsland, que oferece um serviço de atendimento personalizado que facilita o acesso das empresas a serviços de apoio e redes relevantes;
- vi. Desenvolvimento de um programa de financiamento de mais de US\$ 20 milhões em subsídios para a infraestrutura da comunidade local, juntamente com um suporte focado para organizações comunitárias.

Assim, um elemento central da atuação da LVA é o apoio aos trabalhadores. Nesse caso, o apoio não se restringe aos ex-mineradores diretamente afetados, mas também aos terceirizados e familiares. No *Worker Transition Service*, a assistência inclui apoio para identificação dos empregos e treinamento disponíveis de forma individualizada, envolvendo os principais prestadores de serviços e identificando as necessidades de treinamento específicas. Isso inclui a preparação de currículos, preparação para entrevistas e orientação profissional, ou orientação e assistência para a criação de negócios próprios.

Além do *Worker Transition Service*, o governo criou uma série de esquemas direcionados com o objetivo de criar novos empregos para os trabalhadores afetados. O *Worker Transfer Scheme* foi criado para facilitar a reintegração de 150 ex-trabalhadores da usina de Hazelwood em vagas de emprego criadas pela aposentadoria antecipada de trabalhadores de outras geradoras de energia na região de Latrobe Valley. O *Back to Work Scheme* fornece até AU\$ 9.000 (aproximadamente € 5.550) por trabalhador para empresas que empregam e treinam pessoas desempregadas que moram no Latrobe Valley; até novembro de 2019, o esquema havia criado mais de 1.000 funções em tempo integral e mais de 200 em tempo parcial. Por fim, o Programa de Transição da Cadeia de Suprimentos ajudou as empresas afetadas pelo fechamento da usina de Hazelwood a criar e implementar um plano de transição de negócios. O programa facilitou a conclusão de 57 planos. Durante o período de novembro de 2016 a novembro de 2019, 52 empresas ainda estavam executando seus planos e 34 empresas haviam concluído totalmente seus planos.

Um outro ponto de destaque é a estratégia de inovação desenvolvida pela LVA, que destacou os pontos fortes da região e aplicou princípios e práticas de “especialização inteligente” na região de Gippsland. O objetivo era criar colaboração e cooperação entre o setor, as instituições de ensino superior, o governo local e a comunidade, garantindo que o desenvolvimento de habilidades atendesse às necessidades do setor, apoiando, assim, o crescimento inclusivo, a construção de conhecimento e a expansão de empregos voltados para o futuro na região. O desenvolvimento da estratégia foi realizado por uma equipe de 40 especialistas locais com experiência no setor público e forte conexão com redes locais na região, com apoio adicional da Universidade de Melbourne e do *Royal Melbourne Institute of Technology* para facilitar a implementação. A estratégia foi projetada seguindo cinco etapas principais:

- i. Análise de como os setores em Gippsland funcionam atualmente;
- ii. Um processo de engajamento para entender melhor os pontos fortes da região e as oportunidades e o potencial futuros;
- iii. Um processo de design colaborativo para desenvolver uma visão compartilhada para o futuro (a Estratégia de Especialização Inteligente);
- iv. Priorização de projetos e atividades para começar a implementar a estratégia;
- v. Monitoramento e avaliação de programas.

Cabe destacar que o processo foi acompanhado por um conjunto de indicadores para medir a mudança sistêmica na comunidade. Assim, em conjunto com as metas estabelecidas para a região pelo governo estadual, os indicadores forneceram base para o monitoramento e a avaliação da estratégia.

Em termos de readequação dos ativos e recuperação das áreas associadas à mineração, em 2023 foi inaugurado o primeiro projeto de baterias de grande porte da Austrália, nas antigas instalações da usina de Hazelwood. O projeto conta com sistemas de baterias que totalizam 150 MW, com capacidade de armazenar o equivalente a uma hora da eletricidade gerada por 30 mil sistemas fotovoltaicos residenciais. O objetivo do projeto é injetar a energia armazenada em períodos de pico, auxiliando na estabilidade da rede. Resultado de uma parceria da Engie e das empresas Eku Energy e Fluence, foi anunciado como parte do programa de restauração após o descomissionamento da termelétrica a carvão, uma vez que os sistemas de armazenamento aproveitaram a infraestrutura de conexão à rede elétrica da usina (ENGIE, 2023).

Em síntese, o caso de *Latrobe Valley* traz algumas considerações importantes sobre o processo de descomissionamento das atividades carboníferas. Em primeiro lugar, o fechamento não-planejado das usinas exigiu uma forte intervenção do governo para mitigar os impactos imediatos sobre os trabalhadores e comunidades. Nesse contexto, a política de apoio individualizado para os trabalhadores e suas famílias demonstrou-se eficiente na promoção de um processo mais justo. Além disso, expandir o foco para toda a cadeia de valor afetada, bem como incorporar setores capazes de reempregar os trabalhadores da mineração são boas práticas identificadas nos programas da região. Por fim, quanto à LVA, o desenvolvimento de uma estratégia de inovação regional, considerando suas especificidades e potencialidades, demonstrou-se eficiente para a criação de empregos de forma direcionada. Nesse caso, a participação de diferentes agentes – indústria, academia e sociedade civil -, além do governo, torna-se ainda mais relevante.

3.6. África do Sul

Com uma população de mais de 60 milhões de pessoas, a África do Sul ainda enfrenta desafios significativos no acesso à energia: cerca de 10% da população permanece sem acesso à eletricidade (WORLD BANK, 2022). A maioria dos domicílios que estão conectados à rede elétrica no país são atendidos pela companhia pública Eskom, que é responsável por 86% da demanda nacional, o que equivale a 20% da eletricidade gerada no continente (ESKOM, 2025). A empresa opera desde usinas nucleares a centrais hidrelétricas, entretanto predominam as UTEs à carvão mineral.

Em 2023, mais de 80% da eletricidade produzida na África do Sul teve sua origem nas 90 unidades geradoras das 16 UTEs à carvão em operação (Ember, 2025; GEM, 2024), o que representa cerca de 68% da energia primária nacional (Energy Institute, 2024). Em outros termos, a eletricidade gerada a partir do carvão alcançou mais de 200 TWh para o ano de 2024 (Ember, 2025), o que se traduz em mais de 38 GW de capacidade instalada³. Para abastecer estas UTEs, 77 minas seguem em operação, produzindo mais de 260 Mt de carvão anualmente (GEM, 2024).

Apesar desta dependência interna, o complexo industrial do carvão mineral sul-africano é significativamente voltado para a exportação. Dados da EIA (2024) evidenciam a tendência estável de crescimento das exportações líquidas⁴ de carvão mineral no país nas últimas décadas, que ultrapassaram a marca de 70 milhões de toneladas (Mt) em 2023, um quarto da produção nacional total estimada⁵. Em termos de suas reservas, isto é, dos depósitos de carvão geologicamente confirmados e economicamente viáveis de se extrair no contexto atual, são mais de 9 bilhões de toneladas ou cerca de 1% do total global (GEM, 2024).

A África do Sul se destaca como o sexto país que mais emprega trabalhadores em minas de carvão no mundo, de acordo com a metodologia do GEM (2024). São mais de 58 mil pessoas estimadas para 2024, das quais 87% trabalham diretamente com o carvão termal utilizado nas térmicas. Outra fonte indica que o número de trabalhadores da indústria de carvão alcançou cerca de 90 mil na década de 2010, após cair do pico de 130 mil na década de 1980, atingindo a mínima de cerca de 50 mil trabalhadores na primeira metade dos anos 2000. Esta mesma fonte ressalta, ainda, que a remuneração do trabalho nas minas é 50% maior do que a mediana no mercado de trabalho formal nacional (MAKGETLA et al., 2019 apud PRESIDENTIAL CLIMATE COMMISSION, 2022).

Desde 2015, foram descomissionadas 15 minas das quais se extraíam carvão mineral termal. Entre as razões identificadas para o descomissionamento, inclui-se um único exemplo de inviabilidade econômica; outros sete casos foram registrados como fim do tempo de vida da mina; e apenas um caso de exaustão das reservas. Não foram encontradas informações da motivação para o fechamento das demais (GEM, 2024).

³ Considerando 8.760 horas em um ano e um fator de capacidade de 0,6 (percentual de tempo que a usina opera efetivamente).

⁴ Exportações subtraídas as importações do mesmo produto ou commodities.

⁵ Considerou-se a soma dos tipos de carvão mineral termal, isto é, o betuminoso, o sub betuminoso, o antracito e o linhito (ver: <https://www.eia.gov/international/data/world>).

Em relação às térmicas, entre o ano 2000 e 2024, foram descomissionadas 15 unidades geradoras, totalizando uma capacidade instalada de 1.180 MW⁶. Estas unidades descomissionadas encontravam-se nas UTEs de Komati, de propriedade da Eskom Holdings SOC – que já não possui unidades ativas - e na UTE de Kelvin de propriedade da Anergi International – que segue em operação com sete unidades capazes de gerar, no total, 420 MW de potência até 2026. Ressalte-se que todas estas unidades geradoras descomissionadas em Kelvin e Komati entraram em operação entre os anos 1957 e 1964 e encerraram suas atividades no ano 2022, com média de 59 anos de operação (GEM, 2024).

3.6.1. Planos governamentais para TEJ

A forte dependência do carvão mineral na geração de energia elétrica traz impactos sociais e econômicos significativos para a maior economia da África, influenciando desde o emprego até as políticas ambientais do país. Na última década, instalou-se uma grave crise de fornecimento de eletricidade, com ao menos dois momentos críticos, um em 2015 e outro a partir de 2019, com uma sequência de recortes de cortes de fornecimento registrados (CSIR, 2021). A lacuna de fornecimento de eletricidade é estimada em 4 a 6 GW (WORLD BANK, 2022). Esse contexto de crise foi determinante para a política energética nacional nos últimos anos.

O planejamento do setor energético na África do Sul é realizado pelo Departamento de Minas e Energia (DMRE, na sigla em inglês) que coordena a elaboração dos Planos Integrados de Recursos ou *Integrated Resource Plans* (IRP). Esses documentos são planos de desenvolvimento do setor elétrico com base no menor custo para o consumidor, considerando ainda a segurança no fornecimento e os impactos no meio ambiente. De fato, para além do baixo acesso e da insegurança no fornecimento de eletricidade, o setor energético como um todo é responsável por 80% das emissões totais de GEEs no país, a maior parte devido ao carvão (SOUTH AFRICA, 2019).

O IRP, lançado em 2019, reafirma a importância do carvão no futuro próximo e para além da vida útil das últimas UTEs instaladas e ainda em construção no país, Kusile e Medupi, que adicionaram cerca de 4 GW de capacidade instalada desde 2018. Em contraste, projeta-se um descomissionamento de mais de 35 GW de capacidade instalada das usinas de carvão da Eskom até 2050 devido ao fim de sua vida útil. Todavia, o plano explicita que não realizou uma avaliação dos impactos socioeconômicos deste descomissionamento (SOUTH AFRICA, 2019, p. 34).

Esta iteração do IRP trouxe uma série de '*Policy Positions*', que podem ser traduzidos como posicionamentos ou recomendações de políticas. Entre estas, algumas se destacam:

- i. a necessidade de uma comissão para elaborar um plano de transição justa dentro de um ano, com consulta às partes interessadas;
- ii. a manutenção das limitações anuais do crescimento das fontes renováveis (fotovoltaica e eólica) à espera do relatório de transição justa mencionado anteriormente; e

⁶ Os dados do Global Energy Monitor divergem significativamente daqueles apresentados pelo próprio governo sul-africano. O IRP de 2019 indicava que naquele ano os descomissionamentos de UTEs à carvão já teriam alcançado quase 3 GW de capacidade instalada.

iii. a necessidade dos investimentos da geração de energia com carvão.

O IRP de 2023, por sua vez, informa que o plano de descomissionamento da Eskom foi revisado como parte da estratégia de médio prazo da empresa, até 2035. Disso decorre que uma série de UTEs à carvão, marcadas para descomissionamento antes de 2030, seguirão operando para além desse prazo. Essa revisão, apesar de considerada insuficiente para lidar com a crise de fornecimento, foi proposta como atenuante (SOUTH AFRICA, 2023, p. 18). Há ainda discussões acerca do reaproveitamento das estruturas de térmicas à carvão transformando-as em usinas nucleares ou térmicas a gás natural.

Desde meados da década de 2010, tem-se registrado um aumento consistente das fontes renováveis, em termos de sua capacidade instalada e na participação da matriz. Parte desse aumento decorre da própria instabilidade ou insegurança do fornecimento, o que motiva as famílias e os negócios de maior renda a buscar alternativas. Todavia, devido a centralidade da fonte, quando se trata da Transição Energética Justa (TEJ), o IRP de 2019 afirma: “A atividade do carvão é fundamental para o Plano de Transição Energética Justa, o que justifica a continuidade dos investimentos [no setor]”.

Em 2020, o governo federal criou a Comissão Presidencial para o Clima (PCC, na sigla em inglês), composta pela representação das múltiplas partes interessadas em debater os caminhos para uma transição justa no país⁷. A Comissão, desde então, promoveu a elaboração de dois documentos pertinentes a temática, um primeiro intitulado “Estrutura de Trabalho para uma Transição Justa na África do Sul” (*Framework for a Just Transition in South Africa*) e um segundo intitulado “Plano de Investimento para uma Transição Energética Justa” (JET-IP na sigla em inglês para *Just Energy Transition Investment Plan*). Esses esforços estão em consonância com a proposição 4 do IRP 2019 (item *i* das propostas listadas acima).

O *Framework* ressalta que a transição energética pode afetar diretamente a economia sul-africana, primeiramente reduzindo as exportações e em seguida com a perda de empregos potencialmente criando “cidades fantasmas” caso não haja diversificação das atividades produtivas (PCC, 2022, p. 10). O documento dá destaque para ações de qualificação e requalificação de trabalhadores para que possam migrar de profissão, o que, por sua vez, precede de investimentos significativos para estruturar cadeias alternativas, seja no setor da energia ou em outros.

Estes investimentos podem ser direcionados ao desenvolvimento de uma indústria manufatureira nacional de energia renovável (PCC, 2022, p. 11). Um desdobramento da proposta para mitigar a perda de empregos consiste na criação de novas vagas nos órgãos públicos⁸. Isso pode se dar, por exemplo, através da expansão do *Expanded Public Works Program* que já havia recebido um estímulo extra durante a pandemia. Indica-se, ainda, que alguns destes trabalhadores devem estar elegíveis para receber uma renda básica (PCC, 2022, p. 19).

As áreas diretamente afetadas pelas minas e termelétricas devem ser reabilitadas, com a restauração de solos degradados, de corpos d’água poluídos e a recuperação da biodiversidade (PCC, 2022, p. 9). Este último objetivo também abre uma oportunidade para novos empregos.

⁷ Além da PCC destacam-se as atuações do National Planning Commission (NPC) e do National Economic Development and Labour Council (NEDLAC).

⁸ O documento destaca que essa possibilidade se destina aos casos nos quais os mecanismos de mercado não sejam suficientes: “in contexts in which market-based processes are unable to do so at the scale required” (p. 21).

Entre os agentes responsáveis pelas ações, mencionados diretamente, encontram-se os órgãos de governos e as empresas, com destaque para a Eskom, mas também outras empresas como as que gerem as minas de carvão. Estas devem realizar provisões financeiras adequadas para a reabilitação de “fim da vida” das minas.

Cita-se ainda que o governo nacional, visando um processo de transição justa, considera importante auxiliar os municípios na implementação de medidas que visem a manutenção da arrecadação. O monitoramento destas e de outras medidas a serem implementadas deve ser realizado com uma expansão das atividades do Departamento de Planejamento, Monitoramento e Avaliação ou DPME na sigla em inglês.

Para tratar do financiamento da transição energética justa, elaborou-se o documento JET-IP, na esteira de uma parceria forjada na COP 26 entre o governo sul-africano e os governos da França, Alemanha, Reino Unido, Estados Unidos da América e União Europeia. A partir desta parceria denominada *Just Energy Transition Partnership* (JETP) propôs-se uma mobilização inicial de recursos da ordem de US\$ 8,5 bilhões entre 2023 e 2027. Entretanto, estimou-se que o volume de financiamento necessário seja de cerca de US\$ 83 bilhões⁹ no mesmo período. Com esse montante, espera-se oferecer “apoio crucial aos esforços da África do Sul para alcançar o limite inferior da faixa de metas da NDC em 2030”, entre 350 e 375 MtCO₂-eq (PCC, 2022, p. 9), com implementação progressiva de renováveis, desativação de UTEs a carvão e expansão da infraestrutura.

Entre os financiadores, para além dos países que formam o grupo de parceiros internacionais, soma-se o Banco Mundial; o African Development Bank (AfDB); o *Climate Investment Fund* (CIF) por meio do programa de investimento *Accelerating Coal Transition* (ACT); o setor privado; o terceiro setor; e o próprio governo sul-africano.

Um resultado desta parceria, mais especificamente do aporte do Banco Mundial, foi o descomissionamento, em 2022, da UTE de Komati, de propriedade da Eskom, com nove unidades geradoras e capacidade total de 1 GW¹⁰. O projeto denominado *Eskom Just Energy Transition Project* (EJETP) destinou USD 497 milhões¹¹ e teve início em novembro de 2022. Para suprir esta perda foi proposta uma combinação de soluções de energia renovável (solar fotovoltaica e eólica), além de baterias com capacidade de armazenamento de 150 MW (WORLD BANK, 2022).

Aos trabalhadores da UTE de Komati, propôs-se algumas medidas que incluem o remanejamento para outros projetos da Eskom; a recapacitação e o aprimoramento de habilidades para realocação em usinas de energia renovável; e pacotes de desligamento voluntário para aqueles que optarem por se aposentar. O projeto também ajudará a desenvolver capacidade técnica nacional para futuros projetos de reconversão, e os investimentos nas fontes renováveis criará alguns empregos (WORLD BANK, 2022).

⁹ Este valor foi alcançado convertendo o valor de 1,5 trilhões de Rand, moeda nacional sul-africana, mencionado no texto. A taxa de conversão utilizada foi de ZAR 17,89 para cada USD 1.

¹⁰ No momento da implementação do projeto, somente uma unidade geradora com capacidade de 125 MW estava ativa e próxima de atingir o limite de uso determinado.

¹¹ Deste montante, 439,5 milhões vieram de um empréstimo do Banco Mundial, outros 47,5 milhões de um empréstimo da *Canadian Clean Energy and Forest Climate Facility* (CCEFCF), e 10 milhões foram doados pela *Energy Sector Management Assistance Program* (ESMAP).

3.7. Colômbia

Na Colômbia, existem duas economias de carvão térmico, sendo a economia da mineração em larga escala responsável, em 2021, por 92,3% dos 59 milhões de toneladas de carvão extraídos naquele ano e a economia de pequena e média escala, que foram responsáveis pela extração de 4,5 milhões de toneladas em 2021, principalmente para consumo doméstico (UPME, 2022d *apud* Colômbia, 2023a). A mineração em larga escala empregou, em 2021, entre 22.000 e 26.000 trabalhadores diretos (UPME e John T. Boyd, 2023 *apud* Colômbia, 2023a). Já em 2024, a mineração de carvão térmico empregou cerca de 13.500 trabalhadores (GEM, 2025a). Até setembro de 2024, a Colômbia havia fechado duas minas de carvão térmico devido à inviabilidade econômica (GEM, 2025a).

Em 2023, o carvão representou cerca de 6,9 % do consumo de energia primária no país. Já na matriz elétrica, em 2024, o carvão contribuiu com aproximadamente 15,2 % da geração de eletricidade. Em termos absolutos, houve um aumento expressivo, passando de 2 TWh em 2011 para 13 TWh em 2024 (Ember, 2025; Energy Institute, 2024).

A Colômbia exporta mais de 90% do carvão que extrai, especialmente carvão térmico. Dessa forma, o país está exposto às flutuações dos mercados internacionais de carvão térmico e depende das decisões que os países importadores tomam em relação às suas fontes de energia, num contexto de estabilização da demanda global em resultado dos processos de descarbonização em diferentes países. Com relação aos 10% destinados ao consumo doméstico, com a entrada das fontes não convencionais de energias renováveis, a tendência é que o consumo doméstico de carvão diminua consideravelmente e por isso o país enxerga a importância da incorporação de políticas de transição justa.

3.7.1. Planos governamentais para TEJ

O Ministério de Minas e Energia da Colômbia publicou, entre 2023 e 2024, um conjunto de documentos que compõem a “*Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa*”. Os documentos aqui analisados foram: (1) “Diagnóstico base para a Transição Energética Justa” e (2) “Oportunidades e desafios socioambientais da Transição Energética Justa”.

Entre os objetivos e ações elencados no documento “Oportunidades e desafios socioambientais da Transição Energética Justa”, os seguintes estão relacionados à atividade do carvão mineral:

Objetivo 1: Desenvolver mecanismos para gerar uma distribuição equitativa dos benefícios.

Diante da ineficácia e falta de equidade na distribuição dos benefícios dos projetos, o governo colombiano propôs projetos de propriedade compartilhada por meio de parcerias público-populares, comunidades energéticas, Municípios Energéticos e ações voltadas à diversificação e reindustrialização nos distritos de mineração. Em alguns casos, o objetivo é que os projetos sejam realizados por entidades públicas, mas com a previsão de que a infraestrutura seja posteriormente transferida e gerida pelas próprias comunidades. Para garantir a sustentabilidade dos projetos ao longo do tempo, entende-se ser essencial fortalecer as capacidades locais para a administração, operação e manutenção das tecnologias.

No âmbito do programa Comunidades Energéticas, um dos critérios para o direcionamento de recursos estaduais é a priorização de territórios com alta dependência da mineração de carvão térmico. Essa variável foi incluída para orientar a alocação de recursos públicos a comunidades cuja estrutura econômica é fortemente baseada nessa atividade (Resolução 40.509 de 2024).

Objetivo 2: Acompanhar ativamente os trabalhadores dos setores afetados no processo de descarbonização.

As políticas trabalhistas e de reconversão produtiva devem focar nos principais produtores de carvão térmico. A saída antecipada da empresa Prodeco mostrou os riscos do fechamento não programado de minas, que causou a perda de 6.000 empregos diretos e afetou economicamente outras 24 mil pessoas (Minenergía, 2021b *apud* Colombia, 2023b). As mulheres foram especialmente impactadas (75% atuavam como trabalhadoras indiretas, frente a 47% dos homens). Embora representem 9% da força de trabalho direta na mineração, elas são apenas 3% dos trabalhadores sindicalizados (IDB e Minenergía, 2020 *apud* Colombia, 2023b), o que reduz sua influência nas políticas de descarbonização (Arrieta et al., 2022 *apud* Colombia, 2023b).

Para a reestruturação da força de trabalho, o governo prevê que as estratégias devem se concentrar em mitigar os impactos negativos no emprego e alavancar essas transformações para criar empregos e oportunidades produtivas. Assim, foram propostas ações para abordar os desafios e oportunidades que emergem desse contexto:

- Criar programas de requalificação profissional e formação contínua para trabalhadores dos setores de hidrocarbonetos e carvão: através da implementação de rotas e programas de formação focados nas habilidades e competências necessárias nas indústrias e setores emergentes relacionados com a sustentabilidade e as energias renováveis. Nesse sentido, e em resposta às necessidades da transição, deve ser oferecida formação aos trabalhadores do setor de combustíveis fósseis em áreas como energias renováveis, eficiência energética, gestão ambiental e competências digitais. Esses programas devem ser planejados e implementados antes do processo de transição energética, garantindo que os trabalhadores tenham tempo suficiente para se adaptar e desenvolver novas habilidades.
- Realocar os trabalhadores afetados para outros cargos ou áreas dentro das mesmas empresas: busca criar oportunidades de realocação de trabalhadores afetados para outros cargos ou áreas dentro das mesmas empresas, mantendo condições de trabalho semelhantes. Novos treinamentos de habilidades devem ser implementados para evitar demissões em massa. Para isso, são consideradas necessárias pelo menos três medidas fundamentais: I) análise detalhada das possibilidades internas e adaptação de funções para maximizar a retenção de talentos; II) implementação de planos de desenvolvimento de carreira que permitam aos trabalhadores progredirem dentro da empresa, mesmo em diferentes departamentos ou áreas de especialização; e III) garantia de processos de realocação justos e transparentes, mantendo ou melhorando as condições de trabalho.
- Implementar seguro-desemprego específico para os afetados, garantindo a continuidade das contribuições à previdência social: conectar os trabalhadores ao serviço público de emprego para acessar novas oportunidades de emprego, estabelecer um seguro-desemprego específico para aqueles afetados pela descarbonização e

fornecer serviços de orientação profissional e workshops sobre habilidades de busca de emprego, incluindo preparação de currículos e técnicas de entrevista.

- Elaborar planos de descomissionamento acordados com os trabalhadores: o plano, elaborado pelas empresas envolvidas na cadeia do carvão, deve ser acordado junto às organizações sindicais e aprovado pelo Ministério do Trabalho. Esses planos devem incluir medidas de requalificação profissional, realocação, remuneração e apoio à busca de emprego para trabalhadores afetados pela descarbonização.
- Regulamentar processos de demissão coletiva onde a realocação interna não seja possível: as demissões seriam realizadas sob a supervisão e autorização do Ministério do Trabalho, garantindo o cumprimento de todas as regulamentações e fornecendo indenização adequada aos trabalhadores afetados. As organizações sindicais devem ser incluídas no processo.
- Promover a economia local e projetos de desenvolvimento sustentável que apoiem ex-trabalhadores: pode incluir a formação de cooperativas ou empresas comunitárias focadas em práticas sustentáveis e ambientalmente responsáveis.
- Criar fundos de investimento e programas de subsídios específicos para ex-trabalhadores do setor de combustíveis fósseis: Investimento e apoio à inovação em setores emergentes, envolvendo a criação de fundos de investimento e programas de subsídios específicos para ex-trabalhadores do setor.
- Investir em infraestrutura que promova o crescimento de novas indústrias e contribua para a diversificação econômica.

Objetivo 3: Mineração para a vida. Desenvolver estratégias eficazes de reconversão profissional na mineração.

Está em curso o desenvolvimento da Nova Lei de Mineração, com a participação informada, ativa e efetiva dos povos indígenas, comunidades afrodescendentes e do povo Rrom por meio de consulta prévia. Essa lei pretende mudar a estrutura organizacional do setor e foi elaborada por meio de um processo de diálogo participativo com o objetivo de garantir que essas transformações no setor incluam as perspectivas dos que historicamente foram excluídos.

As ações propostas devem considerar aspectos que ajudem a alcançar uma transição bem-sucedida e sustentável no setor. São elas:

- Investir em programas de treinamento contínuo para trabalhadores de mineração.
- Apoiar a mineração ancestral, artesanal e de pequena escala por meio de programas de assistência técnica e financeira, com a modernização desse tipo de mineração, além de fornecer acesso a tecnologias mais limpas e aconselhar sobre práticas sustentáveis.
- Estabelecer cadeias produtivas sólidas entre a mineração de minerais estratégicos e outros setores econômicos.
- Investir em infraestrutura e tecnologia para modernizar o ciclo da mineração.
- Implementar programas específicos de reconversão de mão de obra para fortalecer os vínculos de novos processos produtivos, com o objetivo de facilitar a transição dos trabalhadores da mineração para funções emergentes em setores relacionados à transição energética, como a produção de insumos para baterias e painéis solares, infraestrutura de energia eólica, entre outros.
- Fortalecer a pesquisa e o desenvolvimento sobre o uso sustentável de minerais estratégicos, fomentando o conhecimento geocientífico e promovendo a colaboração

com universidades e centros de pesquisa para identificar e aplicar as melhores práticas na extração e no uso desses recursos.

- Estabelecer um diálogo constante e eficaz com as comunidades locais para garantir que o desenvolvimento da mineração seja benéfico e respeite as atividades econômicas e culturais dos territórios: esse compromisso inclui programas de desenvolvimento comunitário e a participação ativa das comunidades na tomada de decisões.
- Promover a criação de empregos em outros setores não relacionados à mineração em áreas dependentes da mineração para fortalecer e diversificar a economia regional: inclui o incentivo ao desenvolvimento de pequenas e médias empresas que possam contribuir ativamente para a cadeia de suprimentos da mineração.

Dessa forma, o governo colombiano sinaliza os desafios e oportunidades associados à requalificação da mão de obra na mineração e sinaliza para uma mudança neste setor da economia, passando de um modelo extrativo para um modelo produtivo e diversificado, com especial atenção aos minerais estratégicos.

3.8. Canadá

O Canadá possui 0,6% das reservas mundiais de carvão, sendo esse recurso responsável por 2,6% da oferta de energia primária do país (2023) e 4,1% da matriz elétrica (2024). A matriz elétrica canadense é majoritariamente renovável, com a fonte hidrelétrica respondendo por aproximadamente 60% da geração (Energy Institute, 2024; Ember, 2025).

De acordo com o governo canadense, em uma seção intitulada *Fatos sobre o Carvão* (Canadá, 2024) e outra sobre *Minerais e Economia* (Canadá, 2025), em 2021 as províncias que mais consumiram carvão para a geração de energia elétrica foram Alberta e Saskatchewan, com 51% e 30%, respectivamente. Em seguida vêm a Nova Escócia (15%) e New Brunswick (4%). A maior parte do carvão metalúrgico, valorizado pela sua alta qualidade, é destinada à exportação, especialmente para mercados asiáticos, como China (27%), Japão (22%) e Coreia do Sul (19%). No período entre 2019 e 2020, houve um aumento significativo nas exportações de carvão térmico, que aumentaram de 1,8 milhão de toneladas para 8,3 milhões. Em contrapartida, a importação do carvão térmico apresentou uma queda. Em 2005, o país importava 17 milhões de toneladas, mas o número foi diminuindo até atingir, em 2022, 2 milhões de toneladas importadas, tendo os Estados Unidos (51%) como principal país de origem.

Em junho de 2024, Alberta encerrou a produção de energia a partir do carvão, mais de cinco anos antes do previsto, como resultado do processo de eliminação gradual da eletricidade a carvão. De acordo com dados de 2024, há 11 minas ativas de carvão térmico no Canadá e estão localizadas nas províncias de Alberta (4), Colúmbia Britânica (3), Nova Escócia (1) e Saskatchewan (3). Há 9 minas inativas localizadas nas províncias de Alberta (5), Nova Escócia (2) e Colúmbia Britânica (2).

Em março de 2022, foi lançado o *2030 Emissions Reduction Plan: Canada's Next Steps for Clean Air and a Strong Economy* (Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas). Trata-se do primeiro Plano de Redução de Emissões do país elaborado no âmbito da *Canadian Net-Zero Emissions Accountability*, a lei canadense que estabelece a meta de zerar as emissões líquidas de carbono até 2050.

Uma das ações implementadas pelo governo do Canadá para identificar possíveis soluções que apoiassem uma transição justa e equitativa para os trabalhadores e comunidades canadenses do setor de energia a carvão foi a criação de uma Força-Tarefa sobre Transição Justa, cuja função era elaborar um relatório com sugestões de como tornar a transição da eletricidade a carvão mais justa para esses trabalhadores e comunidades.

Segundo esse plano, a política do governo do Canadá de eliminar gradualmente a geração de energia elétrica a partir do carvão até 2030 se aplica apenas ao carvão térmico, não afetando o carvão metalúrgico. A mineração, para uso doméstico e exportação, continuarão normalmente. A eliminação gradual da geração de energia a partir do carvão térmico terá um impacto significativo em cerca de 50 comunidades que dependem direta ou indiretamente dessa indústria, uma vez que muitas das comunidades foram fundadas ou tiveram seu crescimento atrelado à mineração de carvão. Quando o relatório foi apresentado, em 2019, estimava-se que havia cerca de 2.400 trabalhadores empregados em UTEs a carvão no Canadá, enquanto outros 1.500 trabalhavam diretamente em minas de carvão térmico. Prevê-se que um número significativo de trabalhadores perca seus empregos até 2030.

3.8.1. Planos governamentais para TEJ

Entre os objetivos e ações elencados no *2030 Emissions Reduction Plan: Canada's Next Steps for Clean Air and a Strong Economy* (Canadá, 2022) e as informações disponíveis no site oficial do governo do Canadá, os seguintes objetivos estão relacionados a atividade do carvão mineral:

- Objetivo: Eliminar gradualmente a eletricidade gerada por carvão e a mineração de carvão térmico, além de banir as exportações de carvão térmico do Canadá até 2030.

Atualmente, a geração de energia a carvão ainda é a maior fonte de emissões no setor elétrico canadense. No intuito de combater esse problema, o governo decidiu acelerar a eliminação gradual dessas usinas até 2030 – pelo menos aquelas que não possuem tecnologia para capturar essas emissões. Além disso, o sistema de precificação de carbono está sendo aplicado em províncias que seguem o sistema federal de cobrança, criando um incentivo financeiro para que as empresas migrem para fontes de energia mais limpas. Em conjunto com o Reino Unido, o Canadá lidera a *Powering Past Coal Alliance* (Aliança para Superar o Carvão), uma coalizão global que busca acabar com a geração de energia a carvão em prazos compatíveis com o Acordo de Paris.

Para alcançar a meta de eliminar gradualmente a eletricidade gerada por carvão e a mineração de carvão térmico, e, conseqüentemente, suspender as exportações de carvão térmico do Canadá até 2030, as ações e os investimentos devem priorizar a redução do uso do carvão na geração de energia, além de minimizar os impactos da transição energética por meio da expansão das fontes renováveis e por sistemas de geração de baixo carbono. Isso inclui lidar com as consequências econômicas, ambientais e sociais dessa mudança, garantindo que trabalhadores e comunidades afetadas não sejam deixados para trás. Assim, foram propostas as seguintes ações:

- Transição Justa para Trabalhadores e Comunidades da Energia a Carvão no Canadá: Força-Tarefa: Fornece relatórios sobre como tornar a transição da eletricidade a carvão mais justa para os trabalhadores do setor e as comunidades no Canadá.
- Apoiar empregos sustentáveis para trabalhadores e comunidades na eliminação gradual da energia a carvão: o Governo do Canadá está apoiando empregos sustentáveis em resposta à eliminação acelerada da energia a carvão. Em 2018, o governo federal criou a Força-Tarefa para a Transição Justa dos Trabalhadores e Comunidades da Energia a Carvão no Canadá para envolver grupos de interesse relevantes e governos provinciais e municipais, a fim de fornecer uma série de recomendações sobre como apoiar os trabalhadores e comunidades afetados. Em resposta, o governo comprometeu \$185 milhões (CAD) para apoiar esses trabalhadores e comunidades, incluindo \$35 milhões (CAD) para a Iniciativa de Transição do Carvão do Canadá, focada no desenvolvimento de habilidades e na diversificação econômica, além de \$150 milhões (CAD) para um fundo de infraestrutura.
- Financiar Redes Elétricas Mais Limpas: Para atender à crescente demanda por eletricidade sem emissões, o Governo do Canadá investiu em vários programas para fornecer energia mais limpa e confiável. Entre eles estão o Programa de Caminhos para Eletrificação Inteligente e Renovável, com um investimento de \$964 milhões para financiar projetos de modernização da rede elétrica e energia renovável inteligente; o Programa de Redes Inteligentes, com \$100 milhões (CAD) destinados à demonstração e implementação de tecnologias e sistemas de redes elétricas inteligentes; e o Programa de Energia Renovável Emergente, que conta com \$200 milhões (CAD) para apoiar novos projetos de energia renovável e expandir o portfólio de recursos comercialmente viáveis do Canadá.
- Legislação para a Transição Justa e Ação Abrangente: Apoiar o futuro e o sustento dos trabalhadores e de suas comunidades na transição para uma economia de baixo carbono.
- Antecipação do descomissionamento de plantas a carvão e Regulamentações do Gás Natural: A energia gerada a partir do carvão é atualmente a maior fonte de emissões no setor elétrico. O Governo do Canadá aprovou regulamentos para acelerar a desativação da eletricidade gerada a partir do carvão sem tratamento até 2030, o que deve reduzir a poluição de carbono em aproximadamente 13 Mt em 2030. Os regulamentos federais de gás natural complementam os regulamentos de carvão e impõem padrões de desempenho alcançáveis aos novos geradores de gás natural.
- Precificação do Carbono: O Governo do Canadá estabeleceu um sistema de precificação reconhecido globalmente, focado na devolução de receitas e incentivando a descarbonização em toda a economia. Garantir que o preço de referência federal aumente em \$15 (CAD) por ano, atingindo \$170 (CAD) por tonelada até 2030, é fundamental para alcançar os objetivos climáticos do Canadá. Isso requer que as províncias e territórios atualizem seus sistemas de precificação de poluição por carbono onde necessário para alinhar-se ao *benchmark* reforçado. A precificação da poluição de carbono também se aplica a todos os geradores de eletricidade nas províncias sob o *Output Based Pricing System* (OBPS) federal para fornecer um sinal econômico para a descarbonização da geração.

- Continuar a devolver os lucros da poluição por carbono: Usando os fundos coletados sob o OBPS federal, o Governo do Canadá introduziu o Programa de Incentivo à Descarbonização e o Fundo de Eletricidade do Futuro. O Programa de Incentivo à Descarbonização apoiará a implementação de projetos de tecnologia limpa para reduzir ainda mais as emissões de GEE, incentivando a descarbonização de longo prazo dos setores industriais do Canadá. O Fundo de Eletricidade do Futuro apoiará a produção e entrega de eletricidade limpa, bem como seu uso eficiente.
- Fundo de Inovação Estratégica - Acelerador de Emissão Zero: Como parte do Fundo de Inovação Estratégica, o fundo está fornecendo \$8 bilhões (CAD) em apoio a projetos que viabilizam a descarbonização de grandes emissores, tecnologia limpa e transformação industrial, além do desenvolvimento de um ecossistema canadense de baterias através de atividades como fabricação de células de bateria e veículos elétricos. Por exemplo, o fundo investiu \$400 milhões (CAD) para apoiar a transição da ArcelorMittal Dofasco para a produção de aço com baixo carbono e \$25 milhões (CAD) na Svante Inc para avançar na tecnologia de captura de carbono para produção de cimento e hidrogênio.
- Lançamento do novo Programa de Desenvolvimento da Força de Trabalho Comunitária: O novo Programa de Desenvolvimento da Força de Trabalho Comunitária, um fundo de \$ 55 milhões (CAD) ao longo de três anos, para apoiar as comunidades a desenvolver planos locais que identifiquem organizações com alto potencial de crescimento e conectem esses empregadores com provedores de treinamento para desenvolver e oferecer treinamento e colocações no mercado de trabalho a fim de capacitar e requalificar os trabalhadores em busca de emprego para preencher as vagas em demanda. Parte desse financiamento se concentrará em esforços de descarbonização e em apoiar empregos sustentáveis para trabalhadores em setores em transformação, como o de energia.
- Powering Past Coal Alliance: O Canadá co-lidera com o Reino Unido a Aliança *Powering Past Coal*, que é a principal iniciativa mundial para acabar com as emissões globais advindas do carvão sem tratamento, dentro dos prazos para atender aos objetivos do Acordo de Paris.
- Financiar a criação e o funcionamento de centros de transição geridos localmente nas comunidades afetadas: O Governo do Canadá trabalhará com províncias, municípios, organizações regionais, empregadores e sindicatos para estabelecer centros de transição. Com base nas lições aprendidas em centros de transição anteriores, os trabalhadores afetados seriam os mais beneficiados por centros de transição que são lançados antes das perdas de empregos; permaneçam abertos por pelo menos dois anos após a eliminação gradual; envolvam uma ampla gama de partes interessadas na sua gestão e operação; contem com residentes locais e especialistas em sua equipe, capazes de construir relações presenciais com os trabalhadores e suas famílias; funcionem como um ponto único de acesso a uma variedade de serviços, como apoio à recolocação profissional (por exemplo, reforço em matemática e alfabetização, elaboração de currículos, abertura de pequenos negócios), capacitação e serviços de apoio social; forneçam às famílias, trabalhadores e comunidades as informações necessárias para tomar decisões fundamentadas; forneçam aconselhamento financeiro e serviços sociais e de saúde, incluindo programas e aconselhamento para famílias e jovens, abuso de

substâncias e dependência, e saúde mental; sirvam para conectar os trabalhadores afetados com oportunidades de emprego decorrentes do desenvolvimento econômico regional e da diversificação.

- Identificar, priorizar e financiar projetos de infraestrutura local em comunidades afetadas: Em colaboração com os governos municipais, indígenas e provinciais, o Governo do Canadá deve procurar formas de financiar projetos de infraestrutura locais, inclusive por meio de programas existentes, como o plano *Investing in Canada*. Novos projetos de infraestrutura local devem ajudar a compensar as perdas de emprego decorrentes da eliminação gradual do carvão no curto prazo e apoiar o crescimento econômico a médio e longo prazo. Sempre que possível, e provavelmente através de centros de transição locais, conectar os trabalhadores do carvão afetados e suas famílias a novas oportunidades de emprego em projetos de infraestrutura.
- Envolver os canadenses sobre significado de alcançar uma transição justa e inclusiva: Uma transição justa e inclusiva para empregos sustentáveis é uma oportunidade para promover a equidade, a inclusão e a justiça, incorporando esses princípios em políticas, programas, estruturas e caminhos para 2030 e além. A transição para uma economia de baixo carbono também representa uma oportunidade para abordar as desigualdades existentes no local de trabalho e aprimorar os apoios de treinamentos para aqueles que enfrentam barreiras na força de trabalho, como povos indígenas, pessoas racializadas, recém-chegados qualificados, jovens, mulheres, pessoas LGBTQ+ e pessoas com deficiência. O Governo do Canadá continuará a trabalhar com seus parceiros, incluindo sindicatos, para elaborar programas que levem em consideração as atuais barreiras e a sub-representação, para que haja igualdade de condições.
- Atividades após o fim do carvão: Alberta se tornou um destino para projetos de energia renovável, com abundantes recursos eólicos e solares, e uma política ambiental que reflete um compromisso de longa data com um mercado de eletricidade justo, eficiente e abertamente competitivo. Há trabalhos em energia renovável em andamento na Terra Natal da Nação Métis. Os projetos gerarão aproximadamente 572.000 kWh e compensarão aproximadamente 367 toneladas de CO₂e anualmente (mais de 11.000 toneladas de CO₂e ao longo da vida útil do projeto).

Iniciativas Federais para a Sustentação Econômica de Comunidades Dependentes do Carvão: Com o objetivo de apoiar as regiões ainda dependentes do carvão e mitigar os impactos da transição energética, o governo do Canadá destinou um total de \$ 185 milhões (CAD) por meio da Iniciativa de Transição do Carvão do Canadá (CCTI), implementada entre abril de 2018 e março de 2023, e da Iniciativa de Transição do Carvão do Canadá – Fundo de Infraestrutura (CCTI-IF), lançada em agosto de 2020 com previsão de conclusão em 31 de março de 2025. Os recursos dessas iniciativas estavam disponíveis para comunidades das províncias de Alberta, Saskatchewan, New Brunswick e Nova Escócia. Esses investimentos ofereceram incentivos para que as províncias aplicassem em infraestrutura local e diversificação econômica, permitindo que essas comunidades buscassem novas fontes de receita e desenvolvessem capacidade adaptativa para reduzir a vulnerabilidade a futuros choques econômicos decorrentes da transição.

3.9. Alemanha

Em 2024, a Alemanha liderou a desativação de usinas a carvão, retirando 6.729 MW de capacidade instalada — mais do que qualquer outro país (Global Energy Monitor, 2025; Bloomberg Global Coal Countdown, 2025). Entretanto, o país ainda depende significativamente do carvão: em 2024, 16% de sua energia primária e 22% da geração elétrica teve origem nesse combustível (EIA, 2025; Energy Institute, 2024; Ember, 2025). Atualmente, o sistema elétrico alemão conta com uma capacidade instalada de 29 GW advindas das térmicas a carvão mineral.

A Alemanha é o sexto país no ranking de reservas confirmadas de carvão mineral com 35 bi. de toneladas (EIA, 2025). Todavia, na última década, seis minas de carvão mineral foram fechadas no país, duas destas por ordem do governo e as outras quatro devido ao fim da vida útil ou a exaustão das reservas. Permanecem em operação nove minas, sendo que uma destas, a mina de Amsdorf, tem seu fechamento previsto para 2025. Ao todo, são mais de 10 mil trabalhadores distribuídos nas minas em operação no país (GEM, 2025).

Entre 2000 e 2024, foram descomissionadas 151 unidades geradoras térmicas a carvão mineral, com capacidade de 33 GW. Até 2038, está previsto o encerramento de outras 65 unidades, que somam mais 29 GW (GEM, 2025; Bloomberg, 2025).

3.9.1. Planos governamentais para TEJ

A Lei para Reduzir e Acabar com a Geração de Energia a Carvão ou Lei de Eliminação Gradual do Carvão (*Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung*), que entrou em vigor em 2020, traduz as recomendações de política energética feitas pela Comissão sobre Crescimento, Mudança Estrutural e Emprego, conhecida como “Comissão do Carvão”. A geração de energia a carvão deve ser eliminada gradualmente, terminando completamente no final de 2038, podendo ainda ser antecipada (Alemanha, 2025). A legislação estabelece diretrizes separadas para o planejamento de usinas que fazem uso do carvão linhito e de usinas a carvão antracito.

O impacto do encerramento progressivo das centrais elétricas a carvão na confiabilidade do abastecimento será analisado em intervalos regulares. Em 2026, 2029 e 2032, o governo verificará se é possível adiantar em três anos as datas planejadas para o fechamento das usinas. Se isso for possível, a Alemanha poderia eliminar completamente o uso de carvão para gerar energia até 2035. A médio prazo, o carvão deverá ser completamente substituído por energias renováveis, que serão regulamentadas separadamente (Alemanha, 2025).

O impacto nos preços da eletricidade também será revisado em intervalos regulares e há planos para autorizar medidas para aliviar a carga sobre os consumidores privados e comerciais de eletricidade. Um subsídio anual à rede poderia ser pago com fundos orçamentários para aliviar a alta dos preços da eletricidade a partir de 2023. As empresas com uso intensivo de energia que enfrentam concorrência internacional também podem receber um subsídio sobre o aumento do preço da eletricidade comercializada após a eliminação gradual do carvão (Alemanha, 2025).

Trabalhadores com 58 anos ou mais que perderem seus empregos em uma usina de energia ou mina a céu aberto, como resultado da eliminação gradual, podem receber pagamentos transitórios por um período máximo de cinco anos até atingirem a idade de aposentadoria. Qualquer redução da pensão causada pela aposentadoria antecipada pode ser compensada (Alemanha, 2025).

Segundo o *Overview of Investment Guidance on the Just Transition Fund 2021-2027 per Member State*, a área da Alemanha que será mais severamente afetada pela desativação da mineração de carvão para geração de eletricidade e pela transição estrutural para uma economia circular neutra em carbono é a Lausitzer Revier, que está localizada no leste da Alemanha e é composta por sete regiões (*Elbe-Elster*, *Oberspreewald-Lausitz*, *Dahme-Spreewald*, *Spree-Neiße* e *Cottbus* situadas no estado de *Brandenburg*, assim como *Bautzen* e *Görlitz* situadas no estado da Saxônia).

Nestas regiões, cerca de 8.300 pessoas estão diretamente empregadas na mineração de linhito e cerca de 4.900 pessoas (cerca de 1% da população empregada na região) podem ser afetadas indiretamente pelo fim da atividade mineradora. A segunda área mais afetada será *Mitteldeutsches Revier* com 0,32% da participação de empregados diretos ou 2.400 trabalhadores e 0,2% dos empregados indiretos ou 1.400 trabalhadores no setor de linhito em 2016. Esta região enfrentará desafios socioeconômicos decorrentes da transição devido ao baixo potencial de inovação e ao envelhecimento da população. Uma terceira área em destaque é *Revier Rheinisches*, onde 8.960 pessoas estão empregadas diretamente na mineração de linhito (1,13% da população empregada em 2016) e outras 5.380 pessoas podem estar em risco indireto (União Europeia, 2020).

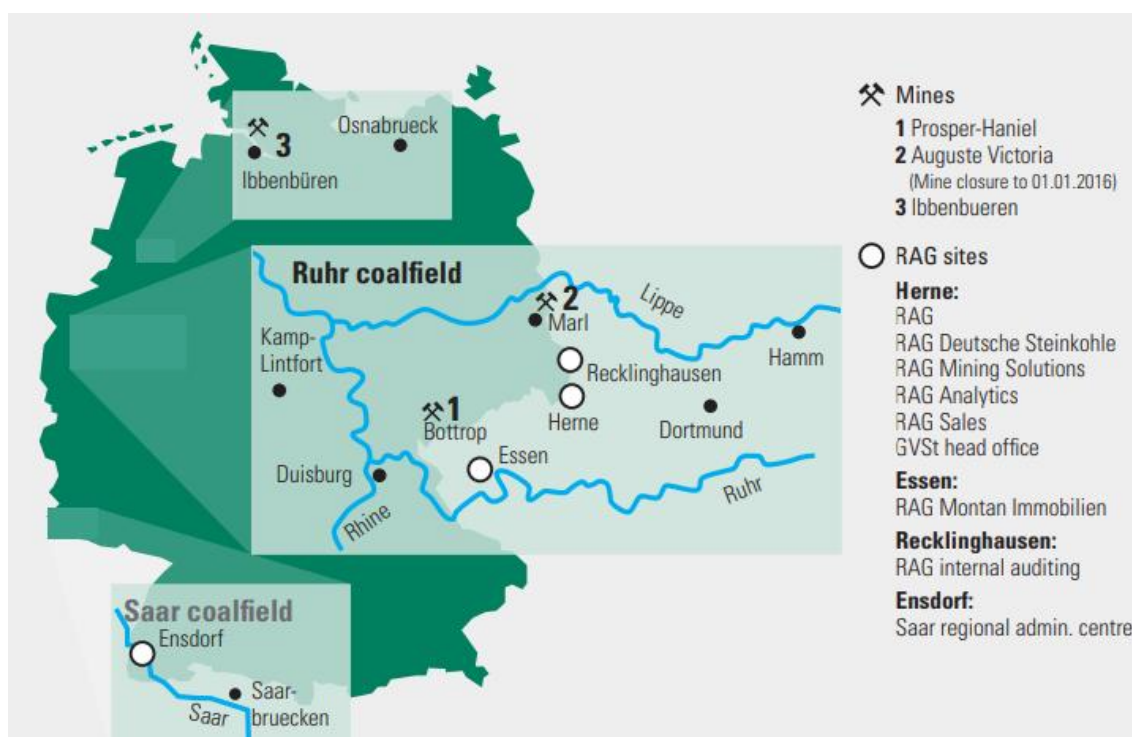
A eliminação do carvão levará a desafios crescentes de desemprego destas regiões mencionadas. Por isso, o relatório *Overview of Investment Guidance on the Just Transition Fund 2021-2027 per Member State* identifica necessidades de investimento, mas aponta que a estrutura econômica das três áreas precisaria ser transformada consideravelmente, sugerindo que o fundo de transição justa concentre esforços em:

- Investimentos produtivos em pequenas e médias empresas, incluindo startups, levando à diversificação econômica e reconversão;
- Investimentos na criação de novas empresas, incluindo incubadoras de negócios e serviços de consultoria;
- Investimentos em atividades de pesquisa e inovação e promovendo a transferência de tecnologias avançadas;
- Investimentos na implementação de tecnologia e infraestruturas para energia limpa acessível, na redução de emissões de gases de efeito estufa, eficiência energética e energia renovável;
- Investimentos em digitalização e conectividade digital;
- Investimentos em melhorar a economia circular, através da prevenção, redução de resíduos, eficiência de recursos, reutilização, reparo e reciclagem;
- Aperfeiçoamento e requalificação de trabalhadores;
- Inclusão ativa de pessoas em busca de emprego;
- Investimento em regeneração e descontaminação de locais, restauração de terras e projetos de readequação; e
- Assistência técnica.

3.9.2. Estudo de Caso: Ruhr

A região de Ruhr, localizada no estado de North Rhine-Westphalia (NRW) (Figura 11), é considerada um caso emblemático de região profundamente moldada pela mineração e indústria carvoeira, tanto na Alemanha quanto na Europa Ocidental. Esse impacto se deu tanto pela disponibilidade dos recursos quanto pela presença de empresas na indústria siderúrgica e no setor de eletricidade, consumidoras do carvão, que se estabeleceram nessa área (DAHLBECK *et al*, 2022). Assim, durante o século XX, Ruhr era considerado o coração industrial da Alemanha, uma vez que concentrava 80% da mineração de carvão (*hard coal*) do país (REITZENSTEIN *et al*, 2022). Na década de 1950, 13% do PIB alemão era atribuído à Ruhr, que representava 8% da população da Alemanha Ocidental.

Figura 11. Minas de carvão na região de Ruhr¹²



Fonte: Melchers, Goerke-Mallet e Kleineberg (2016)

O processo de descomissionamento na região se deu por questões econômicas: o petróleo ascendia como fonte de energia, o carvão importado de países como os EUA era mais barato e o mercado global também apresentava crescente disponibilidade de aço a preços mais competitivos. Assim, nas décadas de 1960 e 1970, os principais setores de Ruhr - carvão, aço e setores relacionados - começaram a entrar em colapso, e a região testemunhou um declínio industrial acentuado e o aumento do desemprego. Na década de 1980, a região perdeu mais de 10.000 empregos industriais, o que resultou em uma taxa de desemprego de mais de 15% em

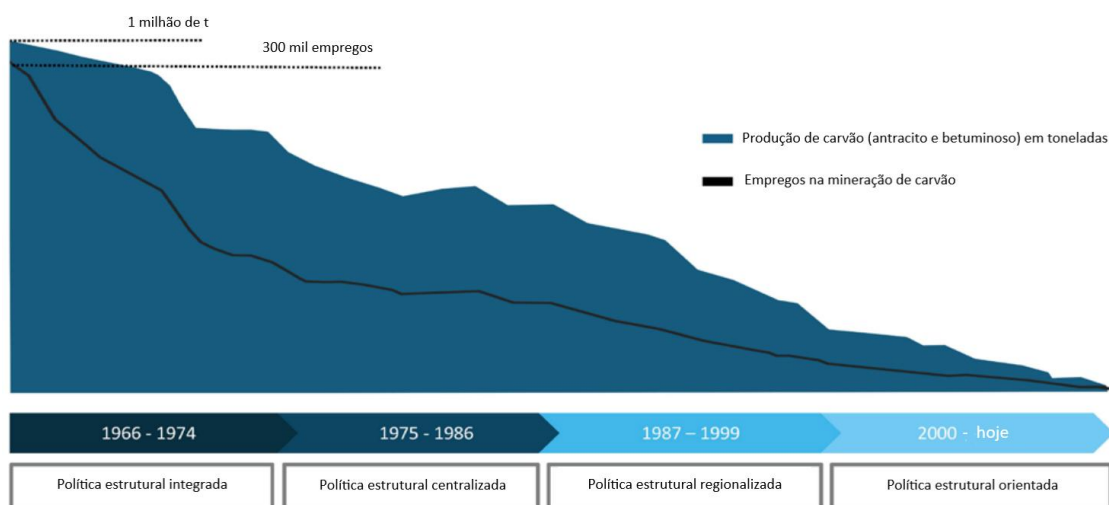
¹² RAG refere-se à RAG AG, antiga Ruhrkohle AG, maior empresa alemã de mineração de carvão, fundada em 27 de novembro de 1968 na região de Ruhr.

1988. Na década seguinte, cerca de dois terços dos empregos nos setores de carvão, aço e afins haviam desaparecido (ZEQIRI *et al*, 2024).

Em geral, observa-se que o desenvolvimento econômico regional em Ruhr permaneceu em níveis inferiores à tendência nacional alemã devido à menor produtividade, à menor criação de valor e aos efeitos sobre a renda. No entanto, cabe destacar que a área não possui uma estrutura econômica e social uniforme. No sul da região do Ruhr, onde políticas de mudança estrutural e universidades foram implementadas entre as décadas de 1950 e 1960, a situação é muito melhor do que na região norte, caracterizada por níveis de desemprego de longo prazo muito superiores, e menor desenvolvimento econômico (DAHLBECK *et al*, 2022).

Entre 1960 e 2001, o número de trabalhadores empregados na mineração reduziu em 90% para cerca de 3% da força de trabalho da região, enquanto os empregos na siderurgia tiveram redução de 80%. Para comparação, o carvão produzido na região teve uma redução de 115 milhões de toneladas em 1960 para 20 milhões em 2001. Cabe destacar que o rápido declínio na demanda por carros e navios levou ao fechamento de muitas empresas de siderurgia em 1974 (ARORA; SCHROEDER, 2022). A Figura 12 apresenta a evolução da produção e empregos associados ao carvão na região, bem como os principais momentos na política associada ao tema.

Figura 12. Evolução da produção de carvão e empregos associados na região de Ruhr desde 1966



Fonte: Adaptado de DAHLBECK *et al* (2022)

Até a metade da década de 1980, as políticas implementadas tinham como objetivo preservar, em alguma medida, as estruturas e coalizões existentes entre as indústrias do carvão e aço, em função da relevância destas para a economia regional. Assim, nos períodos de política estrutural integrada e centralizada (Quadro 2), os esforços foram em ampliar a competitividade dessas indústrias e, simultaneamente, diversificar a base econômica da região. Aos trabalhadores, foram ofertados benefícios de aposentadoria e renda de longo prazo, incluindo indenizações por demissão, que variavam entre 2000 Deutsche Mark (USD 1213) e 5000 Deutsche Mark (USD 3033), determinado por idade e senioridade entre 1966 e 1982.

Quadro 2. Histórico de políticas associadas ao carvão na região de Ruhr

Período	Contexto	Políticas
Política estrutural integrada (1966 - 1974)	Na década de 50, o Governo federal introduziu subsídios para estabilizar a demanda pelo carvão doméstico.	1965: Primeira universidade da região (Ruhr-University of Bochum) 1968: Entwicklungsprogramm Ruhr (EPR, Ruhr development programme): programa de 5 anos, com orçamento de cerca de EUR 8,7 bilhões. Focos: redução socialmente compatível da força de trabalho na mineração de carvão mineral, a modernização das empresas de mineração, a atração de novas empresas industriais por meio do fortalecimento do desenvolvimento econômico regional, e a expansão da infraestrutura para: ○ mobilidade (expansão da rede rodoviária e do transporte público), ○ qualidade de vida (expansão das instalações regionais de lazer) e ○ recursos humanos na região (expansão de escolas e universidades). 1970: EPR foi expandido para todo o estado de NRW
Política estrutural centralizada (1975 – 1986)	- Economia altamente influenciada pela alta dos preços de petróleo, que tornou o carvão doméstico temporariamente mais competitivo; - Foco na melhoria da base tecnológica de grandes empresas existentes, com criação de centros de tecnologia	- Planejamento regional passou a ser centralizado no Estado, em três conselhos regionais (que perpassam a região de Ruhr); - Quatro programas focados no apoio à tecnologia foram lançados: um para mineração (orçamento de EUR 300 milhões), um para energia (EUR 350 milhões para não-nuclear e 500 milhões para nuclear), um para pequenas e médias empresas (EUR 180 milhões) e um para a siderurgia (EUR 250 milhões); - Em 1979, foi realizada uma conferência com stakeholders de todas as áreas da sociedade, desenvolvendo a base para uma política de modernização estrutural; - Em 1980, os programas foram consolidados no <i>Ruhr Action Plan</i> (APR), com duração de 4 anos e orçamento de EUR 3,5 bilhões, voltada para: ○ Transferência de tecnologia, fortalecendo a relação entre universidades e empresas locais; ○ Combate ao desemprego, já que a região apresentava níveis díspares da média nacional e estadual; ○ Coordenação de medidas federais, estaduais e municipais.

Política estrutural regionalizada (1987 – 1999)	• Intensificação da crise nos setores carvoeiro e siderurgia • Introdução de uma estratégia “bottom-up”, introduzida com participação dos stakeholders regionais	• 1987: criação da ZIM (iniciativa para o futuro regional do carvão e siderurgia), com um mix de fundos federais, estaduais e municipais e o diagnóstico de necessidade de engajamento dos stakeholders regionais. Foco em: ○ Apoio à inovação e à tecnologia, ○ Medidas de qualificação e criação de empregos voltadas para o futuro, ○ Expansão da infraestrutura, ○ Medidas ambientais. • 1989: ZIM foi expandida para todo o Estado para considerar diferenças entre regiões; • Foram desenvolvidas conferências regionais para implementação de medidas específicas, com participação dos municípios, empresas, academia, sindicatos e sociedade civil. A área de Ruhr foi dividida em seis regiões. Entre 1991-93, foram desenvolvidas políticas de desenvolvimento regional para cada uma delas.
Política estrutural orientada (2000 – hoje)	• Definição de áreas/mercados-chave para foco, com abordagem política mais orientada à competição, influenciado pela visão da União Europeia de <i>clusters</i>	• Definição de oito áreas centrais para o desenvolvimento regional, complementadas pela visão de um “núcleo industrial” como impulsionador da inovação nesses mercados: ○ Educação e conhecimento; ○ Comunicação digital; ○ Lazer e eventos; ○ Saúde; ○ Mobilidade; ○ Consumo sustentável; ○ Eficiência de recursos; ○ Construção urbana e habitação.

Fonte: Adaptado de DAHLBECK et al (2022)

Assim, nas décadas de 1980 e 1990, os programas de política estrutural passaram a se concentrar nos aspectos ecológicos e culturais e, principalmente, na promoção do empreendedorismo. A infraestrutura educacional foi fortalecida, com foco em regiões carentes (ARORA; SCHROEDER, 2022). A *Ruhr Regional Association* (RVR) teve papel fundamental na transformação da região desde sua criação, em 1920, coordenando esforços e promovendo a colaboração entre os municípios para transformar antigas áreas industriais em centros culturais e de lazer. Além disso, destaca-se que a forte interação entre autoridades da mineração, empresas e sindicatos também viabilizou um histórico de resolução de problemas ambientais associados a estas atividades (ZEQIRI *et al*, 2024).

Cabe destacar, nesse processo, o papel da Ruhrkohle AG, empresa que, em 1968, foi criada como resultado da fusão das empresas de mineração que permaneciam na região, com o objetivo de desenvolver um processo de transição econômica e social adequado para os funcionários. Em 1997, a Ruhrkohle AG foi reestruturada e passou a se chamar RAG Aktiengesellschaft (RAG AG). A operação das minas foi gradualmente separada de outras unidades de negócios para otimizar as oportunidades de financiamento e dividir atividades comerciais lucrativas e subsidiadas. Em 2007, o governo federal, governos estaduais, o sindicato de mineração, química e energia e a RAG AG concordaram em interromper o apoio subsidiado à mineração de carvão mineral na Alemanha até o final de 2018. Com base nesse acordo, a Fundação RAG foi criada em 26 de junho de 2007 com orçamento inicial de EUR 2 milhões, tendo como principais atividades (ZEQIRI *et al*, 2024; REITZENSTEIN *et al*, 2022):

- i. Garantir que a mineração de carvão seja descontinuada de maneira socialmente aceitável: A fundação fornece treinamento aos funcionários imediatamente para que eles possam reingressar no mercado de trabalho e os informa sobre novas oportunidades de emprego;
- ii. Financiamento da gestão de minas após desativação: Mesmo após o fechamento das minas, muitas tarefas ainda precisam ser realizadas e financiadas, como a segurança dos poços e túneis, a eliminação de danos relacionados à mineração, a execução do gerenciamento da água do poço e das águas subterrâneas, etc.; e
- iii. Apoio à educação, à ciência e à cultura: Especificamente instituições que costumavam ser financiadas regularmente pela corporação RAG e cuja sobrevivência estaria em risco com a interrupção da extração de carvão.

Além disso, algumas regiões passaram por processos amplos de reorientação, a exemplo da cidade de Gelsenkirche, originalmente a maior comunidade alemã de mineração de carvão, siderurgia e geração de eletricidade, conhecida como “*city of thousand fires*”. A partir da década de 1990, uma antiga siderúrgica movida a carvão foi transformada no Science Park Gelsenkirchen, que abriga empresas e institutos de pesquisa com foco no desenvolvimento de tecnologias e estratégias de energia limpa. Desde então, a cidade focou no desenvolvimento de empregos e pesquisa e desenvolvimento focada em energia solar, se intitulando como a “*city of thousand suns*”, ou “cidade solar” (ARORA; SCHROEDER, 2022).

O programa *International Architecture Exhibition Emscher Park* (IBA Emscher Park), realizado entre 1989 e 1999, foi desenvolvido para apoiar a transformação dessas áreas. O processo foi conduzido por uma variedade de *stakeholders* da esfera pública (autoridades locais e regionais), empresas, associações, sociedade civil e cidadãos, que formaram “coalizões de desenvolvimento regional”, com a proposição de projetos em cinco temas para a reestruturação da área: a

renovação da paisagem de Emscher em parque, a regeneração ecológica do sistema do Rio Emscher, o desenvolvimento de novos locais de trabalho a partir de locais industriais abandonados, o desenvolvimento de novas formas de moradia e distrito urbano e novos usos para edifícios industriais e monumentos industriais. Após dez anos e EUR 2,5 bilhões de investimentos públicos e privados, mais de 120 projetos cooperativos foram implementados, variando desde a criação de centros de tecnologia até a renovação inovadora e ecológica de apartamentos e a restauração de monumentos industriais para fins turísticos. O projeto também levou à reconversão do rio mais poluído da Alemanha em uma área de lazer (START, 2021).

A região de Ruhr está ligada também à área de mineração de Rhenish, focada em linhito. Em 2010, o governo estadual de North Rhine-Westphalia identificou que a crise do carvão na área industrial de Ruhr iria se estender para o linhito, impactando os empregos regionais. Para tal, o projeto “*Innovation Programme Rhenish Coal Region*” foi criado para lidar com as profundas mudanças estruturais previstas para o futuro próximo. Em 2014, os municípios, as associações empresariais da região e sindicatos uniram forças e se tornaram acionistas da recém-financiada agência de desenvolvimento regional ‘Innovationsregion Rheinisches Revier’, que mais tarde foi renomeada para ‘Zukunftsagentur Rheinisches Revier’ (ZRR). Com financiamento adicional de fundos europeus e do governo estadual, a ZRR pôde gastar EUR 500 mil por ano entre 2014 e 2017, com foco nas seguintes atividades: desenvolvimento de uma visão compartilhada e de uma estratégia de desenvolvimento para a região; realização de estudos sobre as perspectivas de setores específicos para a região; organização de concursos de ideias e eventos de networking, reunindo diferentes *stakeholders*. Como resultado, a ZRR antecipou ideias para conversão das termelétricas e outros usos para a infraestrutura, ainda que o descomissionamento não estivesse próximo (EC, 2025; RHEINISCHES REVIER, n.d.). Alguns eixos se destacam na estratégia da ZRR para a região:

- i. Construção de um ecossistema voltado para o setor de aviação, promovendo centros tecnológicos, *startups* e centros de pesquisa em aviação sustentável;
- ii. “Estratégia gigabit”, visando fortalecer a infraestrutura digital regional;
- iii. “Pacto Gigawatt”, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de projetos eólicos e fotovoltaicos na região; e
- iv. Estratégia de mobilidade 2038+, com o objetivo de estabelecer a região como um modelo de infraestrutura de transporte sustentável.

No que tange à recuperação de áreas associadas a minas a céu aberto, iniciativas de planos diretores estão sendo desenvolvidas em municípios vizinhos, com foco em criação de lagos artificiais. Em Indenland (um conjunto de municípios associados a mina de Inden), a mina está se transformando em um lago chamado Indesee como uma futura área de recreação local e atração turística. Na mina de Hambach, um lago de 3.500 hectares está sendo desenvolvido até 2070, com foco em integrar natureza, turismo, mobilidade e energias renováveis. Em Garzweiler, o plano diretor passou por um amplo processo de participação, com uma associação desenvolvendo a visão de longo prazo para a região (RHEINISCHES REVIER, n.d.).

3.9.3. Estudo de Caso: Lusatia

A região de Lusatia (Figura 13) é uma área rural localizada no leste da Alemanha, com cerca de 1,2 milhão de habitantes em 2017 e caracterizada por grandes reservas de linhito. Lusatia passou

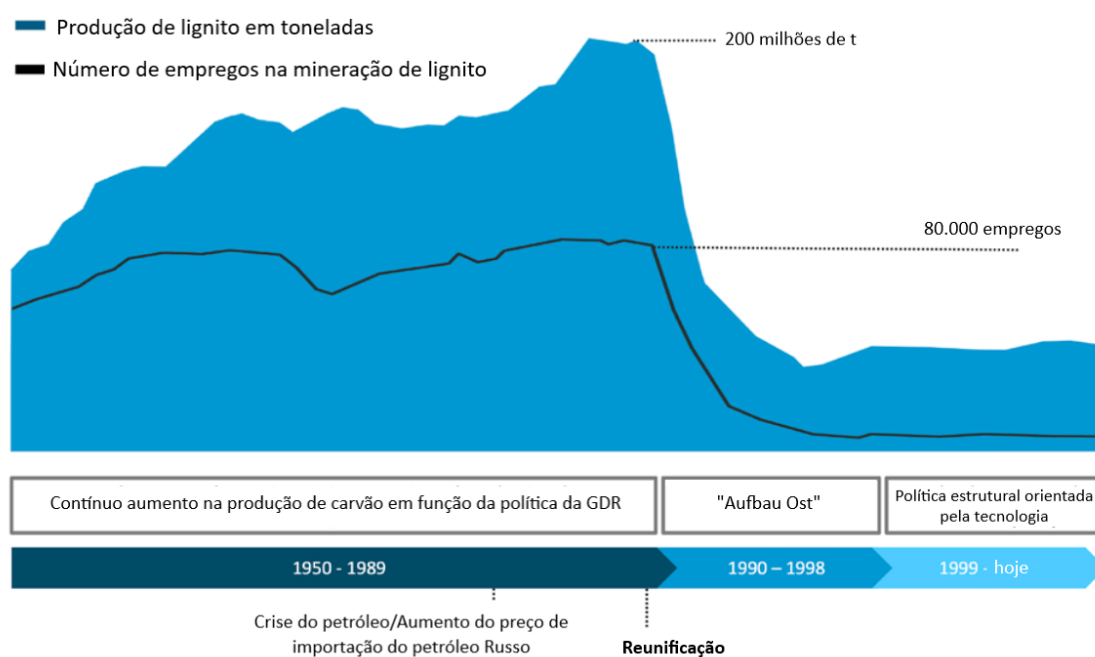
por um período de ampla transformação após a reunificação da Alemanha em 1990, com uma redução do emprego direto na produção de carvão de 80 mil pessoas nesse período para pouco mais de 8.500 em 2017 (Figura 14), representando 2% do emprego regional.

Figura 13. Mapa de Lusatia e minas de carvão



Fonte: WONG, RÖSER e MAXWELL (2022)

Figura 14. Evolução da produção de carvão e empregos associados na região de Lusatia desde 1950



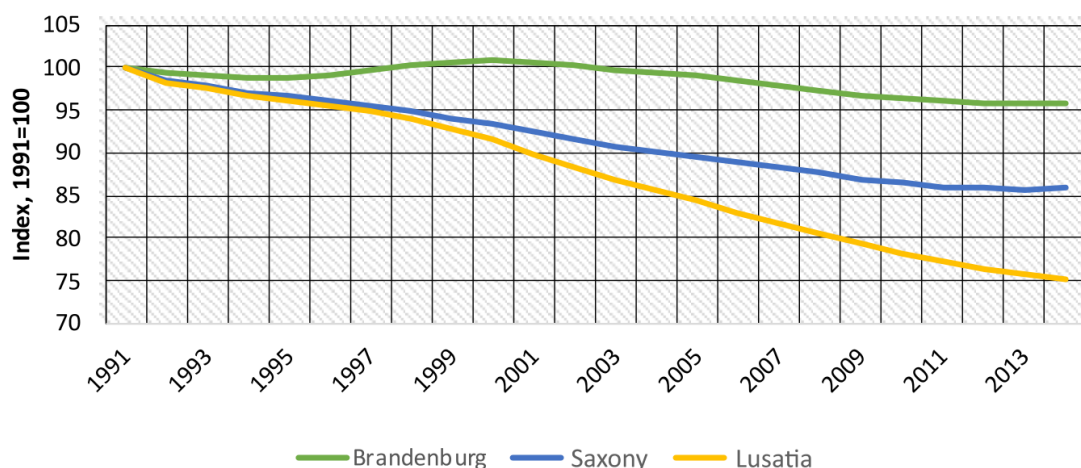
Fonte: Adaptado de RAGNITZ *et al* (2021)

Em geral, as políticas pré-1990 eram baseadas na política alemã geral e em intervenções na Alemanha Oriental, sem atenção específica à região de Lusatia. A chamada política "Aufbau Ost" [reconstrução do leste; desenvolvimento dos estados da Alemanha Oriental] (1990–1998) pode ser considerada bem-sucedida, pelo menos do ponto de vista econômico, ainda que a região seja considerada até hoje estruturalmente fraca. Por ser uma política inicialmente reativa, buscando mitigar impactos negativos da transição no mercado de trabalho, novos padrões estruturais se desenvolveram de forma mais concentrada em regiões que já eram atrativas para investidores externos. Apenas no final dos anos 1990 a política passou a ser proativa e orientada para a inovação, apoiando processos de adaptação estrutural (RAGNITZ *et al*, 2021).

Assim, depois de 1990, o papel da região no campo da mineração e da geração de energia foi significativamente reduzido após o fechamento da maioria das minas e das indústrias

relacionadas. Devido a essas mudanças econômicas, a região tem apresentado taxas de desemprego persistentemente altas e grandes perdas populacionais causadas pela emigração nos últimos 20 anos (HARFST, 2015). A Figura 15 apresenta o desenvolvimento demográfico da região em comparação aos estados de Brandenburg e da Saxônia.

Figura 15. Desenvolvimento demográfico nas regiões de Lusatia (1991-2014)



Fonte: RAGNITZ *et al* (2021)

Embora a região não tenha tido uma imagem muito positiva desde 1990 - além de um centro industrial degradado, com paisagens devastadas e alteradas - movimentos recentes têm fortalecido o desenvolvimento de uma nova percepção para Lusatia, sobretudo a partir do patrimônio industrial associado ao histórico de mineração (HARFST, 2015).

No que tange ao mercado de trabalho, até 1990 as políticas focaram na redução da oferta de trabalho por meio da aposentadoria antecipada, a qualificação da força de trabalho e a criação de empregos. Também foi utilizado o instrumento de redução da jornada de trabalho para lidar com quedas temporárias na demanda por mão de obra. A aposentadoria antecipada teve grande impacto, com trabalhadores deixando o mercado por volta dos 55 anos — cerca de dez anos antes da idade oficial de aposentadoria. Esse processo foi apoiado financeiramente por pensões especiais (para homens a partir de 60 anos e mulheres a partir de 55) e por subsídios de transição para aposentadoria, destinados a pessoas com mais de 55 anos. Além disso, os trabalhadores tinham direito ao benefício de desemprego por até cinco anos, conforme a regulamentação de transição para aposentadoria (RAGNITZ *et al*, 2021).

Ainda que não promovessem uma grande transformação na região, as políticas foram consideradas relativamente eficazes em evitar um colapso mais significativo do mercado de trabalho, dado que muitos trabalhadores enfrentavam dificuldades de se reintegrar devido às distorções do processo de transição. Após a década de 1990, o foco esteve no financiamento de inovação e P&D, bem como de *clusters* regionais. O financiamento à infraestrutura teve papel relevante nessa fase, ainda que não especificamente focado na região de Lusatia (RAGNITZ *et al*, 2021).

Nesse contexto, a conversão das minas a céu aberto é um ponto de relevância no caso de Lusatia. Essas áreas foram recuperadas como parte de um extenso programa de reabilitação, com orçamento de mais de 10 bilhões de euros desde a década de 1970, com ênfase no objetivo

de recuperar a imagem da região e torná-la um ponto turístico de destaque. Para tal, as antigas minas foram inundadas com água, transformando Lusatia no maior distrito de lagos artificiais da Europa, com mais de vinte lagos interconectados, praias, florestas, ciclovias e instalações para esportes aquáticos. O processo resultou também na recuperação gradual da fauna e flora, contribuindo para reduzir ainda mais as emissões de carbono. O processo de regeneração incluiu um processo de planejamento multinível e interdisciplinar com a participação de diferentes grupos de interesse público da região (eleitos, nomeados e voluntários, incluindo sindicatos de trabalhadores, o público, autoridades locais, comissários do condado, consórcios de planejamento regional etc.) (START, 2021).

Esse processo de remediação e reconversão foi realizado pela empresa de gerenciamento de mineração da Lusatia e da Alemanha Central (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft, LMBV), com apoio e financiamento dos governos federal e estaduais da Alemanha. O caso evidencia que, para além de um arcabouço legal-regulatório que incentive o processo de descomissionamento adequado, com aproveitamento das infraestruturas legadas, é também necessário que as instituições forneçam direcionamento e financiamento suficiente.

3.10. Reino Unido

A primeira UTE a carvão do mundo foi construída em Londres em 1882 pelo inventor norte-americano Thomas Edison (1847-1931). Do final do século XIX até a primeira metade do século XX, o carvão respondeu por praticamente toda a eletricidade do Reino Unido, abastecendo residências e empresas. No início da década de 1990, o gás natural começou a ter relevância na matriz energética do país, mas o carvão permaneceu como componente crucial da rede elétrica britânica por mais duas décadas. Em 2012, respondia por 39% da energia gerada no país (IPEA, 2024).

Em 2021, o governo do Reino Unido anunciou oficialmente o encerramento antecipado da geração de eletricidade a partir do carvão térmico, com prazo final estabelecido para outubro de 2024. Com essa medida, a Grã-Bretanha reduziu, em apenas uma década, sua dependência do carvão para geração elétrica de cerca de um terço para praticamente zero. A decisão foi detalhada no documento *"End to coal power brought forward to October 2024"* (REINO UNIDO, 2021), que determina que, a partir de outubro de 2024, nenhuma usina a carvão poderá operar sem tecnologia de abatimento de emissões. Essa transformação no sistema energético britânico está alinhada à meta do governo de descarbonizar o setor elétrico até 2035.

Em 2024, o Reino Unido gerou 66% de sua eletricidade a partir de fontes de baixo carbono, um valor significativamente superior à média global de 41%. As fontes eólica e solar foram responsáveis por 36% da geração elétrica britânica, enquanto o carvão representou apenas 2,3% e a energia nuclear respondeu por 40,8% (Ember, 2025).

Com o encerramento das atividades de minas a carvão, o Reino Unido passou a depender mais de importações. No entanto, em comparação com o período de 2010 a 2014, quando o país importava entre 27 e 51 milhões de toneladas por ano, em 2023 esse número caiu para apenas 3 milhões de toneladas. Essa redução se deve ao fato de que o carvão deixou de ser utilizado

para geração de eletricidade em larga escala, sendo destinado apenas a setores industriais residuais. Ainda em 2023, a participação do carvão na matriz de energia primária foi de 2,6% (EMBER, 2025).

Dados do Departamento para Segurança Energética e Emissões Líquidas Zero (DESNZ), do governo do Reino Unido, confirmam que a mineração de carvão deixou de ser um setor empregador no país. O número de trabalhadores caiu de 6 mil em 2010 para zero em 2022, sendo que as 10 minas subterrâneas e 28 minas a céu aberto restantes foram descomissionadas. Quanto as reservas, o país detém apenas 0,002% das reservas mundiais.

3.10.1. Planos governamentais para TEJ

É importante destacar que o Reino Unido foi um dos países precursores na eliminação do uso do carvão na geração de eletricidade. Em 1999, o *Coalfields Regeneration Trust* foi criado pelo governo do Reino Unido para fornecer apoio às comunidades carboníferas afetadas pelo programa de fechamento de minas das décadas de 1980/90. Durante este período, o CRT recebeu subsídios do financiamento do governo do Reino Unido, Escócia e País de Gales para organizações comunitárias de base para apoiar seu trabalho nos antigos campos de carvão. 68.000 pessoas nas comunidades carboníferas se beneficiaram das atividades do CRT.

Como resultado, atualmente não há planos emergenciais ou políticas específicas voltadas para o fechamento de usinas termelétricas a carvão e nem preocupações com o futuro dos trabalhadores desse setor. O foco do país agora está voltado para o fortalecimento das fontes renováveis de energia, como eólica e solar.

Entre os objetivos e ações elencados nos documentos e as informações disponíveis no site oficial do governo do Reino Unido (Reino Unido, 2021; Coal Authority, 2023; Mining Remediation Authority, 2025) os seguintes estão relacionados à atividade do carvão mineral:

- Ampliação da capacidade de tratamento de água de mina e tratamento de 232 bilhões de litros por ano, evitando a poluição da água potável, de rios e do mar — um aumento de 15 bilhões de litros/ano desde 2022.
- Aumento do conhecimento e proteção do meio ambiente, da água potável e do mar: avaliação dos impactos emergentes da recuperação da água de minas de grande porte (“superminas”) fechadas nos últimos 10 a 15 anos na Inglaterra; além da criação de um programa para monitorar, avaliar e considerar soluções de longo prazo para a água dessas minas, que é mais complexa e salina.
- Aprimoramento contínuo do atendimento ao público, reforçando o relacionamento com os clientes, tornando os serviços mais acessíveis e reconhecendo com mais clareza que diferentes pessoas e comunidades têm necessidades e contextos diversos. Por isso, o Reino Unido recebeu a acreditação ServiceMark do *Institute of Customer Service*.
- Uso do patrimônio e informações para apoiar a regeneração de áreas mineradoras, com aproveitamento dos dados, serviços e propriedades para viabilizar a regeneração de 885.000 hectares em antigas áreas de mineração, promovendo desenvolvimento seguro e sustentável para as comunidades locais.

- Trabalhar com o Conselho de Gateshead para implantar a primeira grande rede de aquecimento por água de mina na Grã-Bretanha: O projeto em Gateshead, um dos maiores da Europa, usa água de mina como fonte de calor, proporcionando economia de custo e redução de carbono para residências, empresas e prédios públicos conectados à rede. Esse projeto segue o pioneiro no setor privado em Durham e orienta futuros projetos em toda a Grã-Bretanha.
- Desenvolvimento de um produto de ocre para o mercado de digestão anaeróbica, ajudando na proteção contra corrosão e na redução de odores em plantas, substituindo produtos químicos férricos atualmente importados da Europa. Essa iniciativa de economia circular gera receita, reduz custos de descarte e economiza carbono.
- Publicação de frameworks de oportunidades para calor e subprodutos de mina, facilitando o engajamento de organizações públicas e privadas, mostrando o que já foi entregue e como desenvolver parcerias inovadoras e lucrativas em toda a Grã-Bretanha.
- Trabalhar em cooperação com reguladores, companhias de água e parceiros do setor hídrico para explorar oportunidades a nível de bacia hidrográfica, equilibrando as necessidades das pessoas e do meio ambiente em áreas com escassez de água e demonstrando o papel que a água de mina pode desempenhar. Isso é relevante para o trabalho em soluções inovadoras para águas de mina complexas e salinas, e é um aspecto chave dos programas de super minas e salinidade.
- Trabalhar com comunidades e instituições financeiras para viabilizar transações seguras em áreas de mineração, incluindo a Associação de Seguradoras Britânicas (ABI), para fortalecer a confiança no financiamento e seguro de casas em áreas de mineração. A proposta é continuar a apoiar proprietários, compradores, corretores e desenvolvedores para garantir transações seguras, crescimento controlado e desenvolvimento habitacional nas regiões mineradoras.
- Manutenção de um programa ativo de engajamento com organizações financeiras, instituições de crédito hipotecário, avaliadores e imobiliárias para divulgação do trabalho e apoio à confiança no mercado habitacional das áreas mineradas; além de trabalho conjunto com instituições financeiras e avaliadores para desenvolver os melhores métodos de acesso aos dados e fornecer serviços interpretativos que auxiliam decisões de crédito mais informadas.
- Apoio a transações digitais de propriedades e ao processo seguro de compra e venda de imóveis, desenvolvimento habitacional e crescimento seguro nas áreas de mineração, em conjunto com o governo e áreas da indústria.
- Desenvolver e implementar programas de aprendizagem e experiência de trabalho, com ações práticas para considerar a mobilidade social e oferecer oportunidades para indivíduos que vivem nas áreas de mineração e/ou têm conexão familiar com a mineração. Dentre as ações, foi desenvolvido um programa de experiência profissional e engajamento em carreiras iniciais com escolas locais e programas de estágios pagos. Cerca de 50% das ofertas entre 2022 e 2025 foram para pessoas com conexão familiar histórica com a mineração.
- Garantir que saúde, segurança e bem-estar estejam incorporados nas organizações e na cadeia de suprimentos. Em 2025, a *Mining Remediation Authority* recebeu a

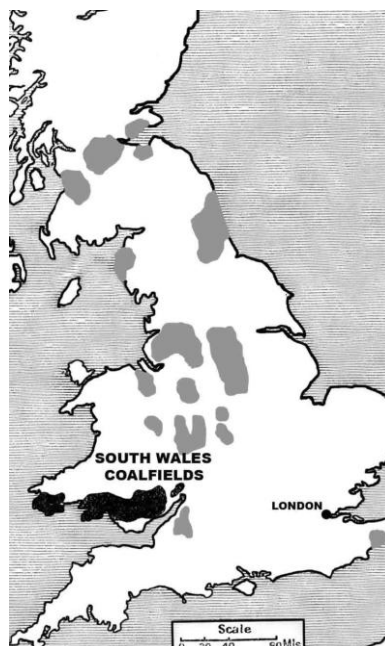
classificação cinco estrelas da Auditoria de Saúde Ocupacional e Segurança do *British Safety Council*, além de estabelecer o Plano de Diversidade e Inclusão 2021-2024 e o Plano Antirracismo 2022-2025.

- O governo confirmou em novembro de 2024 um financiamento de £ 21,7 bilhões para projetos de captura de carbono no Noroeste e Nordeste da Inglaterra, o que deverá gerar até 50.000 empregos, bem como £ 2,3 bilhões para a primeira rodada de contratos de produção de hidrogênio eletrolítico. Na Cúpula COP29 em Baku, Azerbaijão, o Primeiro-Ministro anunciou o Bônus da Indústria Limpa, que oferecerá £ 27 milhões por Gigawatt a desenvolvedores de energia eólica *offshore* que investirem nos centros industriais históricos, áreas costeiras e comunidades de petróleo e gás do Reino Unido.
- Cerca de 120.000 ex-mineiros receberão um aumento de 32% em suas pensões, já que £ 1,5 bilhão que foi retido de suas pensões será entregue aos seus planos, garantindo que aqueles que impulsionaram o país por décadas finalmente recebam as recompensas por seu trabalho.

3.10.2. Estudo de Caso: South Wales

South Wales é uma região no país de Gales (Figura 16) que concentra cerca de ¼ da população do país, com mais de 2 milhões de habitantes. Em South Wales, grandes depósitos subterrâneos de carvão impulsionaram a exploração de minas por toda a região e, a partir do século XIX, comunidades se formaram em torno dessas minas. No auge da indústria, no início do século XX, havia cerca de 270 mil mineiros em toda a região de Gales (Wales), com algumas cidades tendo até 90% dos empregos ligados ao carvão (PRICE; RHODES, 2020).

Figura 16. Localização de South Wales, minas (em preto) e depósitos de carvão do Reino Unido (em cinza)

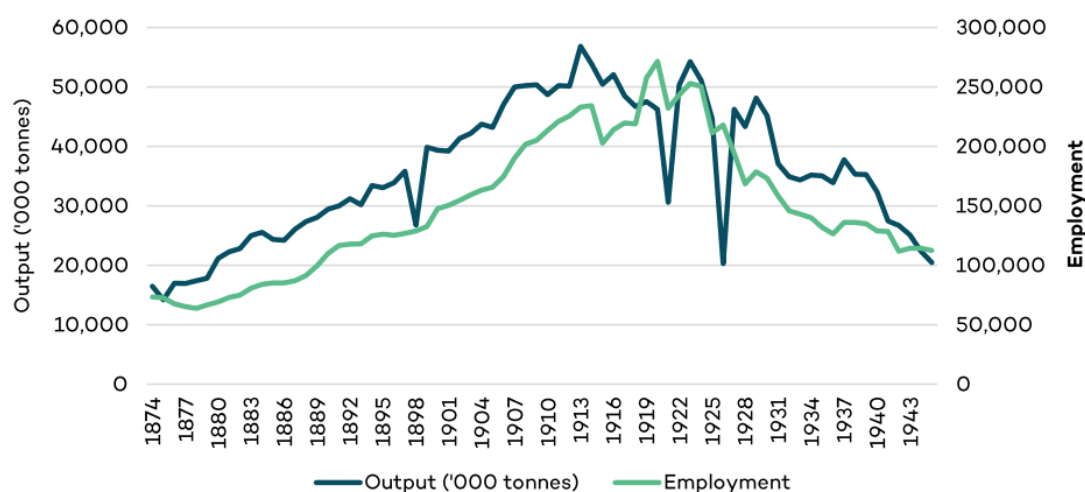


Fonte: Hansell e Beaver (2013)

Ainda que a história de South Wales, do meio do século XIX até o final do século XX, esteja fortemente ligada à mineração de carvão, é importante lembrar que a revolução industrial na região começou bem antes da ascensão desse recurso, com a extração de ardósia e a mineração de cobre e minério de ferro. Já em 1827, a indústria de ferro da região era responsável por metade das exportações britânicas, o que impulsionou significativamente a produção de carvão — inicialmente voltada para atender às demandas dessa indústria (IISD; GSI, 2017b).

Conflitos constantes entre trabalhadores e proprietários de minas sobre salários e condições de trabalho tornaram o País de Gales um dos centros mais ativos de sindicalismo na Grã-Bretanha. Entre 1921 e 1936, 241 minas em South Wales foram fechadas e o número de trabalhadores caiu de 270.000 para 130.000 (Figura 17). O impacto da Grande Depressão foi expressivo nas regiões carboníferas, resultando em três “marchas da fome” de South Wales até Londres, realizadas em 1927, 1934 e 1936.

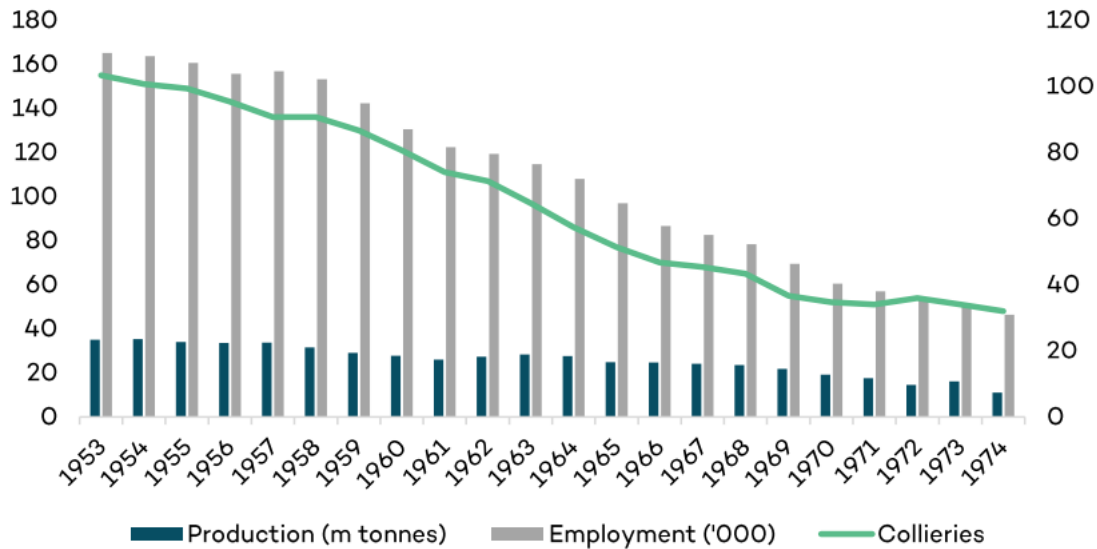
Figura 17. Produção e emprego na mineração no País de Gales (1874-1945)



Fonte: IISD e GSI (2017b)

Antes da Primeira Guerra Mundial, o *South Wales Miners' Federation* (“The Fed”) era o maior sindicato do país. Durante a Segunda Guerra, a nacionalização das minas e o contexto global levaram a um aumento na demanda por carvão, com correspondente aumento na produção e salários (IISD; GSI, 2017b). No entanto, na década de 1960, uma política de fusão levou ao fechamento de minas consideradas não lucrativas, concentrando empregos e investimentos em grandes “superminas” (Figura 18). Com o enfraquecimento dos sindicatos promovido pelo governo, o *National Union of Mineworkers* (NUM), sucessor do Fed, ficou isolado de outras indústrias. A política de fechamento de minas foi retomada nos anos 1980, culminando na greve fracassada de 1984–1985 e no colapso da mineração de carvão no Reino Unido (PRICE; RHODES, 2020).

Figura 18. Produção, emprego e minas de carvão em South Wales (1953-74)



Fonte: IISD e GSI (2017b)

A trajetória da indústria do carvão em South Wales apresentou rápido crescimento, mas gradual colapso, motivado pelas pressões econômicas globais. Em suma, o caso evidencia uma trajetória de discussões sobre a sustentabilidade da mineração, sob a ótica das mineradoras e dos trabalhadores (sobretudo sindicatos, nesse caso). As estratégias adotadas para mitigação de impactos foram consideradas infrutíferas: South Wales apresentou altas taxas de desemprego nas décadas de 1980 e 1990 e elevada migração, em busca de melhores condições socioeconômicas. Alguns desses impactos persistem, com desafios acerca da recuperação econômica e social da região concentrados em cinco fatores (PRICE; RHODES, 2020):

- i. Migração, com uma população que historicamente flutua em função da performance econômica regional. Em geral, políticas de atração de negócios e emprego não foram bem-sucedidas. Assim, identifica-se a necessidade de uma avaliação e política regional mais direcionada;
- ii. Educação, com a região apresentando índices educacionais inferiores à média nacional. A região conta também com uma proporção elevada de trabalhadores sem qualificação formal e, por conseguinte, alocados em empregos de baixa remuneração. Um conjunto de políticas, incluindo financiamento da União Europeia, foi desenvolvida para melhorar a performance educacional no nível da infância, e uma universidade comunitária foi inaugurada;
- iii. Saúde e bem-estar, com níveis de doenças superior e menor expectativa de vida do que outras regiões do país. Nas últimas décadas, os gastos sociais do governo se ampliaram significativamente, com um número expressivo de relatos de doenças comuns a comunidades dependentes da mineração;
- iv. Sistema de apoio social, que foi transformado muitas vezes no período. Ainda assim, muitos trabalhadores afetados optaram pela aposentadora antecipada ou receberam auxílios, incluindo mais jovens. No geral, até 2008, apenas metade dos empregos perdidos com o descomissionamento das minas nos últimos 30 anos haviam sido substituídos; e

- v. Habitação, com a região apresentando, historicamente, déficit na oferta de residências adequadas.

Apesar do colapso enfrentado pelas regiões carboníferas, o governo adotou uma estratégia inicial de mínima intervenção direta. No entanto, a partir de meados da década de 1930, essa estratégia tornou-se insustentável. O Quadro 3 resume as políticas regionais adotadas a partir de 1934.

Quadro 3. Resumo das políticas regionais associadas ao carvão

Política	Ano	Objetivo principal
Industrial Transfer Board	1934	Fornecer treinamento, subsídios e empréstimos para os mineiros que desejam se mudar para o sul. Mais de 200 mil pessoas foram realocadas durante 10 anos, ainda que o suporte financeiro fosse mínimo. Quatro centros de treinamento se estabeleceram na região de South Wales.
Special Areas (Development and Improvement) Act	1934	Criação de empregos por meio da melhoria da infraestrutura e do incentivo ao desenvolvimento industrial. Os impactos foram modestos em South Wales, mas o modelo de incentivos à diversificação industrial se mantém até hoje.
National Plan	1960-70	Incentivos fiscais, subsídios e subvenções destinados a apoiar empresas novas e realocadas e a aumentar o número de empregos.
Criação do Welsh Office	1964	Departamento do governo criado para promover a indústria, anunciando South Wales como uma área especial de desenvolvimento em 1967, com subsídios para criação de empregos.
Regionalização dos escritórios do governo e criação da Welsh Development Agency (WDA)	1974	Promover o desenvolvimento e o emprego em áreas periféricas, incluindo as áreas de South Wales, afetadas pela mineração. Após análise da política regional, subsídios à inovação, pequenas e médias empresas e novos negócios foram desenvolvidos.
Cardiff Bay Development Corporation	1987	Desenvolver soluções em larga escala para áreas com maior densidade econômica.
Valleys Initiative Regeneration Programme	1989	
Communities First Programme	2001	Promover o desenvolvimento comunitário para combater a pobreza
The Heads of the Valleys Programme	2006	Direcionado exclusivamente às antigas comunidades mineradoras e teve como missão implementar uma agenda completa de renovação, a ser executada em parceria com autoridades locais e organizações comunitárias. Os impactos foram limitados pelo orçamento de £10 milhões anuais.
Jobs Growth Wales	Atual	Promoção de emprego através da alocação em empresas por 6 meses, com salário-mínimo

Fonte: IISD e GSI (2017b)

Cabe destacar, nesse conjunto de políticas, o papel da agência regional WDA em garantir investimentos com impacto significativo na visão de transição de South Wales. A instituição foi crucial para liderar as diferentes frentes de trabalho de um processo de reestruturação econômica, incluindo a coordenação de esforços entre diferentes níveis do governo e instituições privadas e da sociedade civil. Apesar da intervenção bem-sucedida no curto e médio prazo, em termos macroeconômicos, a nível das comunidades individuais esse impacto foi bem

mais tímido: a maior parte dos investimentos estava localizada na faixa costeira e não nas comunidades de mineração dos vales e, embora tenham sido abertas oportunidades para mulheres e homens mais jovens, os empregos criados por meio dos investimentos da WDA não eram necessariamente adequados para ex-mineradores. Como grande parte das políticas regionais aplicadas no Reino Unido não foram desenhadas especificamente para as antigas áreas de mineração de South Wales, frequentemente havia lacunas para a geração de empregos, como a ausência de infraestrutura de transporte adequado. De fato, o investimento em infraestrutura rodoviária e de telecomunicações foi parte importante dos fundos destinados à região de South Wales (IISD; GSI, 2017b).

Uma parte importante – e com relativo sucesso na geração de benefícios econômicos - das estratégias adotadas foi o incentivo a empresas locais existentes, através de empréstimos e subsídios, com o objetivo de gerar investimento, treinamento de novos trabalhadores e geração de empregos no longo prazo. Outra lição relevante é que o processo de transformação da economia é mais rápido e sustentável quando o aspecto local é envolvido: a conexão de cadeias de suprimento locais, através de políticas de contratação de base regional e apoio a PMEs e indústrias locais, se demonstrou uma ação efetiva na geração de renda para a região.

A longo prazo, os efeitos da WDA são menos claros. Com o fim dos incentivos ou aumento da concorrência, a taxa de investimento caiu e as empresas se retiraram. Mais uma vez, a resiliência da economia para lidar com as mudanças nas estruturas econômicas - dessa vez, a mudança para os setores baseados em conhecimento - demonstrou ser um tanto insuficiente. Isso sugere que as estratégias de investimento interno precisam ser complementadas por políticas de longo prazo voltadas para o desenvolvimento de habilidades e de formação educacional, e que precisam ser bem definidas em relação aos objetivos econômicos e sociais (IISD; GSI, 2017b).

Não obstante, cabe ressaltar que as políticas de seguridade social foram fundamentais para aliviar a pobreza no curto prazo. A presença de pagamentos de assistência social permitiu que os ex-mineradores e suas famílias cobrissem as despesas domésticas e ganhassem tempo para organizar a transição para uma economia pós-carvão. No entanto, a dependência contínua dessas políticas duas décadas após o fim da mineração aponta para a necessidade de reavaliar as políticas destinadas a abordar a transição econômica em South Wales. O apoio do governo - por meio de pagamentos de assistência social e esquemas de investimento interno para trazer empregos para a região - proporcionou uma resposta de curto e médio prazo a uma perda repentina de empregos; no entanto, no caso de South Wales, esse apoio não se mostrou suficiente para criar uma economia resiliente e diversificada no longo prazo (IISD; GSI, 2017b).

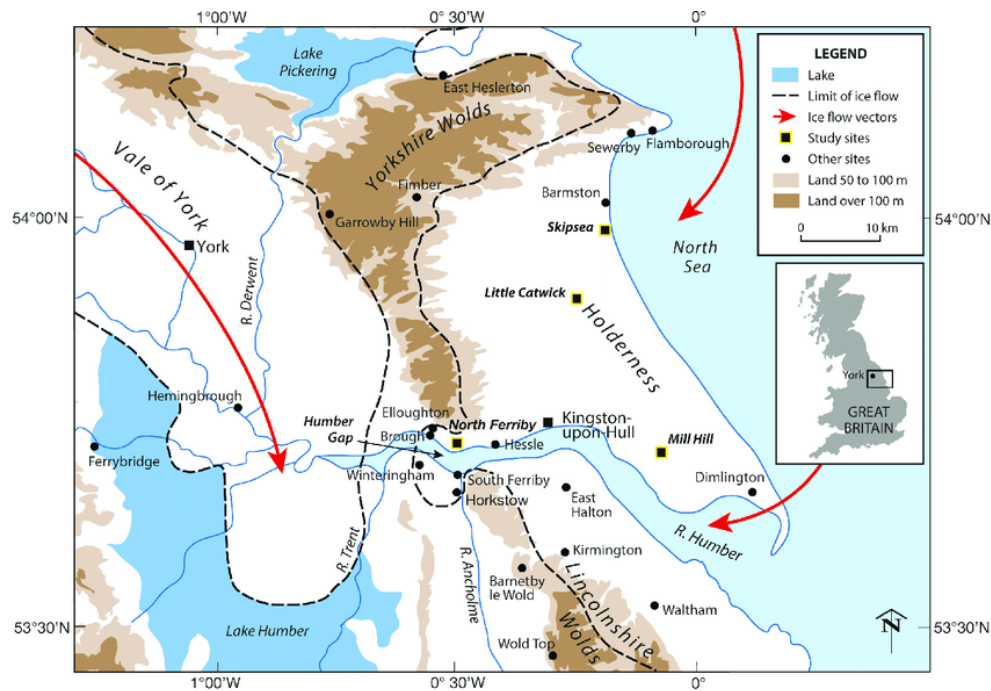
3.10.3. Estudo de Caso: Humber e Yorkshire

A região norte de Yorkshire e Humber (Figura 19) tem uma das maiores concentrações, no Reino Unido, de indústrias de base e usinas de carvão e gás. A região possuía, em 2018, uma população de 5,3 milhões, e era responsável por 6,4% do PIB e 10% das emissões de carbono do Reino Unido (ROBINS *et al*, 2019). A região ficou conhecida como “estuário da energia”, pela localização no estuário de Humber e por abrigar diversos setores relevantes do Reino Unido, como (TUC, 2015):

- i. Duas das seis refinarias de petróleo do Reino Unido;

- ii. Um dos quatro *clusters* do setor químico do Reino Unido;
- iii. Quatro das sete fábricas de aço do Reino Unido;
- iv. Nove das 18 grandes instalações do setor de vidro;
- v. Um dos quatro fabricantes de cimento do Reino Unido;
- vi. 17 fabricantes de cerâmica; e
- vii. Representação significativa da maioria dos outros setores com uso intensivo de energia (EIs), incluindo 17 fábricas do setor de papel.

Figura 19. Mapa da região de Humber e leste de Yorkshire



Fonte: BATEMAN *et al* (2018)

A região esteve historicamente associada à importação e queima de carvão, ao uso de gás para geração de energia e, também, ligada à pesca no Mar do Norte. No entanto, a política energética do Reino Unido e a redução dos estoques de peixe causaram uma contração significativa tanto nas importações de carvão quanto no desembarque de pescado, atividades das quais os portos da região dependiam fortemente (START, 2021).

Cabe destacar que o perfil demográfico da região de Humber – onde se concentrava a queima de carvão - difere do restante do Reino Unido. A população e a força de trabalho tendem a ser mais envelhecidas, e muitas áreas enfrentam altos níveis de privação, enquanto os resultados educacionais ficam abaixo da média nacional. No entanto, há diferenças acentuadas dentro da própria região (HICP, 2021).

Frente aos desafios associados à desmobilização das indústrias locais, os governos da região, em colaboração com a agência regional de desenvolvimento e o setor privado, promoveram os portos abandonados e subutilizados da região como destinos de investimento para a crescente indústria de energia eólica offshore do Reino Unido. O setor público analisou as cadeias de valor e suprimentos dessa nova indústria e adaptou a divulgação dos locais às suas necessidades operacionais, como fabricação, instalação e manutenção. A região se destacou em relação a outras da costa leste da Inglaterra ao realizar investimentos pontuais, porém estratégicos, na

infraestrutura portuária — como a modernização de eclusas para receber embarcações especializadas —, ao formar parcerias público-privadas que ofereciam apoio abrangente aos investidores, incluindo capacitação profissional, e ao utilizar os poderes de planejamento e regeneração urbana para acelerar aprovações e obras. A atuação do governo foi fundamental para a atração de investimentos, não por conceder incentivos, mas porque havia uma ideia de que o poder público compreendia as demandas das indústrias e oferecia soluções rápidas para adaptar a infraestrutura portuária e industrial às exigências específicas da nova atividade (START, 2021).

Em 2021, a região de Humber foi identificada como um dos seis *clusters* industriais para descarbonização no Reino Unido, sendo o *cluster* com o maior nível de emissões industriais (Figura 20). Com base nessa avaliação, o *Humber Industrial Cluster Plan* foi desenvolvido a partir de um processo colaborativo de 2 anos, com as seguintes diretrizes para ação (HICP, 2021):

- i. Implementar tecnologias de captura e armazenamento de carbono e de remoção de gases de efeito estufa, com potencial de difundi-las até 2030, a depender do arcabouço político em vigor;
- ii. Implementar o hidrogênio de baixo carbono em larga escala, com capacidade de atender a mais de 50% da meta nacional de produção de hidrogênio. A região possui projetos e planos anunciados de produzir cerca de 5 GW até 2030. Além disso, um gasoduto de hidrogênio está em fase avançada de planejamento;
- iii. Adotar todas as medidas de eletrificação possíveis, onde for econômica e tecnicamente viável, sobretudo em indústrias-chave da região, como siderurgia, refino e química;
- iv. Priorizar medidas de eficiência e economia circular;
- v. Gerar valor social através da transição industrial;
- vi. Desenvolver as habilidades e cadeias de suprimento regionais; e
- vii. Incentivar investimentos e colaboração para atingir as metas de zero emissões líquidas.

Figura 20. Maiores clusters industriais do Reino Unido, por emissões



Fonte: WEF (2021)

Devido à proximidade geográfica e ao impacto significativo na infraestrutura do *cluster* industrial, a usina de energia Drax está incluída como parte do *cluster* de Humber no Plano. A Drax, assim como muitas outras usinas geradoras de energia e plantas de Cogeração (CHP) da região, está intrinsecamente ligada à indústria e ao processo de descarbonização (HICP, 2021). A Usina de Drax foi comissionada em 1971, e foi uma das maiores termelétricas a carvão da Europa Ocidental. Desde 2012, a empresa reduziu em 90% suas emissões líquidas de carbono fóssil provenientes da geração de energia, ao substituir o carvão por biomassa sustentável e transformar radicalmente seu modelo de operação.

A reconversão da Drax Power Station para a biomassa foi motivada principalmente por incentivos econômicos promovidos pelo governo britânico. O programa Renewables Obligation, que oferecia certificados de obrigação de geração renovável, tornou a operação com biomassa mais lucrativa do que manter as atividades a carvão. Essa mudança estratégica foi também influenciada pelo cancelamento do projeto White Rose CCS, que previa captura de carbono com carvão, mas foi interrompido por falta de apoio governamental. Diante desse cenário, a Drax redefiniu sua estratégia, priorizando a biomassa como principal tecnologia de transição.

Atualmente, a Drax opera quatro unidades de biomassa de 645 MW cada, utilizando exclusivamente pellets de madeira comprimida como fonte de energia renovável. Apesar de a biomassa ser classificada como renovável, sua queima ainda resulta na emissão de CO₂. Por isso, o governo britânico anunciou que os subsídios à biomassa tradicional serão reduzidos a partir de 2027, com o objetivo de incentivar a conversão dessas usinas para a tecnologia BECCS (Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono) — uma solução que permite a geração de energia com emissões negativas de carbono.

A Drax já iniciou os esforços para essa nova etapa de conversão, planejando investir bilhões de libras no desenvolvimento de duas unidades de BECCS, com previsão de criação de até 10.000 empregos no pico da construção. A tecnologia é considerada confiável e escalável, representando a única forma disponível atualmente de remover carbono da atmosfera de forma segura enquanto se gera energia renovável. Além dos empregos diretos, espera-se um crescimento significativo de empregos indiretos e induzidos durante a construção e operação das unidades de BECCS. Esses empregos serão gerados por meio de fornecedores e prestadores de serviços da cadeia produtiva e, posteriormente, pela movimentação da economia local, especialmente no Distrito de Selby e na região de Yorkshire and the Humber. O projeto estima, em média anual (entre 2024 e 2028), a geração de 4.000 empregos diretos, 1.600 empregos indiretos e 2.500 empregos induzidos.

Durante a operação, após a conclusão das plantas, até 375 empregos diretos devem ser mantidos ou criados, além de 960 empregos indiretos e 1.800 induzidos em tempo integral. No contexto regional, no Cluster Industrial do Humber, a implantação do BECCS poderá sustentar até 47.800 empregos diretos, indiretos e induzidos, segundo estimativas da Vivid Economics (2021). Os dados históricos também mostram crescimento do emprego durante a transição da Drax para a biomassa. Em 2015, havia 14.150 empregos vinculados à operação da usina no Reino Unido, sendo cerca de 5.000 na região local. Em 2021, esse número subiu para 17.800 empregos no país e aproximadamente 4.000 na região da planta.

Internamente, a Drax tem mantido altos índices de retenção de pessoal. Cerca de 32% da força de trabalho está na empresa há mais de 20 anos, e a taxa de rotatividade é baixa (5,8% ao ano). A companhia investe na qualificação contínua da força de trabalho, com políticas específicas para aposentadoria progressiva, treinamentos, programas de preparação para aposentadoria e participação em planos de pensão. Em 2022, contava com 1.163 empregados, a maioria em regime permanente e tempo integral.

No Distrito de Selby, onde a Drax está localizada, a usina é um dos maiores empregadores. Em 2020, havia cerca de 34.000 empregos registrados na região, sendo 73,5% em tempo integral. A densidade de empregos local era de 0,75 (razão entre número de empregos e população economicamente ativa), um pouco abaixo da média nacional, o que evidencia a importância do papel da usina na economia regional. O setor industrial e de manufatura, em que a Drax se insere, representa 23,5% dos empregos locais — acima das médias regional e nacional. A reconversão para BECCS faz parte de uma visão mais ampla para transformar a região de Humberside em um polo industrial neutro em carbono até 2040, capaz de capturar 15% das emissões anuais do Reino Unido e proteger 55.000 empregos industriais locais. Para garantir a força de trabalho necessária, a região está investindo em formação técnica, parcerias com instituições de ensino e programas de capacitação focados nas novas demandas da economia de baixo carbono.

O caso de Humber e Yorkshire apresenta uma transição mais recente, com o discurso fortemente moldado pela visão de descarbonização do governo federal, incluindo o processo de formação de *clusters* industriais. De forma mais específica, o que se destaca nesse caso é a estratégia focada na reorientação das atividades associadas ao carvão para a indústria renovável, com foco na energia eólica offshore, conforme estratégia do governo do Reino Unido. Sob a ótica regional, nota-se que o reaproveitamento de ativos e áreas industriais exige uma atuação coordenada entre governo local, nacional e setor privado, com ações ajustadas às necessidades específicas dos setores em transformação. Além disso, o apoio governamental por

meio de mecanismos regulatórios e de planejamento urbano pode ser tão decisivo quanto o financiamento público, contribuindo diretamente para a viabilidade e agilidade dos projetos. Por fim, um conhecimento profundo sobre a estrutura, funcionamento e cadeia de valor dos setores-alvo é essencial para formular propostas eficazes, considerando a disponibilidade de recursos locais como áreas apropriadas, mão de obra qualificada e capital de investimento. Ainda que os impactos sobre emprego e a comunidade ainda não tenham sido avaliados, a construção de uma visão local para a transição é um ponto relevante da região.

3.11. Espanha

A produção e o emprego na indústria carbonífera espanhola passaram a declinar significativamente a partir de 1990, impulsionados pelo compromisso da UE à neutralidade climática até 2050, o crescente apoio público à ação climática, o excedente de capacidade na rede elétrica e o aumento da competitividade das fontes renováveis. Muitas das minas de carvão da Espanha já não eram competitivas e operavam com forte dependência de subsídios públicos (Espanha, 2020).

A partir de 2010, a Decisão 2010/787/UE do Conselho determinou que os Estados-Membros deixassem de fornecer apoio financeiro a minas de carvão não competitivas e as encerrassem até 31 de dezembro de 2018. Entre 2015 e 2024, 15 minas foram desativadas, das quais 8 encerraram suas atividades em 2018 (GEM, 2025a). Como resultado, a participação do carvão na geração de eletricidade caiu de 40% em 1990 para 5% em 2019 (a maior parte proveniente de importações), chegando a 1% em 2024. Já o emprego no setor de mineração de carvão passou de mais de 45.000 em 1990 para 3.400 em 2012 e para 1.700 em 2017, desconsiderando os trabalhadores contratados e os empregados das UTEs a carvão (Espanha, 2020).

A Estratégia para uma Transição Justa foi um dos pilares do Quadro Estratégico para Energia e Clima da Espanha, visando assegurar que a transição para um novo modelo produtivo de baixo carbono seja justa e socialmente benéfica para todos, com foco na maximização das oportunidades de emprego. Elaborada por meio de um processo participativo, a Estratégia para uma Transição Justa contou com a contribuição de indivíduos, especialmente de regiões afetadas pelo fechamento de minas, além de organizações sociais, setor empresarial e diferentes níveis de governo. O documento reconhece que as medidas previamente adotadas nessas áreas foram insuficientes e, por isso, a partir de 2019, seria necessário implementar um conjunto de ações específicas e urgentes, reunidas no Plano de Ação Urgente, que define os objetivos, diretrizes e medidas prioritárias.

3.11.1. Planos governamentais para TEJ

Os objetivos do Plano de Ação Urgente são:

- a. Garantir uma compensação adequada aos trabalhadores que perderem seus empregos em decorrência do fechamento de mineradoras.

- b. Manter o emprego no curto prazo nas regiões mineradoras por meio da implementação do Plano de Restauração de Minas, do Plano de Energias Renováveis e Eficiência Energética, além de outros programas a serem desenvolvidos em parceria com os municípios afetados.
- c. Assegurar a implementação dos Acordos de Transição Justa nas áreas impactadas pelo fechamento de minas a partir de 31 de dezembro de 2018, bem como pelo encerramento de UTEs a carvão ou nucleares, com o objetivo de garantir que os fechamentos não afetem o emprego e a população local ao final do processo.

Com relação às medidas, foram previstas:

1. Apoiar e financiar o desenvolvimento a curto prazo de Convênios de Transição Justa para as regiões e territórios mineiros afetados pelo encerramento de centrais elétricas, a fim de garantir que o encerramento não tenha impacto no emprego e no despovoamento ao final da sua implementação.
 - a. Atribuição de 130 milhões de euros à implementação dos Convênios urgentes através das linhas de apoio do Instituto para a Transição Justa no período 2019-2021.
 - b. Os Convênios oferecerão acesso assistido e ágil às linhas de apoio financeiro disponíveis nas instituições e órgãos da Administração Geral do Estado.
 - c. Para os territórios afetados, os Convênios incluirão acesso prioritário a capacidade de fornecimento de energia elétrica, bem como ao uso da água objeto de concessão para os projetos contemplados. Esses recursos serão atribuídos por meio de procedimentos que levarão em conta não apenas os critérios técnicos e econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais, incluindo a geração de empregos.
 - d. Instrumentos de política energética serão considerados para a implementação de iniciativas empresariais relacionadas à energia na região e leilões específicos de energia renovável poderão ser realizados para esses territórios.
 - e. Serão identificadas linhas de financiamento ou subsídios que possam ser aplicadas aos territórios em transição justa. As bases reguladoras dessas linhas incluirão critérios de priorização ou avaliação que favoreçam essas regiões, de modo a apoiar sua reconversão socioeconômica.
 - f. Todas as medidas passíveis de cofinanciamento com fundos da UE serão incluídas na programação correspondente do Estado e/ou das Comunidades Autônomas. Para isso, serão estabelecidos mecanismos de cooperação entre o Estado e as Comunidades Autônomas, com o objetivo de otimizar o uso dos recursos disponíveis.
 - g. Seleção de projetos a serem submetidos ao Mecanismo de Transição Justa da UE.
2. Solicitar um plano das empresas que requerem o encerramento de suas instalações, com o objetivo de alcançar:
 - a. O desenvolvimento de novas atividades nos mesmos territórios, aproveitando o potencial da região para instalação de outros empreendimentos e o conhecimento prévio das empresas sobre a realidade local, de modo a viabilizar uma transição suave entre o fechamento das instalações e a criação de novas iniciativas.

- b. A recolocação dos trabalhadores em outras instalações ou subsidiárias da empresa, bem como a manutenção do emprego de seus próprios trabalhadores e de empresas auxiliares, por meio da participação em atividades de descomissionamento ou em projetos de energia renovável, sempre que possível.
- 3. Desenvolver um acordo entre as empresas que solicitam o encerramento de atividades, as organizações sindicais e a Administração, com o objetivo de acompanhar o processo de fechamento das centrais termelétricas, incorporando os elementos necessários para assegurar uma transição justa.
- 4. Agilizar a concessão de subsídios voltados à dinamização econômica das regiões mineradoras de carvão.
- 5. Implementar medidas urgentes para a manutenção do emprego e a proteção social nas regiões afetadas pelo fechamento de empresas mineradoras.
 - a. Garantir que os trabalhadores das empresas mineradoras tenham acesso a benefícios econômicos e indenizações decorrentes da perda de seus empregos.
 - b. Desenvolver um plano de apoio à formação profissional e à inserção profissional dos trabalhadores das áreas afetadas. Serão programadas ações para trabalhadores em atividade, e as especialidades de formação serão oferecidas nos Centros de Referência Nacional.
 - c. Criar um banco de empregos para trabalhadores excedentes das empresas mineradoras e auxiliares, com o objetivo de facilitar novas oportunidades de inserção no mercado de trabalho.
 - d. Executar um plano de restauração de minas, visando à recuperação ambiental e social das áreas degradadas pela mineração, além da manutenção do emprego local, especialmente para os trabalhadores excedentes. Este plano busca não apenas assegurar empregos de curto prazo e o fechamento seguro das minas, mas também promover melhores resultados ambientais, recuperação da biodiversidade e funcionar como projeto catalisador de inovação científica.
 - e. Desenvolver, em coordenação com o Instituto para a Diversificação e Conservação de Energia, um Plano de Apoio a Energias Renováveis e Eficiência Energética, voltado aos territórios destinatários do Plano de Ação Urgente.
- 6. Lançamento do primeiro edital de apoio do programa Empleaverde, com atenção especial às regiões em transição, visando sua reativação socioeconômica.
- 7. Aprovação de um novo Plano Estratégico para a Fundação Cidade da Energia, com o objetivo de que desempenhe um papel relevante na reativação das regiões mineradoras por meio de atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I) voltadas à transição energética.
- 8. Lançamento do Instituto para a Transição Justa, responsável por oferecer o apoio técnico e o acesso a financiamentos necessários à promoção da transição nas regiões afetadas.
- 9. Elaboração de um guia para o descomissionamento e a reativação de centrais nucleares, com foco na otimização dos impactos sobre o emprego, a atividade econômica e a coesão social nas áreas envolvidas nos processos de encerramento. A elaboração do guia considerará as recomendações do Conselho de Segurança Nuclear (CSN), da Enresa e de outros atores relevantes, como representantes sindicais e os municípios afetados.

10. Lançamento do “Equipo País” no âmbito da Plataforma Europeia de Regiões Carboníferas em Transição, com o objetivo de promover ações conjuntas que ampliem o acesso a fundos europeus para projetos estratégicos.

Os Convênios de Transição Justa, previstos na Estratégia de Transição Justa, são instrumentos de cogovernança criados para coordenar ações entre administrações públicas e apoiar a criação e manutenção de atividades econômicas e empregos, especialmente em setores produtivos e grupos vulneráveis de áreas afetadas pelo fechamento de minas de carvão, usinas termelétricas e nucleares. Esses municípios compõem as Zonas de Transição Justa (ZTJ), selecionadas por terem sido as mais afetadas pelo fechamento, sem planos prévios de conversão. O Instituto de Transição Justa, órgão autônomo do Ministério da Transição Ecológica e do Desafio Demográfico, atua nessas áreas por meio de investimentos em infraestrutura, apoio a empresas, capacitação profissional e projetos de restauração ambiental.

As principais linhas de ação para as ZTJ abrangem mecanismos de apoio a projetos empresariais geradores de emprego e pequenos investimentos; projetos de infraestruturas ambiental, social e digital; projetos culturais; restauração ambiental de áreas degradadas pela mineração; e concessão da capacidade de acesso à rede elétrica liberada após o fechamento de usinas termelétricas ou nucleares, permitindo sua ocupação por novas usinas de energia renovável.

Para orientar a seleção e priorização dos projetos nas ZTJ, foram estabelecidos critérios de priorização, com destaque para iniciativas voltadas ao hidrogênio verde, armazenamento, comunidades energéticas, produção de biogás, redes de aquecimento e resfriamento, repotenciação e reciclagem de parques eólicos, além de outros projetos inovadores em energias renováveis (Espanha, 2025).

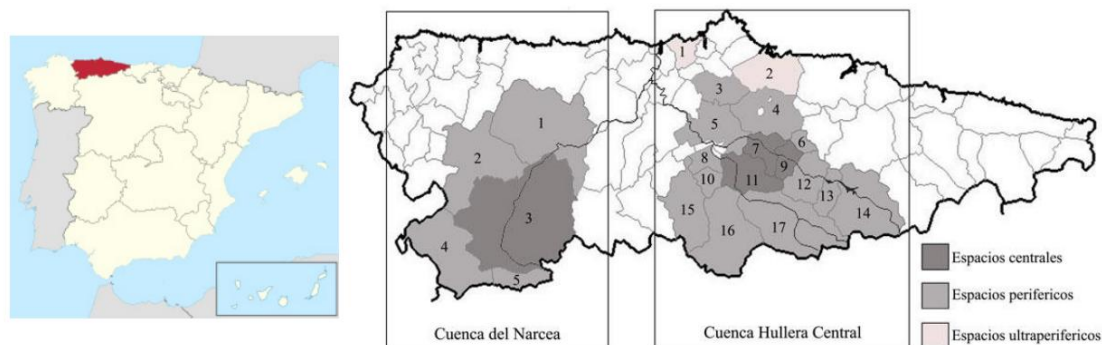
Em 2025, estavam em vigor medidas de apoio para 15 ZTJ, abrangendo 197 municípios em 8 Comunidades Autônomas. Todas as zonas passaram por um processo de avaliação econômica, submetido à participação pública e à análise externa. Foram conduzidos processos participativos que envolveram mais de 1.700 partes interessadas e resultaram na coleta de mais de 2.600 ideias e propostas. Entre os atores envolvidos estão empresas, sindicatos, administrações municipais, instituições acadêmicas e associações sem fins lucrativos e foram estabelecidas estruturas específicas de participação voltadas para jovens e mulheres. As propostas recebidas são avaliadas quanto à sua viabilidade econômica, social e ambiental, e as iniciativas consideradas mais adequadas recebem apoio técnico para captação de recursos e implementação. Entre as fontes de financiamento para as ZTJ estão o Fundo Europeu de Transição Justa, o Plano de Recuperação, Transformação e Resiliência e o Orçamento Geral do Estado (Instituto para la Transición Justa, 2025).

3.11.2. Estudo de Caso: Asturias

Asturias é uma região situada na costa norte da Espanha (Figura 21), com população de cerca de 1 milhão de pessoas e taxa de desemprego de 14,6% em 2016, mas atingindo 47% para homens abaixo dos 25 anos. A economia do local foi tradicionalmente dominada pelo carvão, que passou por períodos de altos e baixos desde a metade do século XX. Como resultado, o valor adicionado bruto da região passou a ser dominado pelo setor de serviços (cerca de 70%), seguido

da indústria (com 16%). Dentre as 19 regiões da Espanha, em 2015 o PIB per capita de Asturias estava em 13º lugar, com cerca de EUR 20 mil.

Figura 21. Localização de Asturias e de suas minas de carvão



Fonte: IISD, GSI (2017a)

O caso de Asturias se destaca por dois elementos: a reestruturação da indústria através de um conjunto de pacotes de reformas e, de modo mais específico, os planos de aposentadoria antecipada aplicáveis aos trabalhadores do setor carvoeiro. Cabe destacar que um dos principais motivadores para o desenvolvimento das reformas foi a entrada da Espanha na União Europeia, em 1986, que tornou a competição das indústrias espanholas (naquele momento, principalmente focada em mineração, siderurgia, armamento e estaleiros) difícil em mercados internacionais sem a presença de subsídios. A Tabela 1 apresenta um resumo desses planos, todos financiados pelo orçamento espanhol.

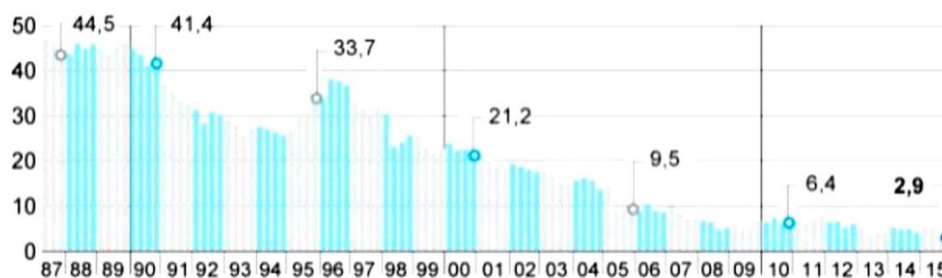
Tabela 1. Resumo dos planos de reestruturação do setor carvoeiro na Espanha

Plano	Mudança no número de empregos	Mudança na produção (em toneladas)	Custo (em milhões de euros)	Áreas de apoio
Plano de Reorganização do Carvão (1990-93)	-6.169	-900.116	4.689	• Aposentadoria antecipada e planos voluntários de demissão • Compensações pela redução de oferta de carvão
Plano de Modernização, Racionalização, Reestruturação e Redução de Atividade da Indústria do Carvão (1994-97)	769	427.000	4.275	• Apoio direto e indireto às empresas mineradoras para aumento de produtividade e compensar perdas • Aposentadoria antecipada e planos voluntários de demissão
Plano de Mineração de Carvão (1998-2005)	-16.190	-5.675.271	9.426	• Aposentadoria antecipada e planos voluntários de demissão • Compensações pela redução de oferta de carvão
Plano Nacional de Reservas Estratégicas de Carvão (2006-2012) e Novo Modelo de Desenvolvimento Holístico e Sustentável de Regiões Mineradoras	-4.910	-5.750.000	4.987	• Apoio direto e indireto às empresas mineradoras para aumento de produtividade e compensar perdas • Aposentadoria antecipada e planos voluntários de demissão • Apoio a projetos ambientais e de investimento tecnológicos
Plano de Ação para Mineração de Carvão e Regiões Mineradoras (2013-2018)	-2.222 (planejado)	-672.593 (planejado)	n/a	• Apoio direto para compensar perdas de produção • Apoio excepcional incluindo aposentadoria antecipada, planos de demissão voluntária e mitigação do impacto ambiental

Fonte: IISD, GSI (2017a)

Como apresentado na Tabela, as reformas se concentram na redução dos postos de trabalhos e aumento de competitividade, sobretudo através de programas de aposentadoria antecipada e demissão voluntária. A partir da visão de que os setores industriais de Astúrias não conseguiriam evitar o declínio frente à baixa competitividade nos mercados, a aposentadoria antecipada na região é cerca do dobro da média nacional, com metade desses sendo trabalhadores associados à mineração de carvão. Como resultado, o número de trabalhadores nesse setor caiu rapidamente (Figura 22).

Figura 22. Evolução do número de trabalhadores no setor de mineração de carvão (1987-2015), em milhares



Fonte: IISD e GSI (2017a)

Em geral, através desses programas de aposentadoria antecipada, os beneficiários recebem um salário através da empresa mineradora até sua idade legal de aposentadoria. Cerca de metade dos trabalhadores aderiam à aposentadoria antecipada antes dos 44 anos. Um coeficiente de redução¹³ de até 50% era aplicável e o salário de pré-aposentadoria era calculado como um percentual do salário do trabalhador nos anos anteriores. A média dos pagamentos era entre EUR 1.700 e 2.500 mensais, cerca de 2 a 3 vezes o salário-mínimo nacional (de aproximadamente EUR 764, à época).

Cabe destacar que os sindicatos de trabalhadores tiveram papel relevante em Asturias - como o *Comisiones Obreras* (CCOO, um dos maiores e mais influentes da Espanha), a *Unión General de Trabajadores* e a *Unión Sindical Obrera* -, inclusive exercendo influência política sobre a introdução de medidas de mitigação de impactos sobre os trabalhadores e a introdução dos planos de aposentadoria.

Ademais, a Hunosa, única empresa carvoeira estatal na Espanha criada em 1967, também exerceu papel relevante nas reformas, uma vez que absorveu diversas empresas privadas de mineração em Asturias que previam o encerramento das atividades em função dos elevados custos operacionais. Assim, o sucesso da implementação das reformas se deu por uma atuação conjunta e coordenada do governo, sindicatos e a Hunosa.

Em síntese, o programa de aposentadoria antecipada permitiu a proteção da economia local dos impactos da redução do emprego no setor de mineração, de modo que o PIB per capita de Astúrias, em 2015, estava bem próximo ao nível médio da Espanha. Por outro lado, algumas críticas se estabeleceram a essa política: os salários médios eram relativamente altos, desincentivando a transição dos trabalhadores para outros setores; efeitos migratórios relevantes foram observados em comunidades mineradoras tradicionais; e a concessão de auxílio financeiro para criação de empresas fora do setor de mineração não promoveu investimentos de longo prazo, uma vez que as empresas fechavam tão logo os subsídios expirassem. Assim, o caso da Espanha demonstra que os planos de aposentadoria antecipada devem ser uma medida de médio prazo e devem ser acompanhados por

¹³ Os coeficientes de redução são fatores aplicados para reduzir o número de anos necessários para obter a aposentadoria oficial. No caso dos mineradores de carvão, o fator foi de até 50%, o que significa que cada ano trabalhado no setor contaria o dobro para alcançar o status de aposentadoria.

um conjunto de políticas adicionais para apoiar os aposentados precocemente e evitar a emigração, a exclusão social e incentivar a criação de empregos em médio e longo prazo.

Além da aposentadoria antecipada, várias outras medidas foram usadas para promover a diversificação e fomentar o emprego nas regiões de mineração. Essas medidas incluíram subsídios para a criação de novas empresas, treinamento profissional e incentivos para projetos de P&D e ambientais, especialmente aqueles voltados para a melhoria do desempenho operacional do setor de carvão. Assim, a transição das antigas regiões mineradoras foi apoiada pelo governo federal espanhol e coordenada pelas instituições regionais. As medidas de desenvolvimento econômico incluem investimentos em infraestrutura de transporte, como a construção de estradas, e a construção de parques industriais.

Como exemplo, a transformação de Hunosa foi baseada em sua experiência em recursos naturais, iniciando negócios relacionados a serviços de consultoria em mineração, transformando antigas minas em museus e expandindo para áreas relacionadas à mineração, como o desenvolvimento de energias geotérmica e de biomassa. Nesse sentido, a Hunosa desenvolveu o projeto do maior sistema de aquecimento distrital geotérmico da Espanha, através da transformação da antiga mina de carvão de Barredo. A empresa enfrentava custos altos de manutenção do bombeamento de água de poços inativos, para evitar inundações. Após estudo, identificou-se que havia potencial na exploração do uso geotérmico da água da mina. Com o projeto, bombas de calor são usadas para fornecer aquecimento e água quente para as residências da região. O projeto teve sua primeira fase iniciada em 2006, fornecendo energia para o Hospital Vital Álvarez Buylla e um edifício de pesquisa da Universidade de Oviedo. Em 2016, uma terceira instalação foi adicionada na sede da Fundação Energética das Astúrias. O investimento total foi de cerca de EUR 1,5 milhão, somando uma potência de 4MWt. A partir dos resultados, a empresa tem expandido os planos de instalações geotérmicas, com perspectiva de uso de fundos europeus (RASO, 2020).

Para a exploração florestal dos quase 4 mil hectares de antigas minas a céu aberto, áreas arborizadas e pastagens sob propriedade da empresa, estão sendo desenvolvidos os planos de manejo e planos técnicos correspondentes. Uma análise da rota de produção de biomassa mais adequada à região está sendo conduzida em uma área de 36 hectares. Além disso, a empresa tem focado na hibridização da Termelétrica La Pereda, projetada para operar com combustíveis de baixo poder calorífico. Isso permitiu desenvolver, por meio do projeto "Pellet in", os testes necessários para queimar biomassa combinada com resíduos de minas e carvão. Além disso, a empresa está desenvolvendo um novo modelo para hibridização das redes de aquecimento distritais, incluindo biomassa para aumentar sua potência (HUNOSA, s.d.).

3.12. Chile

No Chile, o carvão representou 11% da capacidade total instalada na geração de energia elétrica bruta, em 2023, representando uma queda de 12% em relação a 2013 (CHILE, 2024). A parcela do consumo de energia primária proveniente do carvão foi 10%, em 2023. Adicionalmente, ele respondeu por 15,8% do total de energia elétrica produzida, em 2024, com trajetória de queda desde 2013 quando representava 41%. O país tem um perfil importador desse energético, considerando todos os usos na economia, desde meados da década de 1980 (IEA, 2025). Porém, o consumo do carvão tem sido continuamente decrescente, desde 2021, com a sua participação caindo 63% no consumo final de energia em 2023, em comparação a 2022 (CHILE, 2024).

O setor energético é responsável por 77% das emissões de gases de efeito de estufa do país, sendo a geração de energia a carvão a principal contribuinte, representando 25% das emissões do setor (CHILE, 2018). Neste contexto, o Governo propôs iniciar o processo de descarbonização da rede elétrica do país, o que foi reforçado com a publicação da Lei-Quadro das Alterações Climáticas em 2022, que estabelece o compromisso de atingir e manter a neutralidade das emissões de GEE até 2050. Assim, em junho de 2019, foi acordado, com as empresas, um plano voluntário e vinculativo para a desativação ou conversão de centrais elétricas a carvão.

Na época, aproximadamente 40% da eletricidade do Chile era fornecida pelas 28 unidades de energia a carvão em operação no país, que tinham uma capacidade combinada de 5.541 megawatts (MW), alimentadas principalmente por carvão importado. O plano original do governo previa o desligamento de oito unidades, totalizando 1.069 MW, até 2024, o que foi alcançado até meados do ano, com o restante tendo previsão de desativação entre 2025 e 2040 (GEM, 2025b).

O compromisso climático de Paris do Chile, estabelecido na revisão de 2020 da sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), exige que o país alcance a neutralidade de carbono até 2050 e o desligamento de seu parque termelétrico de carvão será crucial para esse esforço.

Em 2021, o Chile teve três importantes marcos para a eliminação do carvão. Em setembro, no âmbito da ONU, o Chile participou da coalizão de governos nacionais que lançou o Pacto Sem Nova Energia a Carvão (*No New Coal Power Compact*)¹⁴, com o compromisso de suspender a autorização para novas UTEs a carvão e encerrar a construção de novas usinas até o final de 2021. O Chile também aderiu à Aliança "Energizando o Carvão Passado" (PPCA), comprometendo-se a tomar medidas significativas para antecipar o prazo de eliminação gradual de 2040. O País também é signatário da Declaração de Transição do Carvão Global para Energia Limpa, anunciada na conferência COP 26 em Glasgow, que é um compromisso de acabar com os investimentos em carvão, expandir a energia limpa, fazer uma transição justa e eliminar o carvão até a década de 2030 nas maiores economias do mundo, e até a década de 2040 nos outros países.

Em 2021, também foi publicado pelo Ministério de Energia a *Estrategia de Transición Justa en el sector Energía, Parte I: Acompañando el cierre y nuevos usos de centrales a carbón en Chile*, primeira versão da estratégia de transição justa, com foco no acompanhamento do plano de fechamento das centrais a carvão. A previsão é que as usinas a carvão deixarão de fornecer, com dados de 2018, 4.390 empregos diretos e quase 9.500 indiretos. No entanto, existe a estimativa de criação de mais de 43.000 novos empregos em projetos de energia renovável, incluindo aqueles durante as fases de construção e operação, bem como considerando apenas regiões com UTEs a carvão. Esse número poderia aumentar com a inclusão do potencial de criação de empregos da indústria do hidrogênio verde e toda cadeia de valor associada. Porém, a mudança de empregos do setor de carvão para energias renováveis demandará formação profissional, desenvolvimento de habilidades e competências.

O *Plan de Retiro y/o Reconversion de Unidades a Carbón* foca especificamente no processo efetivo do descomissionamento planejado de usinas termelétricas a carvão até 2040, com uma primeira fase para o ano de 2024, apresenta também o contexto histórico do carvão no país e resultados esperados (CHILE, 2020).

¹⁴ <https://www.un.org/en/energycompacts/page/no-new-coal-compact>

3.12.1. Planos governamentais para TEJ

Uma parte importante do documento *Estrategia de Transición Justa en el sector Energía, Parte I: Acompañando el cierre y nuevos usos de centrales a carbón en Chile*, trata do plano de trabalho, que reconhece as múltiplas oportunidades para uma economia de baixas emissões e resiliente ao clima. Nesse plano existe, também, o compromisso com a facilitação das condições para a promoção de novos investimentos e tecnologias aderentes às vocações produtivas dos diferentes territórios, através de instrumentos de promoção, inovação e economia circular, que permitam a reativação econômica das comunidades e setores envolvidos no processo de fechamento e/ou novos usos dos espaços e infraestruturas das UTEs a carvão. Algumas diretrizes e ações relevantes do plano estão relacionadas a seguir:

- Realizar análises sobre a oferta e demanda de mão-de-obra nos territórios envolvidos;
- Promoção de um plano de empregabilidade com enfoque de gênero, criando empregos diretos, com empresas energéticas e não energéticas, considerando o contexto das comunidades;
- Promover fontes de emprego para a população afetada pelo fechamento de usinas a carvão, por exemplo, por meio de feiras de emprego nessas comunas;
- Propor mecanismos de incentivo à contratação local e micro, pequena e média empresas em licitações públicas quando for o caso;
- Estabelecer um plano de intermediação laboral com empresas locais e municípios onde os trabalhadores das empresas envolvidas possam ser realocados;
- Incentivar meninas e adolescentes a seguir carreiras relacionadas ao desenvolvimento de energias limpas e renováveis e hidrogênio verde, por meio dos programas do Ministério de Energia;
- Analisar mecanismos técnicos e/ou regulatórios para evitar aumentos significativos nas tarifas de eletricidade dos clientes regulados nas comunas onde ocorrem fechamentos de usinas a carvão;
- Adotar as medidas necessárias nos instrumentos e programas do Ministério da Energia com o objetivo de promover a participação da população das comunas atingidas com o fechamento de usinas a carvão, mantendo suas condições e demandas;
- Identificar as pessoas afetadas mais vulneráveis em cada território envolvidas no fechamento de usinas a carvão, a fim de mantê-las no foco dos programas de apoio do Estado, bem como identificar outros efeitos sociais indesejados no território, para propor medidas de mitigação em benefício dessas pessoas;
- Analisar, com as informações disponíveis, iniciativas de investimento público e privado com ênfase em projetos sustentáveis que favoreçam a equidade de gênero, que contribuam para a criação de empregos, desenvolvimento e necessidades das comunas;
- Identificar e avaliar incentivos econômicos, como empréstimos bonificados, subsídios e assistência técnica, que promovam investimentos em atividades ou empreendimentos de triplo impacto (impactos sociais, econômicos e ambientais positivos).
- Enfatizar financiamento em inovação, encadeamento produtivo e economia circular.
- Desenvolvimento de programas de incentivo a pequenos empreendimentos locais, com enfoque em gênero e grupos vulneráveis.
- Avaliar, para empresas detentoras de usinas termelétricas a carvão, modificações tributárias para contribuir na implementação de atividades estabelecidas nos planos de ação locais pactuados nos territórios envolvidos.

- Identificar e tornar visíveis regulamentações e licenças por meio de uma plataforma de consulta aberta que oriente e facilite o fechamento de usinas ou novos usos.
- Identificar barreiras regulatórias que impeçam o avanço em direção a novos usos, propondo modificações consistentes com as diretrizes internacionais.
- Avaliar, por meio de processos regulatórios do Ministério do Meio Ambiente, os instrumentos mais adequados para promover níveis de referência para a qualidade do solo nas instalações.
- Oferecer um novo portal do cidadão com informações mais claras, simples e acessíveis à comunidade sobre a qualidade do ar nas comunidades onde as unidades geradoras a carvão serão fechadas.
- Realizar a coleta de dados sobre a qualidade da água e dos sedimentos em baías prioritárias para o desenvolvimento de padrões secundários de qualidade ambiental. Promover análises de prevenção ambiental para baías prioritárias, conforme apropriado, por meio do Ministério do Meio Ambiente.
- Identificar alternativas para novos usos dos espaços e da infraestrutura das usinas, para outros usos energéticos e não energéticos (como por exemplo o desenvolvimento de H2 verde, plantas dessalinizadoras de água, armazenamento de energia, entre outros), possibilitando o desenvolvimento social, ambiental e econômico, além da criação de oportunidades de emprego nas áreas que seguem um modelo de economia circular.
- Avaliar ações de regeneração urbana das cidades envolvidas na Estratégia de Transição Justa, focando programas do Estado nos ambientes das infraestruturas, dando-lhes um novo sentido e papel na cidade, melhorando sua inserção territorial e dando conta da história dessas instalações, sua incidência na cultura e desenvolvimento da cidade e das pessoas com o propósito de impulsionar processos de regeneração urbana sustentáveis. Dentro dos instrumentos/programas de desenvolvimento urbano destacam-se: a) Programa “*Quiero mi Barrio*” que tem como objetivo potencializar os espaços públicos e os ambientes urbanos das famílias afetadas mais vulneráveis. b) Programa de Conservação de Parques Urbanos para construção de novos parques urbanos.
- Analisar mecanismos técnicos e/ou regulatórios para evitar aumentos significativos nas tarifas de energia elétrica para clientes regulados em municípios onde ocorrem fechamentos de UTEs a carvão.
- Estabelecer um modelo de governança inclusivo e representativo das diversas partes interessadas associadas ao fechamento e/ou novos usos de espaços e infraestrutura de UTEs a carvão na região.
- Estabelecer um programa permanente de comunicação e divulgação de ações e assuntos relacionados à transição justa no setor energético, que facilite o acesso aberto, a troca e o monitoramento das informações geradas nas regiões envolvidas, de forma transparente, clara e tempestiva.
- Promover o monitoramento de planos de ação locais que incorporem uma perspectiva de gênero, estabelecendo prazos, indicadores de monitoramento, responsáveis e prazos de execução.
- Identificar e direcionar programas e fundos públicos e privados para apoiar a implementação da estratégia em nível local.
- Identificar políticas e outras iniciativas que permitam ações conjuntas para avançar em direção a uma transição justa.
- Construir alianças com especialistas para ajudar a monitorar o progresso da transição justa em nível empresarial e nos planos de ação locais.

- Promover medidas para implementar os acordos assinados em relação à colaboração internacional, como, por exemplo, a *Powering Past Coal Alliance*.
- Promover iniciativas de hidrogênio verde em regiões onde unidades geradoras a carvão estão sendo fechadas.

Cabem destaque algumas ações relacionadas especificamente aos trabalhadores no setor do carvão. Verificou-se que o Ministério da Economia, do Desenvolvimento e do Turismo, serão os responsáveis por implementar programas de apoio ao empreendedorismo dos trabalhadores nas comunidades onde as unidades geradoras serão fechadas. Também será desenvolvido um plano de formação e acompanhamento para a reconversão profissional e a reinserção profissional, para apoiar os indivíduos afetados e promover a recolocação profissional ou a reconversão profissional dos trabalhadores (incluindo o empreendedorismo em áreas diversas, como a gastronomia e a agricultura familiar).

Ainda nesse tema do trabalho, o estudo *Elaboración línea de base socioeconómica para construir planes locales de TJ en el sector energía que acompañe el retiro de centrales a carbon en Chile*, de 2022, teve como objetivo fornecer informações quantitativas que permitam caracterizar os desafios e oportunidades laborais, sociais e territoriais para a transição energética com meta de carbono neutro no ano 2050 no Chile, enfocando o processo de descarbonização da matriz de geração elétrica. Nesse trabalho foi realizada uma análise da oferta e demanda trabalhista nos territórios afetados, tanto em nível comunitário, provincial e regional. Essa análise buscou identificar as competências e o nível de capacitação atual dos trabalhadores diretos e indiretos afetados e as necessidades atuais ou futuras associadas a projetos de mudanças na estrutura produtiva no território. Foi avaliada a quantidade e o tipo de empregos que podem ser gerados, seus perfis laborais, para identificar as necessidades de capacitação, reconversão e formação ou certificação de competências laborais que são exigidos no território. Também foi desenvolvida uma proposta de implementação de ações concretas em matéria de capacitação ou formação de capital humano das pessoas que vivem nos territórios das regiões centrais do carbono, com o fim de apoiar os/as trabalhadores/as, suas famílias e a comunidade compreendida na região de fechamento das centrais de geração a carvão. Por fim, foi apresentada uma proposta de segmentação da população, identificando quem são os mais vulneráveis em cada território visando identificar quem pode ser capacitado e assim propor ações focadas e diferenciadas.

Com relação à participação social, foram realizados três tipos de workshops participativos: workshops locais voltados para sindicatos de trabalhadores de UTEs a carvão; workshops locais para membros da sociedade civil que vivem nas comunidades onde as UTEs a carvão estão localizadas; e workshops abertos ao público em geral, com a participação de ONGs, sindicatos de trabalhadores portuários, associações comerciais, representantes acadêmicos, representantes do setor público, organizações internacionais e empresas, entre outros. Também foi realizada uma consulta pública sobre a proposta de Estratégia de Transição Justa para o setor energético. Na Parte I da consulta pública focou-se no apoio ao fechamento e/ou novos usos de UTEs a carvão no Chile, com o objetivo de coletar comentários e opiniões de todas as partes interessadas. Foram recebidos mais de 165 comentários de 12 instituições: empresas termelétricas a carvão, associações comerciais, sindicatos de trabalhadores, ONGs e empresas de consultoria, sendo 44 % dos participantes mulheres e 56% homens. Verifica-se que na implementação e monitoramento da estratégia são definidos dois níveis de governança: de gestão, composto por um Comitê Interministerial e técnico estratégico para implementação, monitoramento e acompanhamento, coordenado por uma Secretaria Técnica que poderá convocar grupos de trabalho com diversas partes interessadas envolvidas no processo, permitindo a participação direta dos trabalhadores afetados. Essa estrutura orientará o desenvolvimento de planos

de ação locais a serem implementados nos territórios envolvidos, utilizando uma abordagem participativa e inclusiva que promova uma transição justa, disponibilizando ferramentas e meios que garantam a proteção do meio ambiente, dos territórios, a reinserção profissional e a requalificação profissional e, em geral, o bem-estar das pessoas ao longo do tempo.

Na governança, o Comitê Interministerial será composto de forma permanente pelos Ministérios de Energia, do Meio Ambiente, do Trabalho e Previdência Social, da Economia e do Turismo. Ele manterá estreita coordenação com outros órgãos da administração estadual para fortalecer as ações voltadas ao cumprimento da estratégia e dos planos de ação locais. Por sua vez, a Secretaria Técnica, liderada pelo Ministério da Energia, também será composta pelo Ministério do Trabalho, Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Economia poderá convocar grupos de trabalho com diversas partes interessadas e será responsável pela coordenação, implementação, monitoramento e acompanhamento da estratégia e dos planos de ação locais.

A Estratégia para uma Transição Justa estabelece que as pessoas são o pilar e a proteção dos trabalhadores afetados pelo fechamento das UTEs a carvão deve ser prioritária, razão pela qual há ações concretas em conjunto com as partes interessadas diretamente afetadas pelo encerramento das centrais elétricas a carvão. Para a implementação e acompanhamento da estratégia, é definida uma governança em dois níveis, um nível diretivo elaborado por um Comitê Interministerial e de nível estratégico técnico de implementação, acompanhamento e monitoramento, coordenado por uma Secretaria Técnica que poderá convocar mesas de trabalho com diversos atores envolvidos no processo. Os participantes das mesas de trabalho poderão apresentar propostas, colaborar na implementação e monitorar um plano de medidas para a reintegração ou reconversão profissional dos trabalhadores diretamente afetados pelo encerramento das centrais elétricas a carvão (trabalhadores das UTEs e trabalhadores portuários que exercem atividades com carvão, por exemplo). Serão convidados para estas mesas representantes dos trabalhadores, das empresas, do Ministério da Energia e do Ministério do Trabalho e Segurança Social, que coordenarão as ações. Para garantir um observador externo neutro, poderão ser convidados representantes de organizações internacionais relacionadas para apresentar as suas experiências. Por fim, destaca-se o plano de empregabilidade com perspectiva de gênero, com o objetivo de criar empregos diretos em empresas energéticas e não energéticas, adequados ao contexto de gênero e da comunidade.

No tema relacionado a financiamento e novos investimentos destaca-se:

1. Diretriz específica de facilitação e coordenação do financiamento de políticas setoriais e iniciativas privadas que visa identificar e direcionar programas, fundos públicos e privados, nacionais e internacionais, que apoiem a implementação da Estratégia para uma Transição Justa em nível local (FNDR e Fundo Regional de Inovação para a Competitividade, mecanismos de dívida, Fundo Verde para o Clima, Instituto Global de Crescimento Verde (GGGI), Parceria para Ação na Economia Verde (UN-Page), CTCN, Invest Chile, Centro de Inovação e Economia Circular da Macrozona Norte, entre outros.
2. Diretriz importante refere-se à novos investimentos em territórios envolvidos no fechamento e/ou novos usos de espaços e infraestrutura essenciais para o carbono que inclui como ações de destaque:
 - 2.1. analisar iniciativas de investimento público e privado com ênfase em projetos sustentáveis;
 - 2.2. identificar e avaliar incentivos econômicos, como empréstimos bonificados, subsídios e assistência técnica, que promovam investimentos em atividades ou empreendimentos com impactos amplificados localmente;
 - 2.3. avaliar modificações tributárias de incentivo para empresas termelétricas a carvão.

Por fim, no tema relacionado a impostos e precificação de carbono, a Lei 20.780/2014, artigo 8 estabeleceu um imposto anual para benefícios fiscais, conhecido como imposto verde. Esse imposto é cobrado sobre as emissões atmosféricas de material particulado (MP), óxido de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO2) e dióxido de carbono (CO2) produzidos por estabelecimentos que têm uma capacidade maior ou igual a 50 MWt. A lei está em vigor desde 2017, permitindo o desenvolvimento de sistemas de monitoramento, relatórios e verificação, bem como a supervisão associada ao pagamento do imposto verde. Posteriormente, através da modernização da legislação tributária introduzida pela Lei 21.210 em fevereiro de 2020, o fato gerador foi modificado, tornando-o condicionado à superação de um limite anual de emissões (e não à capacidade instalada). Também foi possível verificar a meta 7 relacionada a conceber e promover a utilização de instrumentos econômicos, incorporando melhorias, para acelerar a transição energética em consonância com os objetivos climáticos e as medidas cientificamente obrigatórias, a meta 7.1 que entre 2025 e 2030 define uma trajetória para aumentar o preço do carbono até 2050 e a meta 7.2 a qual até 2030 estabelece um sistema abrangente e eficiente de instrumentos de precificação de carbono e outras externalidades, que podem incluir impostos sobre emissões e utilização de combustíveis fósseis, complementados por mecanismos de mercado ou outros instrumentos avaliados como eficientes até essa data, que forneçam sinais econômicos coerentes e previsíveis.

O terceiro documento, *Plan de Retiro y/o Reconversion de Unidades a Carbón*, de 2020, focado no processo efetivo de descomissionamento das UTEs, apresenta como principais recomendações: a comunicação com antecipação às comunidades afetadas sobre a intenção de fechamento das centrais; que as empresas realizem uma definição antecipada de metas e objetivos para o local onde estão situadas e realizem uma análise ambiental prévia no local para identificação dos impactos que precisem ser remediados; convocar grupos de distintos setores que devem ser atingidos e assessorar os estudos para pesquisa de usos alternativos das infraestruturas existentes; que os municípios desenvolvam planejamento socioeconômico aderente ao território; definição de limites de responsabilidade entre a empresa o fechamento e a que restaura o local. No âmbito das ações, merecem destaque o diagnóstico e quantificação detalhada da força de trabalho afetada de maneira direta; a caracterização dos perfis e competências laborais; levantamento de potencialidades e oportunidades de trabalho em novos projetos de investimento nas localidades afetadas; identificação das competências profissionais que precisam ser desenvolvidas para garantir a recolocação laboral; identificação de outros programas governamentais ou iniciativas vigentes de desenvolvimento local já existentes e com sinergias para os novos investimentos (CHILE, 2020).

3.12.2. Estudo de Caso: Tocopilla e Huasco

Em 2018, o governo Chileno inaugurou um processo formal para descarbonização dos seus sistemas de energia estabelecendo um acordo com as empresas detentoras de plantas a carvão, focado em três elementos (CHILE, 2021):

- i. as empresas se comprometeram a não desenvolver novas usinas a carvão sem captura e armazenamento de carbono ou outras tecnologias equivalentes a partir dessa data;
- ii. a criação de um grupo de trabalho para analisar, no contexto da Política Energética 2050, os elementos tecnológicos, ambientais, sociais, econômicos, de segurança e de suficiência de cada usina e do sistema elétrico como um todo, entre outros, para estabelecer um cronograma e as condições para a desativação programada e gradual da operação de usinas

- a carvão que não possuam sistemas de captura e armazenamento de carbono ou outras tecnologias equivalentes; e
- iii. o Ministério da Energia coordenará esse grupo de trabalho, para o qual serão convidadas todas as instituições relevantes nesse processo.

Quadro 4. Instituições participantes do grupo de trabalho

Categoria	Instituições
Empresas do setor elétrico	Engie, ENEL, AES Gener, Colbún
Setor público	Ministério de Energia, Comissão Energética Nacional, Ministério de Meio Ambiente
Associações industriais	Associação de Geradores Chilenos (AGC)
Consumidores	Conselho de Mineração, Asociación de Clientes Eléctricos No Regulados (ACENOR), Organización de Consumidores e Usuarios (ODECU)
Academia	Pontificia Universidade Católica, Universidade Adolfo Ibañez
ONGs	WWF Chile, Casa de La Paz, Chile Sustentable
Sociedade Civil	Sindicato Central dos Trabalhadores do Carvão, Conselho da Sociedade Civil do Ministério de Energia
Municípios	Tocopilla e Coronel
Organizações Internacionais	GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
Instituições Independentes	Coordinador Eléctrico Nacional

Fonte: Adaptado de GIZ (2021)

O processo teve ênfase também na avaliação do uso eficiente da infraestrutura associada às usinas, como portos e redes de transmissão. Para tanto, uma avaliação das possibilidades de reconversão foi proposta, considerando os impactos ambientais, sociais e econômicos. O resultado, sumarizado na Tabela 2, foi uma avaliação de alternativas técnicas no que tange à impactos nas emissões de CO₂, flexibilidade operacional, custo de investimento e efeitos sobre o emprego.

Tabela 2. Resumo das alternativas de reconversão ou uso da infraestrutura associada ao carvão

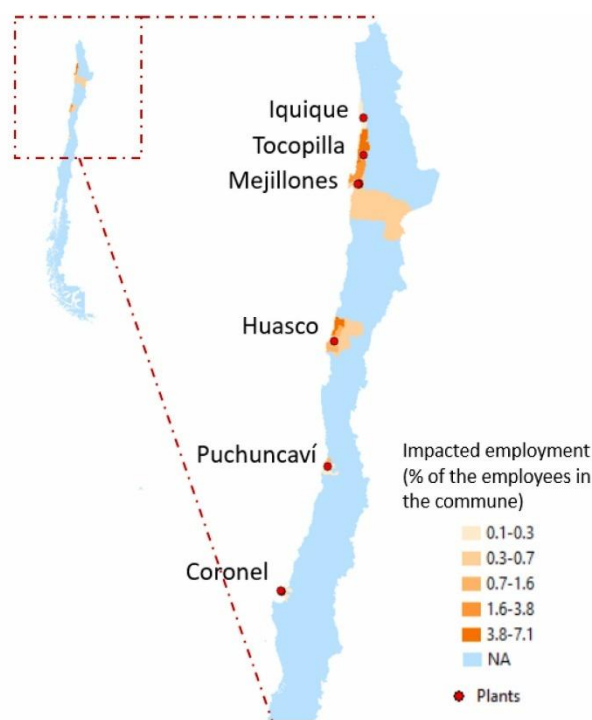
Alternativas	Emissões de CO ₂	Flexibilidade operacional	Custo de investimento	Impactos no emprego
Opções para conversão total ou parcial para outro combustível				
Conversão para gás natural	↓ ↓	↑ ↑	50-231 [kUSD/MW]	Leve redução
Conversão parcial para gás natural	↓	↑ ↑	5-10 [kUSD/MW]	Neutro
Conversão para biomassa florestal	↓ ↓ ↓	↓	473-1,213 [kUSD/MW]	Neutro
Co-firing com gás natural	↓	↓	54 [kUSD/MW]	Neutro
Co-firing com biomassa florestal	↓	↑	537 [kUSD/MW]	Neutro
Opções para uso da infraestrutura				
Encerramento e desmobilização da usina	↓ ↓ ↓	Não aplicável	36-62 [kUSD/MW]	Redução
Unidade de reserva estratégica	↓ ↓ ↓	Não aplicável	25-33 [kUSD/MW]	Redução
Incineração de resíduos sólidos municipais	↓	↓ ↓ ↓	7,000-11,000 [kUSD/MW]	Redução

Substituição do motor a gás	↓	↑ ↑ ↑	1,300 [kUSD/MW]	Redução
Dessalinização da água do mar	Neutro	Neutro	1.2-2.8 [kUSD/MW]	Redução
Opções de conversão da usina incluindo sistemas de captura de CO₂				
Adaptação com captura de carbono	↓ ↓ ↓	↓ ↓	4,308-10,135 [kUSD/MW]	Aumento
Hidrogênio e cogeração de eletricidade	↓ ↓ ↓	Desconhecido	2-2.3 [kUSD/MW]	Aumento
Uso da infraestrutura não associada à caldeira				
Sistemas de armazenamento de baterias	↓ ↓ ↓	↑ ↑	352-578 [kUSD/MWh]	Redução
Sistema de armazenamento de ar comprimido	↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑	1,500-3,000 [kUSD/MW]	Redução
Armazenamento térmico usando sal fundido	↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑	30 [kUSD/MW]	Redução

Fonte: Adaptado de GIZ (2021)

A partir do contexto nacional analisado na seção anterior e da avaliação de alternativas apresentada acima, alguns caminhos para reconversão das usinas e minas e de transição regional já podem ser observados nas regiões. Dois casos se destacam na análise: Tocopilla e Huasco. Em uma análise dos impactos das plantas de carvão no emprego das comunas, Feng *et al* (2023) identificou que Tocopilla e Huasco eram as comunas mais impactadas, com as usinas a carvão representando 6,8% e 4,4% dos seus empregos, respectivamente (Figura 23). Apesar dessa similaridade, as regiões têm enfrentado processos de transição bastante diferentes.

Figura 23. Localização das usinas a carvão no Chile e impacto estimado no emprego das comunas



Fonte: FENG *et al* (2023)

A comuna de Tocopilla está localizada no setor norte da região de Antofagasta e tem uma área de 4.038,8 km², o que representa 3,2% da superfície regional. A comuna de Tocopilla tem uma população de 25.186 pessoas de acordo com o Censo de 2017, das quais 12.705 são mulheres (50,4%) e 12.481 são homens (49,6%). Observa-se também que a maior parte da população reside em áreas urbanas, com a cidade de Tocopilla respondendo por 98% da população comunal. O restante da população está concentrado em 16 cidades rurais costeiras ao longo da costa de Tocopilla. Em relação à caracterização socioeconômica da população, 10,9% das pessoas estão em situação de pobreza monetária, um número que aumenta consideravelmente se forem considerados os indicadores que compõem a categoria de pobreza multidimensional (educação, saúde, trabalho, seguridade social, moradia, meio ambiente e redes de apoio), chegando a 23,1% da população de Tocopilla. Em contraste, na região de Antofagasta, 5,1% da população está em situação de pobreza monetária e 16,4% em pobreza multidimensional, o que deixa Tocopilla bem acima dos valores regionais (CHILE, 2023).

Como já apresentado, Tocopilla conta com dois complexos termelétricos a carvão: Tocopilla e Nueva Tocopilla. A Engie, responsável pelas usinas de Tocopilla e Mejillones, desenvolveu um plano de transição justa para as usinas. O complexo de Tocopilla era composto por termelétricas a carvão e gás, além de uma unidade de dessalinização e um porto. As unidades a carvão foram descomissionadas em 2022 (Figura 24), e o processo envolveu a criação de um Comitê de Trabalho de Transição Energética em janeiro de 2019, para promover a empregabilidade e a mobilidade interna dos 90 funcionários afetados. Um terço dos funcionários foi treinado para novos empregos, com um total de 14.000 horas de treinamento divididas em 267 sessões. As aulas abrangeram operações de estações de tratamento de água, montagem e manutenção de painéis fotovoltaicos, manutenção de turbinas eólicas e empreendedorismo. Outro terço foi beneficiado por aposentadoria antecipada e o último terço por demissão voluntária com um plano especial. Já no complexo de Mejillones, as duas termelétricas a carvão serão descomissionadas até o fim de 2025, como previsto; e a usina IEM, de 377 MW, será convertida para gás natural até julho de 2026 (ENGIE, 2024).

Figura 24. Desativação das unidades 12 e 13 do complexo de Tocopilla

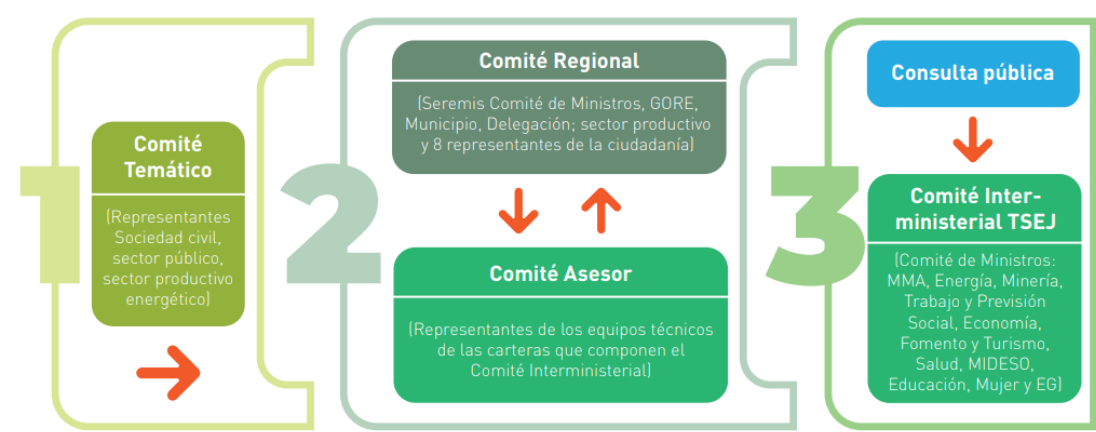


Fonte: ENGIE (2024)

Em suma, os planos de reconversão da empresa incluem projetos de baterias, com um investimento de cerca de USD 180 milhões no complexo de Tocopilla para adição de 116 MW/600 MWh de sistemas de armazenamento de lítio (ENGIE, 2025); e conversão das duas termelétricas de Andina (350 MW) para biomassa, com um investimento estimado de USD 25 milhões (BNAMERICAS, 2023).

Em dezembro de 2023, o Ministerio de Energía do Chile publicou o “*Plan de Transición Socioecológica Justa de Tocopilla*”, com o objetivo de avaliar de forma efetiva os problemas, necessidades e perspectivas para a comunidade local durante o descomissionamento das UTEs. No início do processo de participação em Tocopilla, considerou-se que, para ter um melhor conhecimento do território, era necessário realizar entrevistas com vários atores da sociedade civil. Assim, delineou-se um processo em três etapas, com quatro instâncias de participação (Figura 25).

Figura 25. Processo participativo no Plano de Tocopilla



Fonte: CHILE (2023)

O processo de elaboração do Plano de Transição Socioecológica Justa (TSEJ) de Tocopilla envolveu a participação de representantes de diferentes setores: sociedade civil, setor privado e setor público. O Comitê Temático foi convocado por meio de uma chamada pública e contou com a participação de um total de 120 pessoas, com uma média de 50 pessoas por sessão. O trabalho do Comitê Temático de Tocopilla foi realizado entre agosto e dezembro de 2022, com o objetivo de elaborar uma proposta local e cidadã com ações que permitissem avançar em direção ao bem-estar da população, restaurar o equilíbrio ecológico e promover um novo desenvolvimento produtivo na comuna. Foram realizadas cinco sessões do Comitê Temático e foram criados grupos de trabalho temáticos para elaborar diagnósticos cidadãos e abordar os vários desafios e questões de interesse levantados. O Quadro 5 apresenta uma síntese dos pontos levantados.

Quadro 5. Contribuições levantadas no Comitê Temático do Plano de Tocopilla

Eixo	Contribuições
Diagnóstico de desafios, lacunas e oportunidades	
Desenvolvimento local sustentável	• Necessidade de processo de reconversão produtiva para assegurar crescimento econômico e emprego adequado • Ausência de espaços de participação entre autoridades e cidadãos para tomada de decisões locais • Ausência de instrumentos de planejamento territorial, sobretudo em relação à área costeiro, incorporando acesso a serviços básicos (água e energia)
Saúde	• Problemas na qualidade da saúde: falta de insumos e infraestrutura • Cobertura e acesso à saúde são insuficientes • Poluição das termelétricas afeta a saúde da população

	• Alto número de casos de câncer respiratório associado à poluição
Meio ambiente	• Geração termelétrica na região causou impactos que devem ser reparados por soluções estruturais e fundos de restauração socioambiental
Capital humano e emprego	• Lacunas na capacitação de jovens, mulheres e trabalhadores do setor de carvão
<i>Linhas de ação</i>	
Desenvolvimento local sustentável	• Potencializar empreendimentos de economia circular • Foco em atividades produtivas sustentáveis (turismo, agricultura, atividades culturais, de educação e reciclagem) • Educação e capacitação local
Saúde	• Políticas públicas e sanitárias que considerem particularidade territorial • Estratégias preventivas de saúde em diversas áreas
Meio ambiente	• Ações de reparação ambiental • Turismo sustentável • Promover diálogo com diferentes atores e cidadãos em iniciativas de desenvolvimento sustentável
Capital humano e emprego	• Fomentar formação, capacitação e certificação • Fomentar novas vocações econômicas • Fortalecer seguridade social
<i>Visão de futuro</i>	
	“Tocopilla é vista no futuro pelos cidadãos como a “capital da energia verde” que, por meio de um processo de reconversão econômica da comunidade, poderá instalar projetos de H2V e aumentar os projetos de energia renovável. Dessa forma, Tocopilla se projeta como uma comunidade que aprende com sua história e consegue transformar sua realidade de uma zona de sacrifício em uma zona sustentável. Esse processo envolve a reparação ambiental e social da comunidade. Além disso, está planejado o desenvolvimento de treinamento técnico e, em particular, a criação de um Instituto de Treinamento Técnico associado ao desenvolvimento de energias verdes, à melhoria da empregabilidade e ao desenvolvimento de um corredor bioceânico, associado a uma zona franca industrial para Tocopilla.”

Fonte: CHILE (2023)

O Plano de TSEJ de Tocopilla aprofunda as ações locais associadas aos tópicos apresentados na Estratégia Nacional de Transição Energética Justa. Algumas das ações estão alinhadas com a Estratégia Nacional, no entanto, algumas das ações abrangem novas áreas não incluídas nessa Estratégia. O plano local abrange 115 ações para as quais será necessária a participação de 58 grupos de interesse. Da mesma forma que a estratégia nacional, o número de grupos de interesse envolvidos na

implementação do Plano de TSEJ de Tocopilla representará desafios para a coordenação das partes interessadas envolvidas e complexidade na execução das ações propostas. Em suma, as ações estão inseridas em quatro eixos temáticos, com algumas medidas centrais (CHILE, 2024):

i. Energia:

- a. Promover soluções eficientes para o acesso à energia, treinamento e capacitação do capital humano;
- b. Implementar e fornecer um programa de eletromobilidade, articular implementando fundos competitivos para o desenvolvimento de soluções de energia e para pequenas e médias empresas no setor energético;
- c. Promover a mudança da matriz energética nos setores produtivos, bem como nas instituições públicas;
- d. Implementar estratégias de cooperação público-privada.

ii. Meio ambiente:

- a. Elaboração de um plano de recuperação e reparação ambiental para Tocopilla;
- b. Projetar e implementar novas linhas de educação ambiental em todos os níveis de ensino das comunas;
- c. Realizar estudos ambientais para avaliar a situação dos recursos hídricos, do solo, do ar e da fauna no território;
- d. Implementar uma estratégia de comunicação que mantenha os moradores informados sobre questões ambientais da comuna.

iii. Desenvolvimento social:

- a. Identificação de problemas de saúde em nível comunal, com foco na melhoria da infraestrutura e dos serviços de saúde;
- b. Formação e capacitação em saúde comunitária;
- c. Promover espaços de educação superior vinculados ao processo de reconversão produtiva da comuna;
- d. Implementar espaços de participação cidadã para decisões informadas.

iv. Desenvolvimento produtivo:

- a. Implementar um programa de reconversão produtiva focado na nova vocação do território;
- b. Promover parcerias público-privadas de cooperação;
- c. Desenvolver estratégias de empreendedorismo e incentivo às pequenas e médias empresas (PMEs);
- d. Fortalecer o turismo como atividade produtiva;
- e. Criar linhas de apoio à reinserção no mercado de trabalho.

Nesse sentido, apesar do processo de descomissionamento recente, Tocopilla se destaca pela presença de uma política de TSEJ ampla, com ações definidas e participação de diferentes *stakeholders*, além de rápido tratamento pela empresa responsável pela usina no que tange aos empregos diretamente afetados e a utilização da área anteriormente dedicada ao carvão.

Por outro lado, Huasco, cidade portuária localizada na região do Atacama, com cerca de 11 mil habitantes principalmente dependentes da pesca e agricultura, tem sido considerada uma das “zonas de sacrifício” do Chile – termo utilizado em áreas de atividade industrial concentrada, com danos ambientais que resultaram em impactos econômicos e de saúde para os residentes locais. Huasco possui um complexo de usinas a carvão na região, com capacidade instalada total de 760 MW. Além disso, a zona industrial também conta com planta de pelotas de minério de ferro movida a carvão

(Figura 26), operada pela empresa de mineração Compañía Minera del Pacífico (CMP). Durante décadas – e até 2023 –, essa instalação despejou seus rejeitos no mar (GRAMM; GONZALEZ, 2024).

Figura 26. Planta de pelotas de minério de ferro da CMP e complexo termelétrico da Guacolda ao fundo



Fonte: GRAMM e GONZÁLEZ (2024)

Em 2017, Huasco foi incluída no Programa de Recuperação Ambiental e Social (PRAS) do Ministério do Meio Ambiente do Chile, criado para intervir em áreas com níveis críticos de contaminação. O programa visava parcerias com empresas locais e o governo local, estabelecendo novas regulamentações ambientais, melhorando o monitoramento da qualidade do ar e realizando consultas aos cidadãos. Os resultados, no entanto, são incertos. Até o momento, as termelétricas de Huasco não possuem data para descomissionamento.

A empresa Guacolda Energía, proprietária das termelétricas na região, tem avaliado a possibilidade de redução de emissões através do *co-firing* com amônia verde. Segundo a empresa, esse processo não requer modificações significativas nas instalações existentes, o que permitiria que a empresa continuasse a usar seus ativos atuais, preservando sua capacidade de produção de energia de base e mantendo empregos locais. Para tal, a empresa assinou um Memorando de Entendimento com a Mitsubishi Heavy Industries (MHI) em 2022 para avaliar a viabilidade desse processo na usina termelétrica. Durante 2023 e 2024, a MHI realizou um estudo sobre o processo de *co-firing* a uma taxa de 30% em 2 de suas 5 unidades (30% de amônia e 70% de carvão), sem problemas detectados. A perspectiva é de aumentar essa taxa para 50% nas cinco termelétricas. Entre 2025 e 2026, espera-se a implementação de um plano detalhado para a conversão (GUACOLDA ENERGÍA, n.d.).

Em síntese, a análise dos casos de Tocopilla e Huasco evidenciam que, apesar de inseridos no mesmo contexto nacional no que tange à política de descarbonização e transição justa, incluindo a avaliação de estratégias de reconversão com participação de diferentes agentes, o engajamento de governos locais e empresas mineradoras presentes nas comunidades é fundamental para garantir que estas regiões passem por uma estratégia de transição efetivamente justa.

3.13. França

Na França, o carvão contribui pouco para a produção de energia elétrica, cerca de 1%. Hoje, apenas 4 UTEs estão em funcionamento, todas com previsão de fechar até 2027. O carvão é quase completamente importado, principalmente da Austrália, Estados-Unidos, Rússia, Colômbia e África do Sul, que no total em 2022, chegaram a 70,6 TWh equivalente, mas seu principal uso é na siderurgia (França.2024).

A Lei n.º 2019-1147, de 8 de novembro de 2019, relativa à energia e ao clima, limitaram as emissões de CO₂ a partir de 1 de janeiro de 2022 para UTEs a partir de combustíveis fósseis. Serão fechadas usinas a carvão localizadas nos seguintes municípios: Le Havre e Cordemais, de propriedade da EDF, e Gardanne e Saint-Avoid, pertencentes à GazelEnergie Generation. Cerca de 700 funcionários diretos serão afetados por essas decisões e estima-se que a mesma quantidade de empregos indiretos seja perdida (França, 2024).

Le Havre (da EDF) foi encerrada em abril de 2021. A Cordemais continua operando e deve ser fechada até 2027. A usina de Gardanne (GazelEnergie) foi fechada em maio de 2021 (parcela de carvão). Por fim, Saint-Avoid (GazelEnergie) foi fechado em março de 2022 e imediatamente reaberto (Lei MUPPA) para garantir a segurança do abastecimento no contexto da crise energética pós início da guerra entre Ucrânia e Rússia, com previsão de fechar novamente até 2027.

3.13.1. Planos governamentais para TEJ

Para apoiar os trabalhadores das UTEs à carvão e da cadeia de suprimentos, o Decreto nº 2020-921, de 29 de julho de 2020, estabelece diversas medidas de acompanhamento dos trabalhadores e cria um regime da Lei Geral do Código do Trabalho em matéria de realocação. Assim, os trabalhadores das UTEs cujo empregador pretende, devido ao encerramento das atividades, rescindir os contratos de trabalho no âmbito de um plano de proteção do emprego, e que não tenham regressado ao emprego no final da licença de requalificação, têm direito a uma licença de apoio específico para permanecerem no emprego por um período de 12 meses. Isso pode ser estendido para 18 meses sob certas condições (França, 2024).

Para os trabalhadores do setor das indústrias elétricas e de transformação, as medidas são tomadas pelo Estado, para além do financiamento pela empresa de um Plano de Salvaguarda do Emprego (PSE) e de uma licença de requalificação, seguida de uma licença específica de acompanhamento. O Estado reembolsa os empregadores através das prefeituras. O objetivo da licença é permitir-lhes regressar ao trabalho o mais rapidamente possível.

O acompanhamento dos antigos trabalhadores mostrou necessidade de aprimoramento do regime previsto para 2020. Ao fim do esquema de apoio a partir de agosto de 2023, muitos funcionários continuavam sem reposicionamento por vários meses (sobretudo em Gardanne). Por isso, o governo prorrogou a duração de sua licença específica de acompanhamento por 28 meses (isto é, continuaram sendo remunerados). Um total de 35,5 milhões de euros de fundos sociais estatais foi utilizado para apoio, para além dos PSE das empresas. Além disso, é concedido um mínimo de 40 milhões de euros para apoiar as regiões na saída do carvão.

A GazelEnergie objetiva transformar as plantas para continuar a produzir energia, mas renovável¹⁵. E para as empresas com mais de 50% de propriedade do Estado, também há proposta de modificação das UTEs, mas sem citar para qual fonte pois a lei n.º 2025-336 de 14 de abril de 2025 determina a conversão “de centrais elétricas a carvão em combustíveis que emitam menos dióxido de carbono”¹⁶ com vistas a “atingir um nível de emissão inferior ao limiar de 550 gramas de dióxido de carbono por quilowatt-hora”.

O plano de transição para uma economia de baixo carbono da região de Bouches-du-Rhône (França, 2021) inclui outras atividades emissoras, com mais detalhes do processo de transição:

- 1- Uma avaliação das consequências econômicas, sociais e territoriais da transição para uma economia de baixo carbono.
 - a. É previsto um diagnóstico constante das mudanças na estrutura produtiva para buscar as soluções de manutenção do emprego e diminuição das emissões.
- 2- Levantamento dos potenciais econômicos da região visando 2050, no qual se prevê aumento da demanda por produtos verdes, com foco nos setores que possam manter o nível de emprego.
 - a. As atividades de descomissionamento (recuperação do território, p.e.), reaproveitamento dos rejeitos e energias renováveis são destacadas. Nesse sentido, formar a mão de obra capaz de trabalhar no descomissionamento é considerada uma potencialidade.
 - b. Energias limpas: algumas regiões onde se prevê fechamento das UTEs têm grande potencial solar e hidrelétrico. Principalmente para os jovens, a formação para atuar nesses setores seria um caminho.
 - c. O objetivo é transformar e diversificar a indústria local por meio do desenvolvimento de soluções tecnológicas industriais próximas do mercado, favorecendo um modelo circular, sóbrio, descarbonizado e gerador de empregos. Essa transformação exigirá a formação de trabalhadores e demandantes de emprego para a aquisição de novas competências induzidas por esse novo modelo.

Em relação ao item c., o financiamento do *Just Transition Fund* (União Europeia), servirá para financiar pesquisas que permitam sair de protótipos para versões industriais de baterias, tecnologias eficientes e energias alternativas. E outra vertente visa valorizar produtos ecológicos – biotecnologias, bioquímicos, reciclagem de materiais (metais, cimentos etc.), biopolímeros, biolubrificantes, biosolventes etc.

O acompanhamento dos trabalhadores é um eixo com diversas ações, com foco naqueles com menor nível de qualificação profissional:

- a. Formação em novas competências
- b. Acompanhamento da mobilidade profissional
- c. Foco – em apenas algumas ações- para que esses trabalhadores mudem para atividades relacionadas: seja a reutilização dos rejeitos, considerado meio intermediário para que se empreguem de forma mais permanente. O objetivo é criar canais para aproximar quem saiu dessas atividades com as novas oportunidades no território.

¹⁵ [GazelEnergie, acteur de la transition énergétique - GazelEnergie](#), visto em 11/06/2025.

¹⁶ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000051465651>, visto em 11/06/2025.

3- Mecanismos de governança

Para elaboração do Plano Territorial de Transição Justa (PTTJ), o Código de Conduta Europeu sobre Parceria orientou a associação de diferentes atores: representantes do Estado em múltiplas escalas (o equivalente a municípios e unidades da federação), relacionados a órgãos de trabalho e emprego, a agência federal para transição ecológica (ADEME, na sigla em francês) e autoridades do Fundo Europeu de Transição Justa.

Um comitê restrito realizou reuniões quinzenais e outros mais amplos contribuíram no momento de elaboração do PTTJ, via reuniões mensais envolvendo outros parceiros e agências estatais. Além disso, houve reuniões com empresas, associações e outros atores para consultas bilaterais. Por fim, consultas públicas também foram utilizadas para divulgar os mecanismos e selecionar projetos candidatos a serem financiados.

Os órgãos de Estado foram responsáveis pela geração de estatísticas sociais, via associação com serviços estatísticos, coletividades territoriais, órgãos de emprego local, entre outros. Parte das estatísticas foram definidas após eventos públicos para captar as preocupações de diferentes atores (emprego, competitividade, qualidade de vida, educação, etc).

Anualmente é lançado um relatório de acompanhamento das atividades para acompanhamento dos avanços e desafios. Diferentes comitês produzem essa análise, com foco no financiamento, proposição de novos programas, etc.

3.13.2. Estudo de Caso: Loos-en-Gohelle

Loos-en-Gohelle é uma pequena cidade de 7.000 habitantes localizada no norte da França. A cidade, assim como seus arredores, foi profundamente afetada pelas indústrias de mineração de carvão, com sete poços de minas e oito depósitos de resíduos ativos desde a década de 1850 até seu fechamento, na década de 1980. O maior empregador da região era a empresa mineradora estatal *Charbonnages de France*. Em meados da década de 1960, 5 dos cerca de 8 mil habitantes da região (mais de 60%) trabalhavam na mineração de carvão, indicando não só a relevância econômica – relativa ao emprego –, mas também social e cultural dessa indústria (ENCO, 2020).

Apesar dos impactos ambientais e sociais associados à dependência da mineração, atualmente Loos-en-Gohelle é considerada uma “cidade-piloto para o desenvolvimento sustentável” na França, focada em autonomia energética e energia comunitária. Em 2015, juntou-se à rede “100% *territoires à énergie positive*” (comunidades 100% renováveis), com o objetivo de ter 100% de sua eletricidade proveniente de fontes de energia renováveis até 2020 e contar com 100% de energias renováveis até 2050 (Renewables Networking Platform, 2018).

O processo de transição na cidade ocorreu à medida que a demanda por carvão para geração de energia declinava. Assim, a administração municipal iniciou um processo para reconversão da região em um *hub* renovável, com participação ativa dos cidadãos. Entre 2014 e 2017, Loos-en-Gohelle realizou um estudo de planejamento energético, cofinanciado pela *Agency for Ecological Transition*. Com base nos resultados do estudo, a cidade lançou um “Plano Solar” com três pilares principais:

- i. Instalação de painéis fotovoltaicos em 8 edifícios comunitários para produção e comercialização de eletricidade;

- ii. Participação ativa dos cidadãos na implementação, construção e financiamento do projeto; e
- iii. Investimento coletivo na criação de uma empresa local, com financiamento público-privado.

Juntamente com o “Plano Solar”, as iniciativas municipais e projetos individuais evoluíram para um modelo mais amplo de atividades sustentáveis, abrangendo aspectos econômicos, sociais e ambientais. Destaca-se, além da geração de energia renovável, as atividades de eco-construção e planejamento urbano e ambiental, focando em aspectos de habitação e gerenciamento de espaços verdes (Figura 27). Cinturões verdes foram estimulados em toda a cidade, a eficiência energética e o uso de energia renovável são promovidos, bem como a construção ecológica de novos edifícios. Um dos planos da cidade é construir um distrito ecológico em parte dos antigos depósitos de resíduos da mineração.

Figura 27. Residence Chenelet, exemplo de construção sustentável em Loos-en-Gohelle



Fonte: Renewables Networking Platform (2018)

Um exemplo de sucesso associado ao caso é a transformação de locais de mineração em edifícios históricos e culturais. Desde 2012, a cidade conta com duas antigas pilhas de rejeitos listadas como Patrimônio Mundial da UNESCO, onde hoje são abrigados centros culturais e de desenvolvimento sustentável, como o CERRD (Centro de Recursos para o Desenvolvimento Sustentável), CD2E (criação e desenvolvimento de eco-negócios) e Apprentis d'Auteuil (centro de treinamento para empregos no setor de construção sustentável). Nos últimos 10 anos, foram criados empregos diretos e indiretos no campo das atividades ecológicas e das energias renováveis, com perspectivas de expansão em projetos solares comunitários. Além disso, parte dos empregos foram direcionados para o setor de serviços.

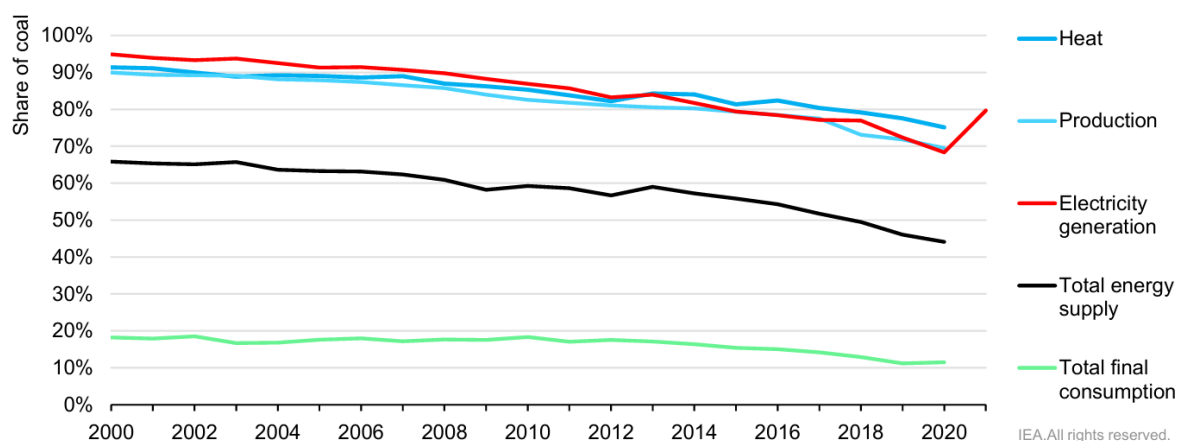
Outro elemento de destaque no caso de Loos-en-Gohelle é a participação social: durante o período de 2008 a 2014, foram organizadas cerca de 200 reuniões públicas com o objetivo de envolver os cidadãos na implementação de projetos locais. Além disso, o programa “50-50” também foi lançado pela cidade para co-financiar projetos de energia renovável de cidadãos. Da mesma forma, o Plano Solar atualmente desenvolvido pela cidade foca em energia comunitária, tendo os cidadãos um papel central como investidores e embaixadores dos projetos (HUB-IN Project, 2025).

Assim, o caso apresenta três principais lições: (i) o envolvimento ativo dos cidadãos e abordagens "bottom-up" na formulação da estratégia de transição levam a maior aceitação e responsabilidade entre a população local; (ii) uma estratégia mais diversificada e sustentável inclui a combinação de investimentos públicos e privados, além de fontes de financiamento coletivas; e (iii) a administração pública e liderança política local têm papel decisivo no início e na direção dos processos de elaboração das estratégias regionais de transição.

3.14. Polônia

Historicamente, a Polônia é um país altamente dependente do carvão (*hard coal*) para a geração de eletricidade (Figura 28). Além disso, o país tem sido um dos produtores-chave na Europa, sendo responsável por cerca de 30% da produção regional em 2022. No ano de 2024, o carvão representou cerca de 56% da geração de eletricidade no país (aproximadamente 94 mil GWh) (IEA, 2022b). Porém, o setor de mineração de carvão polonês tem enfrentado uma redução gradual ao longo das últimas três décadas. Esse processo, no entanto, tem sido motivado por fatores econômicos, não sendo parte de uma transição planejada e intencional (ŚNIEGOCKI *et al*, 2022).

Figura 28. Participação do carvão em diferentes indicadores energéticos na Polônia (2000-2020)



Fonte: IEA (2022c)

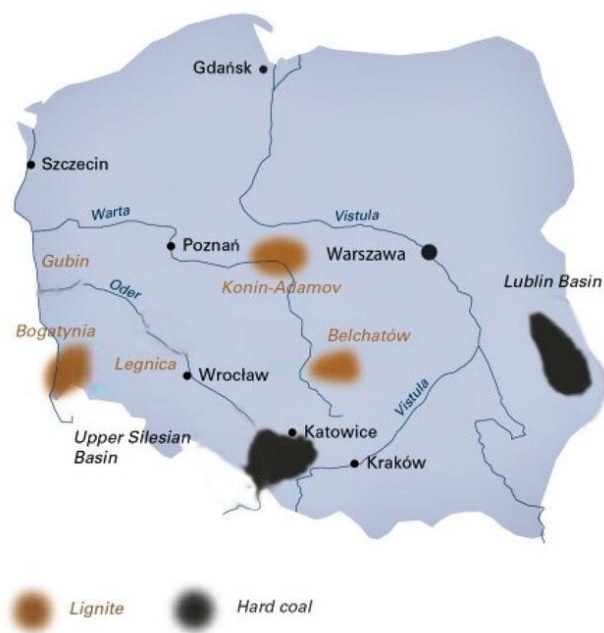
O histórico de políticas do governo polonês para o carvão focou, até o início dos anos 2020, em tornar este setor competitivo. Desde a década de 1990, a visão era de que o carvão continuaria a representar a base da segurança energética do país. Como resultado, os setores de carvão mineral e linhito receberam cerca de 25 bilhões de dólares de subsídios diretos entre 1990 e 2016, além de pagamentos entre 0,9 e 1,4 bilhão de dólares por ano para pagamentos a ex-funcionários. Ainda assim, as principais empresas de mineração apresentaram prejuízo em 2020, momento em que um novo plano começou a ser discutido (ŚNIEGOCKI *et al*, 2022).

Nesse contexto, a política energética na Polônia tem enfatizado a necessidade de reduzir a demanda e produção de carvão enquanto garante uma transição justa para os trabalhadores e comunidades carboníferas. Ainda assim, os principais documentos de política energética nacionais indicam uma participação relevante do carvão no setor energético polonês até 2050. Um exemplo é o "Energy Policy for Poland until 2040" (EPP2040), que estabelece metas para redução da participação do carvão na geração de eletricidade, saindo de 70% em 2020 para intervalos de 37,5% a 56% em 2030 e 11% a 28% em 2040. No entanto, para atingir às metas climáticas europeias para 2030 e 2050, esforços adicionais serão necessários. De fato, uma das principais críticas aos planos apresentados pela Polônia é de que

as metas de redução de emissões e participação do carvão estão restritas ao carvão bruto e, portanto, não englobam o linhito (IEA, 2022c).

Conforme apresentado na Figura 29, o país possui diversas regiões associadas à mineração de carvão bruto e linhito. Segundo dados da IEA (2022c), a produção de carvão bruto caiu de 76 Mt em 2010 para cerca de 54 Mt em 2020. Da mesma forma, o linhito também apresentou declínio, com uma redução de 63 Mt em 2015 para 46 Mt em 2020, motivada pelo fechamento das plantas em Adamow e Patnow.

Figura 29. Mapa das principais áreas de mineração de carvão bruto e linhito na Polônia



Fonte: Saigustia e Robak (2021)

Considerando os objetivos de descarbonização, um dos elementos centrais do plano energético da Polônia é a redução da dependência do carvão para geração de eletricidade e aquecimento. Assim, a estratégia de diversificação da matriz elétrica visa a ampliação da participação do gás natural, eólica *offshore* e, sobretudo, a construção de novas plantas nucleares (IEA, 2022c).

Ainda assim, cabe destacar que a Polônia oferece subsídios ao carvão (cerca de €1,8 bilhões/ano, tanto para a mineração quanto para a geração de energia). Esse apoio ocorre diretamente, através de reestruturações e indenizações financiadas pelo governo e indiretamente, através de mecanismos que garantem fluxos de receita e socializam os custos e riscos associados à atividade, como a participação massiva em mercados de capacidade (IEA, 2022c).

3.14.1. Planos governamentais para TEJ

Apesar das metas de descarbonização até 2050 parecerem desafiadoras para a realidade polonesa, essa não é a primeira transição no setor de carvão do país, que enfrentou uma redução de 75% dos empregos na mineração, saindo de 388 mil em 1990 para 98 mil em 2015, em um contexto de transição econômica mais ampla (MARTIN; BROUGHEL, 2025).

Em 1998, a Polônia implementou o *Mining Social Package*, com o objetivo de reestruturar o setor e reduzir o número de empregos em mais de 100 mil trabalhadores. Para tanto, as principais medidas

adotadas foram a oferta de um pagamento único para incentivar a saída voluntária e a aposentadoria antecipada, aceitos por cerca de 67 mil e 30 mil trabalhadores, respectivamente. Uma terceira opção, aceita apenas por aproximadamente 400 trabalhadores, era um pagamento único, com maior benefício econômico, que exigia a recolocação do trabalhador em até dois anos, com participação em treinamentos. Dado o contexto do mercado de trabalho restrito à época, em função da transição econômica no país, essa opção foi considerada arriscada. Assim, políticas focaram mais na redução da força de trabalho do que na criação de novas oportunidades, com programas de requalificação insuficientes. Com isso, houve um aumento de 7,5% no desemprego na Silésia entre 1999 e 2003 (MARTIN; BROUGHEL, 2025).

No ano de 2018, o governo implementou um Programa para o Setor de Mineração de Carvão, destacando as reservas nacionais e o papel no abastecimento interno, com o objetivo de manter a produção para garantir segurança energética, desenvolver tecnologias limpas e melhorar a eficiência e produtividade. No entanto, o programa não trouxe novas medidas sociais para trabalhadores nem enfrentou plenamente os desafios econômicos do setor. Como resultado, ele não alcançou seus objetivos: a produção ficou abaixo das metas e o setor continuou deficitário (ŚNIEGOCKI et al, 2022).

Em 2021, o governo Polonês e representantes sindicais assinaram um Contrato Social que estabelece o encerramento das atividades de mineração do carvão até 2049 e ações voltadas para os trabalhadores, enfatizando uma transição justa (IEA, 2023). No plano, destaca-se que os trabalhadores terão o direito de serem realocados de minas fechadas para aquelas ainda em operação – ou receber um pacote de aposentadoria antecipada equivalente a 80% dos seus salários. Estes trabalhadores que decidirem pela aposentadoria também têm direito a uma indenização de PLN 120 mil (equivalente a € 26.500). Um ponto relevante desse acordo é que este não engloba o setor de linhito, da mesma forma como já apontado na análise das metas climáticas e política de encerramento das atividades de mineração do carvão (IEA, 2022c).

Para além dos impactos sobre os trabalhadores, o acordo assinado pelo governo também inclui investimentos da ordem de PLN 16 bilhões (€ 3,5 bilhões) em tecnologias de carvão menos poluentes, dado que até 2049 o governo ainda continuará a subsidiar a produção de carvão no país (IEA, 2023). O Plano também previa, além dos investimentos estatais, o uso de recursos do Fundo de Transição Justa da EU, que exige a preparação de Planos Territoriais de Transição Justa (PTTJ) para as regiões mais impactadas pelo processo de descomissionamento das atividades associadas ao carvão. Em relação ao resultado das transições passadas, a análise de Martin e Broughel (2025) é de que o contexto atual é diferente: os mineiros têm maior nível educacional e há maior demanda por trabalho, o que aumenta suas chances de realocação na transição verde.

Em 2022, uma das propostas apresentadas pelo governo polonês foi a criação da Narodowa Agencja Bezpieczeństwa Energetycznego (NABE, Agência Nacional de Segurança Energética, em tradução livre), uma entidade estatal que assumiria as usinas a carvão e ativos de empresas públicas, a fim de garantir segurança do sistema elétrico. O objetivo da NABE era reduzir as incertezas e impactos financeiros desses ativos sobre as empresas, viabilizando o investimento em tecnologias limpas, enquanto a geração térmica necessária à confiabilidade do sistema seria de responsabilidade e operação dessa nova Agência. No entanto, o projeto foi abandonado em 2025 (ENERGY UNION, 2025).

No fim de 2022, a Comissão Europeia anunciou a aprovação dos PTTJs de cinco regiões carboníferas da Polônia, totalizando €3,85 bilhões, dos quais (EC, 2022):

- i. €2,4 bilhões para a região de Silesia e Małopolska Ocidental, que possui a maior mina de carvão duro (betuminoso e antracito) da Europa, com ênfase na diversificação econômica

- local através de investimentos em pequenas e médias empresas (PMEs) associadas à geração renovável, mobilidade limpa e outros setores “verdes”;
- ii. €415 milhões para a subregião de Konin, em Wielkopolska, visando a transição da indústria de linhito, reconversão das áreas degradadas focando em energias renováveis e hidrogênio verde, além de treinamento e apoio a mais de 5 mil trabalhadores desse segmento;
 - iii. €581 milhões para a subregião de Wałbrzyskie, na Baixa Silésia, focando na diversificação da economia local com criação de novas PMEs e startups no setor verde, com investimentos na infraestrutura educacional local;
 - iv. €369,5 milhões para a região de Łódzkie, onde a usina de Bełchatów está localizada, focando em infraestrutura local para PMEs, em laboratórios de pesquisa e no desenvolvimento de eficiência energética e renováveis, além do treinamento e requalificação dos trabalhadores.

3.14.2. Estudo de Caso: Silesia e Małopolska Ocidental

A região da Silesia e da Małopolska Ocidental concentra a maior mineração de carvão da UE e, portanto, estão no centro do debate sobre a transição justa no setor de carvão mineral, recebendo a maior parte dos recursos do Fundo para uma Transição Justa (JTF) na Polônia. A região apresenta o segundo maior PIB da Polônia, representando cerca de 12% do PIB nacional e um PIB per capita de € 15.400 em 2021. Apesar do descomissionamento planejado para o setor de carvão, a indústria de mineração emprega mais de 4% da força de trabalho regional (EC, 2024).

Em uma análise do histórico de políticas federais e regionais associadas ao descomissionamento do carvão na região da Silesia, Śniegocki *et al* (2022) apresenta uma síntese do tipo de políticas identificadas, desde apoio às minas e aos trabalhadores até políticas de transição regional (Quadro 6). Os autores analisam alguns momentos-chave desde a década de 1990:

- **1990-1998 - Aposentadoria antecipada e benefícios assistenciais:** No caso da aposentadoria, os trabalhadores de minas subterrâneas fechadas, com idade ou tempo de serviço suficientes, recebiam 50% do salário por até três anos, em parcela única ou mensais, incluindo benefícios como 13º e 14º salários e um subsídio para aquecimento doméstico. Para aqueles com mais de três anos até a aposentadoria, um auxílio assistencial pago mensalmente por até dois anos era recebido em troca da rescisão voluntária do contrato. Caso o trabalhador encontrasse outro emprego, os benefícios eram reduzidos pela metade;
- **1998-2002 - Pacote Social da Mineração:** O objetivo do pacote era enfrentar o problema da superprodução de carvão e excesso de mão de obra. O programa foi formalizado em Lei e as medidas negociadas com os sindicatos incluindo, além dos benefícios mencionados anteriormente, incentivos de estímulo à reinserção no mercado de trabalho, como bônus para aqueles que encontrassem novo emprego e exigência de consideração de ofertas e participação em programas de qualificação. O financiamento inicial foi oriundo de um empréstimo do Banco Mundial ao governo Polonês, totalizando US\$ 1,9 bilhão, além de US\$ 445 milhões de contribuição das empresas de mineração. Apesar dos esforços, a região da Silesia apresentou forte aumento do desemprego, que subiu de 9,9% em 1999 para 17,4% em 2003; e
- **2000-2018 - Empresa de Reestruturação de Minas (SRK):** Para lidar com o fechamento de minas não rentáveis, o governo polonês criou a SRK, cuja função também perpassava a manutenção de infraestrutura, recuperação ambiental de áreas degradadas e gestão e venda de ativos imobiliários. A SRK também atuou na recolocação dos trabalhadores no mercado de trabalho, assumindo, entre 2015 e 2018, o gerenciamento de 16 minas e mais de 13 mil

trabalhadores. Desde 2010, a atuação da SRK segue regras da União Europeia, que proíbem subsídios permanentes a minas não competitivas, mas permitem financiamento para fechamento e mitigação social. Entre 2010 e 2020, o apoio estatal à SRK ultrapassou US\$ 2,8 bilhões.

Uma das principais conclusões observada a partir das experiências da Silesia com políticas de indenizações e aposentadorias antecipadas é que, embora essas iniciativas tenham incentivado a rápida redução do número de trabalhadores no setor, elas não garantiram sucesso de longo prazo para os ex-mineiros e para as comunidades afetadas pela transição. Assim, essas políticas precisam ser complementadas por medidas de desenvolvimento que impulsionem a criação de novas oportunidades econômicas para trabalhadores e comunidades. No entanto, redirecionar investimentos para comunidades mineradoras ou subsidiar a contratação de ex-mineiros pode gerar impactos negativos sobre outras comunidades e trabalhadores e, portanto, exige um conjunto equilibrado de políticas — combinando medidas amplas e apoio direcionado aos trabalhadores e regiões afetadas (ŚNIEGOCKI, 2022).

Quadro 6. Síntese das políticas associadas ao carvão aplicáveis à região da Silesia (Polônia)

Categoria	Tipo de instrumento	Exemplos da Silesia	Forças	Fraquezas
Políticas setoriais focadas nas minas	Subsídios que atrasam o fechamento de minas não rentáveis	Contrato Social de 2021; NABE; resgates (bailouts) do setor de mineração antes da adesão à UE	Mais tempo para a transição	Falta de sinal claro sobre o cronograma para as partes interessadas; Recursos desviados para manter atividades ineficientes em vez de investir em novas oportunidades
	Subsídios para fechamento de minas (custos únicos)	Empresa de Reestruturação de Minas (SRK); assunção pelo Tesouro das obrigações das empresas de mineração com aposentados	Mais tempo para a transição; Recursos utilizados para garantir fechamento social e ambientalmente ordenado	Possível risco moral para proprietários de minas (evitando custos de fechamento)
Políticas setoriais focados nos trabalhadores	Indenizações (pagamentos rescisórios)	Aplicadas em todos os programas de reestruturação desde os anos 1990	Reduz o emprego em minas não rentáveis; Ajuda a mitigar conflitos sociais	Não cria novas oportunidades econômicas para ex-mineiros
	Aposentadorias antecipadas	Aplicadas em todos os programas de reestruturação desde os anos 1990	Reduz o emprego em minas não rentáveis Diminui conflitos sociais	Conhecimentos e experiência dos mineiros aposentados não são aproveitados na economia local
Políticas de desenvolvimento (instrumentos transversais)	Investimentos públicos e privados, capital humano e capacitação	Programas Operacionais Regionais; Rede de Observatórios Regionais de Especialização no Processo de Descoberta Empreendedora	Fortalece e diversifica a base socioeconômica regional	Muito amplo para impactar diretamente grupos específicos (ex-mineiros) sem políticas complementares
	Subsídios para contratação de ex-mineiros	Programa PHARE INICJATYWA	Gera novas oportunidades econômicas para mineiros	Depende das condições do mercado de trabalho local; Não considera impactos sobre outros trabalhadores
	Subsídios para mineiros abrirem empresas	Programa PHARE INICJATYWA	Gera novas oportunidades econômicas	Impacto limitado, pois poucos mineiros abrem empresas
Políticas de desenvolvimento focadas na transição	Apoio direcionado à busca de emprego	PHARE INICJATYWA; Fundo para a Transição Justa	Cria oportunidades econômicas	Depende da situação do mercado de trabalho local
	Fundos de investimento local e regional	PHARE INICJATYWA Programa de Mitigação dos Efeitos da Reestruturação do Emprego na Mineração Fundo para a Transição Justa	Melhoram indiretamente o mercado de trabalho local	Impacto direto limitado no emprego de ex-mineiros Resultados dependem do setor privado
	Zonas econômicas especiais	Zona Econômica Especial de Katowice	Melhoram diretamente o mercado de trabalho local	Dependem da atratividade para investimentos Não consideram efeitos fora dessas zonas

Fonte: Śniegocki et al (2022)

Sob a ótica do futuro da região e reconversão das áreas dos empreendimentos, destaca-se o papel dos municípios no período entre 1998 e 2001, que assumiram a propriedade das áreas em troca de cancelamento das dívidas de empresas mineradoras. Os prédios e terrenos foram utilizados para funções de utilidade pública, na maioria dos casos. Um exemplo é o Centro de Educação e Negócios New Gliwice, uma revitalização a partir da mina de carvão KWK Gliwice, cuja operação iniciou em 1911, chegando a produzir cerca de 900 mil toneladas de carvão anualmente durante a Segunda Guerra Mundial (WOS *et al*, 2020). Atualmente, o local abriga diversas empresas de tecnologia e possui um espaço destinado a eventos culturais e esportivos para a comunidade. O projeto foi um dos maiores casos de reconversão de áreas mineradoras na Polônia. O custo total foi de US\$ 34 milhões, dos quais US\$ 13 milhões vieram de fundos europeus, e o restante foi financiado pelo orçamento municipal.

Figura 30. Centro de Educação e Negócios New Gliwice antes (acima) e depois (abaixo) da revitalização



Fonte: Wos et al (2020)

Além disso, a região conta com inúmeras agências regionais de desenvolvimento, focadas principalmente em pequenas e médias empresas (PMEs). São exemplos (ŚNIEGOCKI et al, 2022).:

- a) A GAPR Ltd. (Agência da Alta Silésia para Empreendedorismo e Desenvolvimento), que atua no estímulo à economia regional e ao empreendedorismo, com treinamentos, consultoria, apoio a investimento e financiamento, além de empréstimos específicos para PMEs;
- b) O Upper Silesian Fund S.A., concentrado no apoio financeiro (empréstimos, crédito rotativo e financiamento para startups) a microempresas e PMEs, utilizando recursos próprios e fundos da União Europeia, além de subsídios para capacitação e apoio financeiro a pessoas desempregadas interessadas em empreender; e

- c) A Agência de Desenvolvimento Regional de Bielsko-Biala, que fornece serviços de consultoria, capacitação e educação, incluindo áreas de inovação e tecnologia. A agência também auxilia empresas na obtenção de recursos de programas financiados pela União Europeia, além de ofertar empréstimos, garantias e intermediação financeira.

No período recente, a região da Silésia e a Małopolska Ocidental será uma das principais contempladas pelo Fundo de TEJ da EU, com um orçamento de cerca de 2,4 bilhões de euros voltado especificamente a diversificação da economia local, investindo em PMEs que atuam em energia renovável, mobilidade limpa e outros setores verdes. Além disso, o Fundo prevê a restauração dos danos ambientais causados pelas atividades de mineração, recuperação e descontaminação de 2.800 hectares de áreas pós-mineração. Sob a ótica dos trabalhadores, o Fundo também investirá na capacitação de 100 mil trabalhadores — muitos atualmente empregados no setor de combustíveis fósseis —, a fim de facilitar a transição para setores sustentáveis. A expectativa é de que 27 mil novos empregos sejam criados na Silésia diretamente como resultado das medidas do plano de transição justa (EC, 2022).

Nesse contexto, a economia regional da Silésia se beneficiou, a partir da integração da Polônia à União Europeia, de um processo de industrialização com ênfase em setores como indústria automotiva, tecnologia da informação e serviços, que foram fundamentais para absorver a mão de obra deslocada. Os recursos do EU Cohesion Fund (mais de US\$ 4 bilhões entre 2014 e 2020) financiaram infraestrutura, geração de empregos e capacitação, impulsionando a diversificação econômica e reduzindo riscos de estagnação regional. Com o tempo, as políticas de realocação tornaram-se mais eficazes, especialmente após a criação da empresa de reestruturação das minas - SRK.

Em suma, o histórico da região da Silesia demonstra que as políticas voltadas aos trabalhadores demitidos da mineração de carvão basearam-se principalmente em apoio financeiro (indenizações e aposentadoria antecipada) e na realocação para minas ainda em operação. No entanto, o apoio financeiro isolado mostrou-se insuficiente para garantir estabilidade de longo prazo, evidenciando a importância de uma economia e mercado de trabalho diversificados. Durante o fechamento em massa de minas nos anos 1990, mesmo compensações generosas não substituíram a necessidade de políticas estruturadas de geração de empregos e requalificação profissional.

3.14.3. Síntese das experiências internacionais

Considerando a análise dos planos e programas voltados para transição energética justa relacionada ao setor do carvão mineral em países selecionados, bem como a identificação e apresentação de casos práticos de transição em regiões desses países, apresentados nessa seção, a Tabela 3 sintetiza os principais elementos identificados nas experiências internacionais.

Tabela 3. Quadro-síntese das experiências internacionais de transição justa no setor de carvão mineral

País / Região	Relevância do carvão	Estratégia de Transição	Ações para Trabalhadores	Governança	Custos e Financiamento	Resultados Positivos	Desafios / Fracassos
China	58% da matriz elétrica (2023). 52% (1º) da produção mundial (2023).	Foco em térmicas com padrões de emissão “ultrabaixos”. Menor utilização de água e maior taxa de recuperação de terras para agricultura.	Sem plano específico.	Sem estrutura definida.	Novas UTEs não são financiadas em outros países.	Legislação de controle de qualidade do ar e CCUS.	Alta dependência do carvão.
Índia	74% matriz elétrica (2023). 9% (2º) da produção mundial (2023).	Política nacional + 3 níveis de governança. Recuperação de antigas áreas de mineração para turismo.	Requalificação, fundos estaduais.	Ministério do Carvão, com governança multinível (federal, estadual e por ativo).	Fundo de Transição nacional, com combinação de recursos internacionais e nacionais.	Planos de reconversão regionais e para cada ativo.	Dependência alta do carvão.
Indonésia	61% da matriz elétrica, 3º maior produtor mundial (2023).	JETP com metas de 44% renováveis (2030). Net Zero até 2060. Revisão de contratos e reconfiguração das usinas, para flexibilidade operacional.	Programas sociais e de capacitação.	Parceria de TEJ da Indonésia com Grupos de trabalho (PNUD, IEA, ADB, WB).	Investimento orientado pela Parceria de TEJ.	Apoio internacional robusto.	Complexidade contratual com IPPs.
Austrália – Latrobe Valley	46% matriz elétrica (2024).	Fechamento das usinas até 2040.	Apoio individualizado, realocação em cadeias locais. Estratégia de inovação regional com ênfase em “especialização inteligente”.	Autoridade regional.	Financiamento público, através da autoridade regional.	Apoio amplo a famílias e terceirizados.	Fechamento não planejado exigiu resposta rápida do governo.

Tabela 3 (continuação). Quadro-síntese das experiências internacionais de transição justa no setor de carvão mineral

África do Sul	80% da matriz elétrica (2023). 7º produtor mundial (2023).	Reabilitação das áreas degradadas. Estruturação de cadeias alternativas para diversificação econômica.	Remanejamento dos trabalhadores na própria indústria e em setores emergentes (renováveis e novas indústrias).	Coordenação pelo Departamento de Minas e Energia e pela Comissão Presidencial sobre o Clima.	Conjunto de fontes: consórcio de países, bancos de desenvolvimento, governamental.	Financiamento e mobilização de recursos através da <i>Just Energy Transition Partnership</i> .	Alta dependência energética e econômica (exportação) do carvão. Remuneração nas minas é maior do que a média.
Colômbia	15,2% da matriz elétrica (2024).	<i>Hoja de Ruta TEJ</i> . Incentivo a novas cadeias produtivas sustentáveis. Planos de descomissionamento nas empresas carboníferas, com participação de sindicatos.	Requalificação, apoio a previdência, foco em grupos vulneráveis e capacitação e transição para setores emergentes.	Ministério, empresas e sindicatos.	Governo federal (políticas públicas e investimento em infraestrutura) e empresas (descomissionamento e compensações).	Diversificação econômica com ênfase em minerais estratégicos.	Comunidades dependentes da economia da mineração, especialmente para exportação.
Canadá	4,1% da matriz elétrica (2024). Exportador líquido.	Fim do uso do carvão para geração elétrica sem captura de carbono até 2030.	Requalificação, inclusão de grupos vulneráveis.	Governança multinível (governos federal, provinciais e municipais, comunidades, sindicatos e empregadores)	Financiamento do governo federal, via fundos específicos e receitas de precificação de carbono.	Participação de diferentes <i>stakeholders</i> , com foco em inclusão social e grupos vulneráveis, integração com renováveis.	Diferença entre províncias; impactos da redução da exportação de carvão.
Alemanha – Ruhr & Lusatia	21% da matriz elétrica (2024). 3% (35 bi t.) das reservas mundiais confirmadas (2024).	Fechamento até 2038, reavaliação em 2026. Evolução para política regionalizada, com definição de <i>clusters</i> prioritários.	Aposentadoria antecipada, requalificação, novos setores.	Agências de desenvolvimento regionais + federação.	Financiamento dos governos federal e estaduais.	Estratégia regional “ <i>bottom-up</i> ”. Reconversão econômica, turismo, lagos artificiais.	Alto custo, tempo longo.
Reino Unido – South Wales / Humber	0,8% da matriz elétrica (2024).	Foco em renováveis e reconversão industrial. <i>Clusters</i> de descarbonização.	Pensões, recolocação com programa de qualificação em novas cadeias econômicas.	Governo central + autoridades locais. <i>Coalfields Regeneration Trust</i>	Liderança do governo federal, em parceria com autoridades locais.	Revitalização industrial via eólica <i>offshore</i> , H2 e CCUS.	Ausência de engajamento regional e plano de longo prazo (South Wales).

Tabela 3 (continuação). Quadro-síntese das experiências internacionais de transição justa no setor de carvão mineral

Espanha – Asturias	1% da matriz elétrica (2024).	Convênios TEJ entre os agentes, leilões renováveis e subsídios para novas empresas.	Aposentadoria antecipada, bancos de emprego.	Co-governança via convênios (governos federal, regional e local, sindicatos, empresas).	Fundos da União Europeia + fundos nacionais (federais e regionais) e empresas privadas.	Restauração ambiental. Zonas de Transição Justa. Participação pública.	Dependência histórica de subsídios, com regiões dependentes da economia do carvão.
Chile – Tocopilla & Huasco	15,8% matriz elétrica (2024).	Fechamento até 2040, conversão para renováveis e promoção de novas tecnologias (H2, armazenamento, CCS).	Capacitação, incentivo a mulheres, plano socioecológico, foco na contratação local e PMEs.	Comitês interministeriais e empresas.	Financiamento através de políticas setoriais e fundos públicos e privados, nacionais e internacionais.	Reconversão para biomassa, baterias.	Conversão desigual das diretrizes nacionais para regiões.
França – Loos-en-Gohelle	0,4% da matriz elétrica (2024).	Previsão de fechamento das usinas até 2027. Reconversão ecológica local.	Transição para empregos verdes e atividades relacionadas.	Liderança municipal + participação cidadã.	Misto público-privado. Participação das prefeituras na requalificação de trabalhadores. Fundo Europeu de Transição Justa.	Comunidade engajada, turismo sustentável.	Escala limitada. Custos suportados pelos municípios.
Polônia – Silesia e Malopolska Ocidental	54% da matriz elétrica (2024).	Previsão de fechamento até 2049.	Aposentadoria antecipada, apoio para PMEs.	Governo Federal, com convênio com sindicatos.	Fundos da União Europeia e recursos federais. Atuação municipal em projetos específicos.	Atração de indústrias de tecnologia e setor automotivo. Reconversão de áreas. Criação da SRK para gerenciamento do processo ampliou resultados.	Sucesso limitado na contenção da taxa de desemprego e reinserção no mercado de trabalho. Dependência de recursos e fundos da EU.

4. Alternativas de Conversão e Descomissionamento para Usinas Térmicas a Carvão

4.1. Iniciativa Coal to Nuclear

A estratégia Coal to Nuclear (C2N) analisa a conversão de usinas termelétricas a carvão mineral descomissionadas ou em fase de descomissionamento em usinas nucleares com tecnologia avançada, buscando reutilizar a infraestrutura existente, rede de conexões de transmissão, a mão de obra especializada ou atender uma demanda específica de geração local. Assim, a C2N visa acelerar o processo de transição energética justa e inclusiva para uma matriz de baixa emissão de gases de efeito estufa.

Nesta seção, serão abordados os principais aspectos relacionados que devem estar nesse tipo de estratégia, baseados principalmente na iniciativa do Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos e nos documentos disponíveis na Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). No caso norte-americano, a iniciativa reflete uma preocupação relativa à expectativa de descomissionamento de um terço das usinas de carvão mineral nos próximos 10 anos, o que suscita ações referentes a situação socioeconômica das regiões que alocam essas usinas.

Existe uma preocupação do DOE de descomissionar usinas termelétricas de carvão mineral antigas, com baixa eficiência e poluentes. Entre os anos de 2011 e 2019, mais de 100 usinas de carvão foram descomissionadas e convertidas para utilizarem gás natural, coque de petróleo, resíduos de papel ou de biomassa. As usinas candidatas são unidades pequenas, cuja maioria tem mais de 50 anos e se concentram predominantemente na metade leste do país.

A energia nuclear é uma alternativa viável já que também é uma fonte despachável, firme e tem a vantagem de ser menos poluente devido à baixa emissão de carbono. Segundo estudo preparado para o DOE (HANSEN, J. et al, 2022), 80% das usinas de carvão retiradas ou em operação avaliadas possuem as características básicas necessárias que as tornam elegíveis para conversão.

No Canadá, essa possibilidade já começou a ser colocada em prática e a província de Ontário protagoniza um dos maiores exemplos de descarbonização, tendo fechado a usina a carvão mineral e dado espaço para reatores nucleares. Segundo a AIEA (IAEA, 2023), essa medida foi responsável por uma evidente melhora na qualidade do ar local possibilitando uma percepção social inclusive de mudança da cor do céu, em menos de 15 anos. Além disso, a província passou a contar com a geração de eletricidade mais limpa com aproximadamente 25 g de CO₂/kWh, atendendo o objetivo de 50 g de CO₂/kWh do Acordo de Paris, bem abaixo dos 230 g de CO₂/kWh da época da geração a carvão. Além dos benefícios ambientais, a IAEA (WATSON et. MORELOVA, 2022) tem debatido, através de fóruns organizados relacionados ao tema, que existem benefícios sociais envolvidos, pois comunidades profissionais se beneficiam da transição com novas oportunidades de trabalho e salários mais altos, o que ocorre devido a maior necessidade de conhecimento técnico.

O método de conversão pode ser feito por duas abordagens: *Retrofit*, aproveitando a estrutura e equipamentos existentes, ou Construção paralela durante a operação da usina a carvão, o que permite que o descomissionamento ocorra com a usina nuclear já operando.

Na primeira opção (*retrofit*), existe uma interrupção da produção de energia para que seja feito o descomissionamento dos equipamentos antigos, seguidos da construção e comissionamento da usina

nuclear, aproveitando parte da infraestrutura predial e dos equipamentos existentes. Embora essa opção pareça ser mais vantajosa economicamente, apresenta desafios técnicos e operacionais que aumentam as incertezas nos cronogramas físicos e econômicos de sua execução. O processo a ser adotado demanda análises pontuais para o diagnóstico da melhor solução possível para cada caso específico.

O primeiro aspecto a se avaliar no processo de conversão C2N é relacionado à potência da usina a carvão a ser substituída. Esta avaliação é particularmente importante nos casos de *retrofit* uma vez que, caso se deseje reaproveitar parte dos equipamentos em uso, é preciso analisar sua compatibilidade.

Os reatores nucleares são classificados de acordo com diferentes critérios, como o sistema refrigerante e moderadores utilizados, o que interfere diretamente nas características e capacidade de funcionamento. Essas particularidades alteram as condições de funcionamento e os tipos de serviços que podem ser ofertados por cada tipo de reator. Em 2020, cerca de 96% dos reatores em operação no mundo utilizavam água leve ou pesada como refrigerantes ou moderadores e apresentavam eficiência térmica entre 30 e 35% (IAEA, 2020), incluindo-se as usinas de Angra I e II que são do tipo reator de água pressurizada (PWR-do inglês *pressurized water reactor*).

Os reatores ainda são divididos em quatro gerações fundamentadas nos métodos de funcionamento e no nível dos sistemas de segurança definidos em projeto. Embora a maior parte das usinas nucleares em operação ainda seja de geração II, a maioria dos novos reatores nucleares em construção são da geração III e III+ que se destacam por contarem com sistemas de segurança passivos, considerados mais seguros.

A potência do reator é uma classificação de particular importância nos processos de conversão C2N, tendo em vista que a maioria das centrais térmicas a carvão tem potência elétrica inferior a 300 MW. Ainda que esta classificação não seja definitiva, há certo consenso de que reatores com capacidade maior de 600 MW são considerados grandes reatores, entre 600 MW e 300 MW são reatores médios e abaixo de 300 MW são considerados pequenos reatores.

Os modernos reatores com capacidade inferior a 300 MW são chamados Reatores modulares pequenos (SMRs do inglês *small modular reactors*), e devem compor a maior parte dos modelos de geração III+ (SMRs baseados em tecnologia PWR ou BWR- reator de água fervente. Do inglês *Boiling Water Reactor*) e geração IV das próximas décadas. A pesquisa e desenvolvimento destes modelos se iniciou nos anos 2000 e atualmente existem mais de 80 modelos de SMRs em diferentes fases de desenvolvimento registrados na IAEA, com diferentes tecnologias de reatores e potências. A maioria dos modelos está em fase inicial ou intermediária de projeto, com poucos modelos em operação ou em fase de licenciamento.

A Tabela 4 apresenta alguns dos projetos de SMRs em fases avançadas de desenvolvimento, segundo informações da IAEA.

Tabela 4. SMRs em fase avançada de desenvolvimento

Modelo	Pot Instalada (Mwe)	Tipo	País	Status
ACP100	125	PWR	China	Em construção
BWRX-300	300	BWR	EUA	Projeto detalhado
CAREM	30	PWR	Argentina	Em construção
HAPPY200	200 MWt	PWR	China	Projeto detalhado

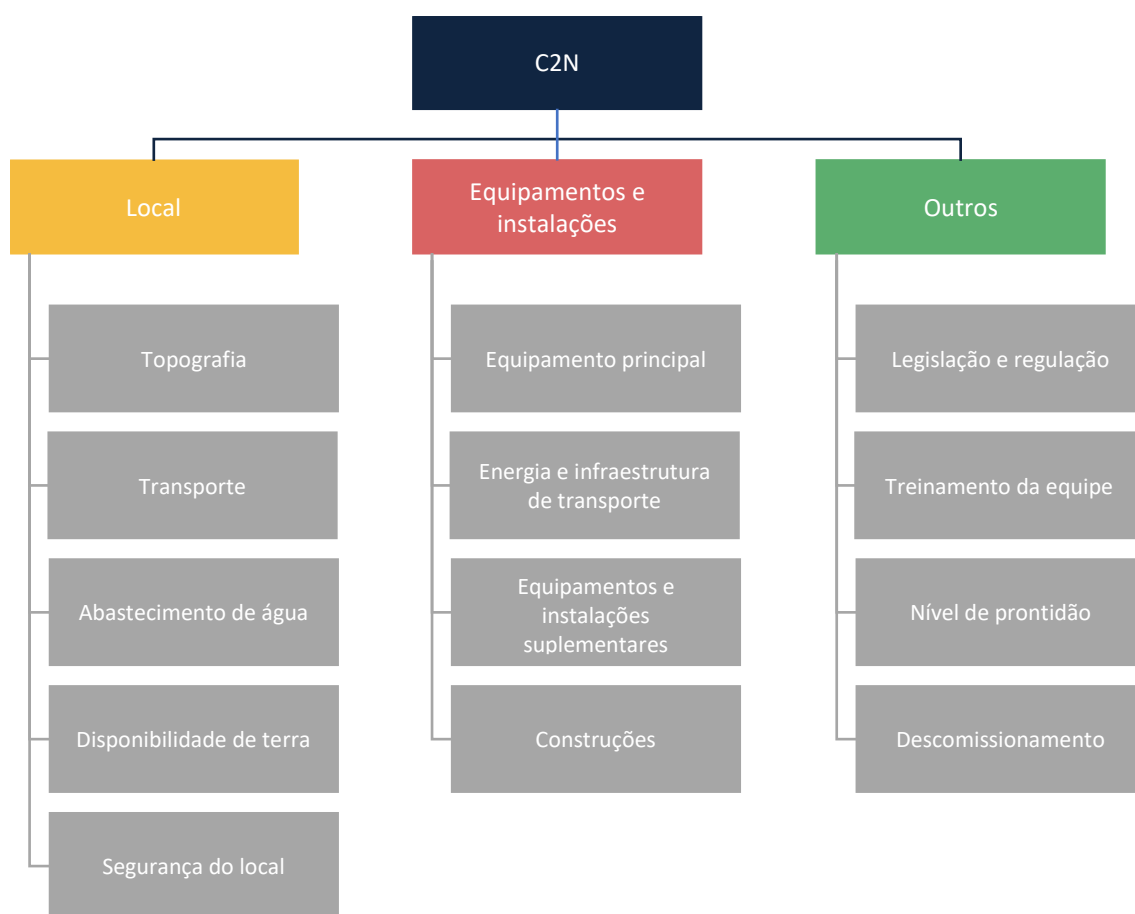
NuScale Power Module	77	PWR	EUA	Projeto detalhado
PWR-20	20	PWR	EUA	Projeto detalhado
RITM-200N	55	PWR	Rússia	Projeto detalhado
SMART	107	PWR	Coréia do Sul e Arábia Saudita	Projeto detalhado
Rolls- Royce SMR	470	PWR	Reino Unido	Projeto detalhado
KLT-40S	2 x 35	PWR Flutuante	Rússia	Em operação
HTR-PM	210	HTGR	China	Em operação
HTTR	30 MWt	HTGR	Japão	Em operação
4S	10	LMFR	Japão	Projeto Detalhado
BREST-OD-300	300	Refrigerado a chumbo	Rússia	Em construção
Natrium	345	Refrigerado a sódio	EUA	Projeto conceitual
SVBR-100	100	Chumbo-bismuto	Rússia	Projeto Detalhado
CA Waste Burner	100 MWt	MSR	Dinamarca	Projeto Detalhado
IMSR 400	195	MSR	Canadá	Projeto Detalhado
KP-FHR	140	Modular Pebble-bed HTR Salt Cooled Reactor	EUA	Em construção
eVinci	5	Heat Pipe	EUA	Em desenvolvimento
HOLOS-QUAD	10	HTGR	EUA	Projeto Detalhado
HOLOS-MONO	10	HTGR	EUA	Projeto Detalhado
Jimmy	10 MWt	HTGR	França	Projeto Detalhado
Marvel	15 kWe	LM termal	EUA	Em construção

Fonte : IAEA (2024)

4.1.1. Principais aspectos e fatores na análise da conversão C2N

A avaliação de um processo de conversão de usinas a carvão para nuclear deve levar em consideração uma série de fatores relacionados a potência, características de construção, operação, restrições de localização, aspectos regulatórios e socioambientais. Esses fatores podem ser divididos em três grupos que avaliam: a adequação do local para o recebimento de uma usina nuclear; a infraestrutura e equipamentos da usina a carvão visando avaliar em que grau é possível reaproveitar a infraestrutura existente; e outros aspectos que englobam questões regulatórias e operacionais como as estratégias de descomissionamento das antigas usinas e o treinamento de pessoal. Os principais fatores a serem analisados nos processos de C2N estão resumidos na Figura 31.

Figura 31. Principais aspectos de análise no processo de conversão de usinas a carvão para nuclear



4.1.2. Análise de localização

A análise de localização é um dos aspectos críticos do processo de conversão C2N. Usinas nucleares apresentam restrições de localização maiores que usinas térmicas a carvão, de modo que a viabilidade locacional é um dos aspectos mais críticos do processo. Nesse sentido, é necessário considerar aspectos geográficos, ambientais e regulatórios para assegurar a viabilidade técnica da conversão. Alguns fatores-chave que devem ser considerados incluem:

Topografia e geologia: Embora os SMRs apresentem menos restrições locais que usinas nucleares convencionais, alguns aspectos relacionados à topografia e à geologia são sensivelmente diferentes daquelas adequadas a centrais a carvão. Os principais manuais para a escolha da localização de centrais nucleares apontam a preferência por locais planos com ligeira inclinação para drenagem de água a fim de se evitar grandes trabalhos de escavação.

Proximidade de pântanos ou de áreas de inundação podem impactar a estabilidade do solo. Também são necessários estudos de permeabilidade das diferentes camadas do solo bem como a avaliação da influência e característica das águas subterrâneas que podem provocar a corrosão do concreto e do aço das estruturas de suporte.

Tendo em vista o grande peso dos reatores nucleares, o solo deve ser suficientemente sólido para suportar o peso das construções, as fundações devem ser mais maciças que àquelas adotadas em centrais a carvão. Dados sobre falhas superficiais, deslizamentos de terra e estabilidade do solo durante terremotos, eventos meteorológicos e hidrológicos extremos devem ser levantados e analisados. Áreas com condições geológicas adversas, que possam afetar a segurança de uma central nuclear, e que não possam ser corrigidas por tratamentos geotécnicos devem ser excluídas.

Transporte: A disponibilidade de transporte ferroviário ou aquaviário oferece grande vantagem competitiva para o transporte dos equipamentos uma vez que as dimensões e, principalmente, o peso dos principais equipamentos podem representar custosas soluções logísticas. A presença de vias de transporte rodoviário também é importante no desenvolvimento de planos emergenciais de evacuação.

Disponibilidade hídrica: UTEs a carvão utilizam água em três processos principais: resfriamento, lavagem de gases e tratamento de cinzas. Devido à sua eficiência térmica, entre 40% e 45%, as usinas a carvão tendem a consumir menos água que a maioria das usinas nucleares em operação atualmente. Entretanto, os processos de lavagem de gases e tratamento das cinzas têm alto potencial de contaminação da água com metais pesados como mercúrio e arsênio. Diversos estudos têm relacionado a acidificação dos corpos hídricos às atividades de mineração e à produção de energia por termelétricas a carvão.

A maioria das usinas nucleares em operação atualmente tem eficiência térmica entre 30% e 35% e, portanto, requerem maior volume de água para a remoção do calor dissipado em suas operações (IAEA, 2020). A disponibilidade de água também é essencial nos sistemas de segurança, uma vez que os reatores continuam gerando calor residual depois de desligados.

Por essas características, a substituição de usinas a carvão por usinas nucleares de mesma potência pode resultar no aumento do consumo de água para fins de arrefecimento. Por outro lado, elimina os impactos ambientais decorrentes da lavagem de gases e tratamento das cinzas, que ocorrem em usinas a carvão. Diferentes tecnologias de trocas de calor dos reatores refletem em modelos de SMRs podem apresentar menor consumo de água, de modo que a restrição de uso de água pode orientar a escolha da tecnologia nuclear adotada. Estas tecnologias alternativas de resfriamento podem, entretanto, significar maiores custos de operação que aqueles advindos do resfriamento a água.

Disponibilidade de área: A área necessária para as centrais nucleares depende principalmente da potência do reator utilizado e de seus sistemas de resfriamento. Uma aproximação simplista da relação entre potência e uso do solo aponta que para cada 1000 MW de potência são necessários aproximadamente 2,85 km² de área para as instalações (DALE, 2016).

Embora os edifícios do reator, da usina e administrativos ocupem espaços semelhantes aos das centrais a carvão, um dos aspectos mais críticos no dimensionamento da área necessária para usinas nucleares está relacionado às Zonas de Planejamento de Emergência (ZPEs).

Essas zonas reúnem requisitos relacionados à segurança nuclear, à proteção radiológica e aos conceitos de sistemas de defesa em profundidade que são muito mais rigorosos que aqueles adotados em centrais a carvão. Elas também consideram aspectos naturais no processo de seleção como a escolha de áreas imunes a inundações, deslizamentos, incêndios florestais ou outros eventos naturais extremos. As ZPEs também visam proteger as instalações de acidentes causados pelo homem como explosões, vazamentos de gás, acidentes aéreos, rompimento de barragens etc. Para tanto, essa zona restringe as atividades que são permitidas no entorno das centrais nucleares e leva em consideração aspectos como a densidade e distribuição populacional, a proximidade de instalações de serviços

públicos e industriais, a existência de áreas rurais destinadas à agricultura e pecuária, além da avaliação das infraestruturas de transporte. Outro fator relevante é o estudo de dispersão atmosférica por ação dos ventos e defesa radiológica em caso de dispersão de radionuclídeos.

O tamanho da ZPE varia conforme a potência e tecnologia do reator. Alguns modelos de SMR visam reduzir essa área aos limites do sítio de operações. Entretanto, a definição precisa da dimensão dessas zonas é objeto de estudos por parte dos agentes reguladores e pode ser alterado nas etapas de certificação e licenciamento.

4.1.3. Análise técnico-econômica de projetos C2N

Com relação à análise técnico-econômica de projetos C2N é importante que sejam considerados os seguintes fatores:

Reaproveitamento dos equipamentos e instalações: Uma das principais vantagens do C2N em relação à construção inicial num novo local é a possibilidade do reaproveitamento de instalações, equipamentos e edifícios existentes. Nos estudos de adequabilidade, podem ser avaliados a possibilidade do reaproveitamento das instalações de troca de calor residual, o tratamento de água assim como a subestação e linhas de transmissão que interligam o sistema à rede de transmissão. Outras estruturas de apoio como edifícios administrativos, unidades internas de combate a incêndios e unidade de saúde também podem ser reaproveitadas. Em cada caso é necessária a avaliação da necessidade de modernização e/ou expansão dessas instalações. Alguns dos edifícios existentes serão necessariamente demolidos para reforço e adequação estrutural para novos equipamentos.

Um ponto importante é a avaliação da possibilidade de reaproveitamento dos equipamentos principais como a turbina a vapor com seu sistema regenerativo. Nesse caso, há duas opções: *retrofit* que permite que a turbina a vapor opere com parâmetros próximos aos projetados; ou a repotenciação, que significa que a turbina a vapor terá que operar com parâmetros inferiores aos projetados de modo que sua potência de saída será significativamente menor.

Existem vários aspectos técnicos a se considerar nesses processos, entre eles a compatibilidade dos equipamentos, especialmente relacionados aos ciclos termodinâmicos que podem apresentar diferenças significativas entre usinas a carvão e nucleares. A maioria dos equipamentos de usinas a carvão não cumpre as normas da indústria nuclear, o que pode demandar circuitos intermediários entre a ilha nuclear e os equipamentos da central a carvão. Nesses casos, seriam necessárias novas análises de segurança para a usina combinada.

Emprego e transição da força de trabalho: A conversão da força de trabalho é um dos aspectos de maior apelo no processo de C2N. O objetivo é preservar, tanto quanto possível, a maioria dos postos de trabalho da usina de carvão, organizar a recapacitação, o recrutamento e a formação de novos funcionários.

Estudos empreendidos pelo DOE ao investigar desafios e benefícios da conversão C2N estimam um aumento de até 100% do número de empregos numa usina nuclear de potência equivalente. Isso significa a necessidade de contratação adicional mesmo que toda a força de trabalho da usina a carvão possa ser aproveitada.

A qualificação é um ponto central para a utilização do pessoal existente da central a carvão nas novas centrais nucleares. As necessidades de reciclagem ou requalificação podem ser divididas em três categorias de profissionais:

- Mínimo – segurança, técnicos, manutenção, laboratório, serviços de emergência
- Avançado – operadores de campo, supervisão e gestão geral, treinamento
- Especialidade – engenheiros nucleares, operadores de sala de controle, licenciamento, gestão de centrais e engenharia.

A estimativa da transição da força de trabalho de uma central a carvão para nuclear denota a redução de alguns postos de trabalho que podem ser requalificados além da contratação de profissionais de segurança e de treinamento, bem como significativo quadro de especialistas como técnicos e engenheiros nucleares. Várias dessas funções exigem qualificação que não podem ser adquiridas a partir de programas de requalificação de curto ou médio prazo. O maior nível de qualificação também se reflete num quadro geral de melhores salários dos profissionais que trabalham em usinas nucleares.

Caso SMRs sejam escolhidos como tecnologia de transição é preciso avaliar com cuidado o quadro de conversão do número de empregados. A maioria dos SMRs em desenvolvimento visa a redução do quadro de pessoal necessário para sua operação. No entanto, os modelos em desenvolvimento ainda não apresentam uma definição clara do número de funcionários necessários para sua operação.

O tipo de tecnologia nuclear selecionada determina a formação necessária para os funcionários da nova central nuclear, mas também pode requerer formação adicional para as entidades reguladoras e organizações de apoio técnico. Um aspecto muito importante é se o reator escolhido manterá a tecnologia PWR, já em operação no Brasil, ou se será de outro tipo, por exemplo, refrigerado a sódio (SFR) ou um reator a gás de alta temperatura (HTGR). O tempo de licenciamento, construção e o tempo necessário para treinar o pessoal dependem do nível de conhecimento da tecnologia nuclear. A título de exemplo, a construção de um *European Pressurised Reactor* (EPR) na Finlândia levou 18 anos em vez dos 4 anos planejados (WNN, 2023), embora a Finlândia já opere reatores do tipo PWR. Na Turquia, foram necessários cerca de 20 anos para treinar especialistas nucleares em nível nacional antes de iniciar a construção da primeira usina nuclear do país (IAEA, 2022).

Arcabouço regulatório: Além de desafios e restrições técnicas existem aspectos legais que devem ser superados antes do início de conversão C2N. A Constituição da República Federativa do Brasil (1988) define no Art. 21 inciso XXIII que a construção e operação de reatores nucleares no Brasil é monopólio do Governo Federal, o que é feito atualmente através da Eletronuclear, e no Art. 225, § 6º que “usinas que operem com reator nuclear deverão ter sua localização definida em lei federal”, ou seja, deve ser votada e aprovada pelo Congresso Nacional. Para o processo de licenciamento deste tipo de empreendimento e atividade, a Lei Complementar 140/2011 na alínea “g” do inciso XIV do artigo 7º estabelece que é necessário parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Nesta etapa, são seguidas as regras dispostas nas normas CNEN 1.03 (Aprovação de Local para Centrais Nucleoelétricas) e CNEN NE 1.04 (Licenciamento de Instalações Nucleares). O parecer da CNEN é condição necessária para que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), no papel de órgão responsável pelo licenciamento ambiental, defina quais os procedimentos devem ser realizados. Todos esses processos demandam muito tempo para serem concluídos, contudo, existe a possibilidade de alguns serem executados concomitantemente.

Aceitação pública: Muitas usinas a carvão quando construídas se localizavam longe do perímetro urbano dos municípios, em alguns casos o crescimento das cidades aproximou este perímetro das

usinas, aumentando significativamente a densidade populacional no seu entorno. A aceitação pública de usinas nucleares ainda é tema controverso no Brasil e deve ser levado em conta nos processos de C2N. Desenvolvedores e proprietários das usinas devem adotar uma abordagem baseada no diálogo e consentimento com a população local para projetar, localizar e operar as novas instalações. Estudos que avaliam o sucesso da aceitação pública de populações vizinhas de centrais nucleares demonstram que o processo deve ser baseado desde o princípio na participação e envolvimento pleno da comunidade. Os propositores devem estar dispostos a ouvir as suas preocupações e necessidades e estarem prontos para responder, incluindo ajustes dos planos de implantação. Embora a participação social aumente a probabilidade de uma implantação bem-sucedida, não é garantia de sucesso.

4.1.4. Alguns exemplos de C2N

Um exemplo de C2N vem sendo realizado com a TerraPower, em Kemmerer, Wyoming (EUA) onde a usina térmica a carvão Naughton está sendo substituída por uma planta nuclear. As duas unidades restantes da usina de Naughton estão planejadas para terem sua operação finalizada em 2025. A TerraPower e seus parceiros no projeto avaliaram diversos fatores para determinar a adequação do local, como acesso à infraestrutura existente, demanda da rede, características do local e a capacidade de obter uma licença da Nuclear Regulatory Commission (NRC). Da mesma forma que o carvão era um recurso energético essencial quando a usina de Naughton foi construída em 1960, assim é o reator Natrium hoje para esta localidade (WNA, 2024). Natrium é um reator rápido de sódio de 345 MW acoplado a um sistema de armazenamento de energia de sal fundido (TerraPower, 2025).

Outro exemplo relevante de C2N é o projeto de SMR desenvolvido pela empresa NuScale Power, nos Estados Unidos. Seu design foi aprovado pela NRC em janeiro de 2023, sendo o primeiro SMR a obter essa certificação regulatória no país (NRC, 2023). Esse projeto está inserido na iniciativa *Carbon Free Power Project* (CFPP), liderada pela *Utah Associated Municipal Power Systems* (UAMPS), com o objetivo de promover a redução de emissões de carbono e a substituição de usinas térmicas a carvão por uma solução de geração elétrica flexível, confiável e de médio porte (OREGON CAPITAL CHRONICLE, 2024). Prevvia-se a instalação de até 12 módulos SMR NuScale – totalizando 462 Mwe – no campus do *Idaho National Laboratory* (INL), aproveitando-se da infraestrutura existente para otimizar operações e pesquisas. A proposta pretendia não apenas gerar energia limpa para os municípios associados à UAMPS, mas também integrar-se ao processo de descomissionamento de usinas a carvão nos estados do oeste dos EUA, como Utah, Idaho e Nevada.

Contudo, o projeto CFPP foi cancelado, após projeções indicarem que o custo de geração elétrica havia subido consideravelmente e o orçamento total do projeto havia ultrapassado o previsto (OREGON CAPITAL CHRONICLE, 2024; UTILITY DIVE, 2023). Esse aumento de custos foi atribuído a fatores como inflação, encarecimento de materiais industriais e dificuldades de padronização regulatória (HEATMAP, 2023). O cancelamento teve consequências diretas para a NuScale, incluindo demissões do quadro funcional (OREGON CAPITAL CHRONICLE, 2024), além de gerar debates sobre a viabilidade técnica e econômica dos SMRs em um cenário dominado por fontes renováveis de baixo custo. Apesar da suspensão do projeto original, a NRC aprovou recentemente uma versão atualizada do design, com módulos de 77 Mwe, abrindo possibilidade para futuros projetos (REUTERS, 2025).

4.2. Outras alternativas de conversão de usinas a carvão

O conceito de coqueima (cofiring) consiste no uso de um ou mais combustíveis suplementares em uma caldeira que foi originalmente projetada para a queima de um combustível (BAZZO, et.al, 2008).

Para efeito de definição, baseia-se na substituição parcial do uso da componente fóssil do combustível por biomassa nova e/ou residual (Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, Resíduos Sólidos Florestais - RSF e Resíduos Sólidos Agrícolas - RSA). A substituição parcial do carvão mineral vem sendo realizada em plantas de geração de energia elétrica (AL-MANSOUR & ZUWALA, 2010) com base em material orgânico (biomassa), resultando numa redução do consumo total de carvão mineral e, portanto, da emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (MEDRADO, 2008). Existem muitas experiências internacionais que utilizam até 20% de biomassa como combustível, não sendo exigidas grandes alterações nas caldeiras para a hibridização com esse percentual. Por outro lado, a substituição integral de carvão por biomassa foi realizada em poucos locais internacionalmente, e possui custos mais elevados para a conversão de caldeiras e outros equipamentos (INODÚ, 2018).

Como vantagens da coqueima, elenca-se: (i) redução das emissões por unidade de energia produzida, não só de CO₂ como de gases poluentes (SO_x, NO_x, entre outros); (ii) minimização de desperdícios, especialmente em função do possível uso de resíduos da agricultura com potencial energético; e (iii) menor geração de resíduos, já que a produção de cinzas da biomassa é bastante inferior à do carvão. Por outro lado, a introdução de biomassa traz alguns desafios operacionais: (i) pode aumentar a corrosão da caldeira em função da composição da biomassa; (ii) as propriedades da biomassa são mais variáveis (dependem da origem, transporte, manejo etc.). Logo, o sistema de controle de combustão precisa ser mais complexo (INODÚ, 2018).

4.2.1. Gás Natural

A conversão de usinas termelétricas movidas a carvão para operarem com gás natural vem ganhando destaque como uma solução eficaz de transição energética. Essa abordagem permite um aproveitamento da infraestrutura já existente, ao mesmo tempo em que proporciona ganhos substanciais em desempenho ambiental, eficiência operacional e viabilidade econômica. À medida que os reguladores e investidores pressionam por uma matriz energética menos intensiva em carbono, a substituição do carvão pelo gás natural representa uma alternativa prática para reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO₂), além de praticamente eliminar poluentes como enxofre (SO₂), mercúrio e material particulado.

O gás natural, quando comparado ao carvão, pode reduzir as emissões de CO₂/MWh em até 60% (IEA, 2019). Além disso, elimina a necessidade de sistemas complexos de controle de poluentes que costumam ser exigidos em plantas a carvão, simplificando a operação e reduzindo os custos com conformidade ambiental. Outro aspecto relevante é a eliminação de impactos associados à mineração e ao transporte do carvão, o que contribui para menor degradação de solo e menor contaminação hídrica.

Do ponto de vista técnico-operacional, a conversão é relativamente direta e pode ser realizada em um prazo mais curto do que a construção de uma nova planta. Isso se deve, em grande parte, ao reaproveitamento de ativos estruturais já instalados, como caldeiras, turbinas, transformadores, sistemas de transmissão e outras estruturas civis. A principal intervenção ocorre na substituição dos queimadores a carvão por queimadores a gás natural, além da instalação de sistemas de tubulação, ventilação, controle de pressão e automação. Embora os queimadores em si não representem o maior custo da conversão, os sistemas de controle e infraestrutura de gás natural exigem engenharia especializada, principalmente em plantas com configuração mais antiga ou espaço limitado (HATCH, 2023).

Em muitos casos, a conversão pode estender a vida útil da planta por vários anos, justificando o investimento mesmo para usinas com mais de duas décadas de operação. O aproveitamento da força de trabalho local, com necessidade reduzida de requalificação, também contribui para a viabilidade econômica e social do projeto.

Apesar das vantagens, há desafios a serem enfrentados. Alguns envolvem limitações físicas das plantas, como espaço insuficiente para instalação de novos sistemas de tubulação e ventilação. Em certos casos, adaptações estruturais significativas podem ser necessárias. Outro fator crítico é a volatilidade dos preços do gás natural, que pode afetar a lucratividade da planta no longo prazo. Para mitigar esse risco, é comum o uso de instrumentos financeiros ou contratos de fornecimento de longo prazo. Além disso, usinas próximas ao fim de sua vida útil ou com capacidade muito baixa de geração podem não justificar o investimento de conversão, sendo mais vantajoso o encerramento de suas operações (IEA, 2019). Por fim, a conversão de carvão para gás natural não apenas reduz as emissões e melhora o desempenho ambiental, como também prepara o terreno para um futuro mais limpo com integração gradual do hidrogênio como combustível. Dessa forma, essa estratégia de transição energética permite alinhar objetivos de curto prazo — como confiabilidade e redução de emissões — com metas de longo prazo de descarbonização profunda do setor elétrico.

4.2.2. Biomassa

A transição de UTEs movidas a carvão para sistemas alimentados por biomassa surge como uma rota viável para a sustentabilidade energética e redução de emissões. Tais conversões aproveitam parte da infraestrutura já existente — como caldeiras, turbinas e sistemas de controle — minimizando os custos e o impacto ambiental associados à construção de novas centrais renováveis. No estudo realizado na central de Pego, em Portugal, os autores propõem um modelo hipotético em que toda a entrada de carvão é substituída por biomassa, produzida localmente ou importada, o que permitiria manter a capacidade instalada, embora exigindo adaptações específicas nos equipamentos (BARROS et al., 2022).

Essas adaptações envolvem mudanças nas caldeiras, que precisam operar de forma eficiente com biomassa, que geralmente possui maior conteúdo de umidade e menor poder calorífico comparada ao carvão. Já a chaminé e o sistema de exaustão requerem ajustes para lidar com emissões específicas da biomassa, especialmente partículas e compostos voláteis. Outro ponto crítico é a necessidade de um sistema de logística e armazenamento adaptado: a biomassa exige maior volume de estocagem, além de prevenção contra degradação e risco de incêndio.

Do ponto de vista ambiental, a troca reduz significativamente as emissões de SO_2 , NO_x e partículas, pois a biomassa apresenta baixos teores de enxofre e nitrogênio, além de metais pesados. Somado a isso, quando oriunda de resíduos agrícolas ou florestais, a biomassa pode ser considerada carbono neutra, pois o CO_2 liberado na combustão é balanceado pelo CO_2 absorvido durante o crescimento da matéria-prima (NUNES et al., 2014).

Outro fator de risco é a presença de minerais na biomassa — como potássio, sódio, cloro e sílica — que podem causar incrustações, corrosão e alteração no sistema de combustão. Esses contaminantes formam depósitos nas caldeiras, exigindo materiais especiais, revestimentos resistentes e controle rígido da temperatura para mitigar plugamentos e desgaste prematuro dos equipamentos.

Do ponto de vista técnico-operacional, uma alternativa é o co-firing — mistura de biomassa com carvão — o que permite realizar transições graduais sem interromper totalmente a operação. Por exemplo, ao integrar até 30 % de biomassa, estudos apontam para reduções de 67–85 g CO_2/kWh apenas com a queima, sobretudo se combinado com sistemas de captura de carbono (CCS/BioCCS),

que potencializam a redução de emissões e podem até conduzir a operações com balanço negativo de CO₂ (SMITH et al., 2021).

Até mesmo o desempenho da caldeira melhora com a mistura de diferentes tipos de biomassa, reduzindo a emissão de poluentes e otimizando a combustão (SMITH et al., 2021). No entanto, a moagem da biomassa é mais complexa do que a do carvão, devido à variação de dureza, umidade e fibrosidade. Tecnologias de pré-tratamento como torrefação (aquecimento controlado entre 200e320 °C) aumentam a densidade energética e a facilidade de moagem, tornando a biomassa mais similar ao carvão, além de reduzir sua reatividade e teor de umidade.

Esse modelo de conversão destaca-se como um caminho prático para reduzir emissões sem abandonar completamente a base térmica, especialmente em regiões com disponibilidade de resíduos orgânicos.

Com o intuito de realizar uma avaliação inicial, a EPE utilizou o simulador de viabilidade econômica do aproveitamento energético de resíduos rurais, disponível em <https://github.com/EPE-GOV-BR/sienergia-viewer>, e aplicável a várias tecnologias, dentre as quais está o cofiring em cimenteiras, siderúrgicas e termelétricas à carvão. Esse simulador considera os custos de aquisição do insumo, o carregamento para a sede de cada cidade, além do frete entre a produção e o consumo, quando for o caso, em comparação com a receita por substituir o carvão. As simulações partem da base de dados de produção agrícola do IBGE, de 2022, de fatores de produção de resíduos das culturas agrícola, de seus poderes caloríficos e do percentual que pode ser retirado do solo sem causar danos agrônômicos (EPE, 2014). Resultados preliminares indicam disponibilidade de resíduos de biomassa suficientes no raio de viabilidade das termelétricas nacionais. Ou seja, a ferramenta da EPE indica potencial viabilidade econômica para a substituição do carvão mineral por biomassa. Por outro lado, estudos mais aprofundados são necessários para detalhar os custos do projeto e trazer conclusões mais assertivas.

4.3. Aproveitamento da infraestrutura para outras renováveis

O descomissionamento de usinas termelétricas a carvão e áreas de mineração associadas representa uma oportunidade estratégica para a transição energética. Em vez de simplesmente encerrar essas instalações, é possível reutilizar suas estruturas e terrenos em novos empreendimentos solares, eólicos ou hidrelétricos reversíveis, integrando-se a redes modernas de energia limpa.

Para o aproveitamento solar, antigas minas a céu aberto e áreas degradadas oferecem terreno amplo e já conectado à rede elétrica. A viabilidade desse modelo é substanciada pela geração de energia em escala e pelo uso de infraestrutura existente (estradas, linhas de transmissão), reduzindo custos e impactos ambientais.

Além da instalação de painéis, existe o potencial de se combinar essa geração com sistemas de armazenamento por hidrelétrica reversível. Mina a céu aberto pode ser usada como reservatório inferior ou superior, a depender do terreno.

A conversão para energia eólica também encontra espaço em áreas mineradas ou regiões degradadas próximas. Esses locais favorecem uma transição visual e ambiental minimizada, embora exijam engenharia cuidadosa para fundações e mitigação de instabilidades do solo.

Comparando emissões, a transição do carvão (em média 820 g CO₂/kWh) para soluções solares (média de 37 g CO₂/kWh), eólicas (~12 g CO₂/kWh) e hidro reversível (<24 g CO₂/kWh) reduz drasticamente a pegada de carbono (IRENA, 2020). Além disso, sistemas híbridos (solar+hidro reversível,

eólica+armazenamento) são capazes de fornecer energia firme e previsível, mantendo a segurança da rede sem depender de usinas fósseis.

Os benefícios socioeconômicos incluem geração de empregos locais, recuperação de áreas degradadas e fortalecimento de economias regionais afetadas pela desindustrialização.

Os desafios principais envolvem questões técnicas — como estabilidade do terreno para fundações, contenção de contaminação em reservatórios minerários, e obras civis em locais contaminados — e a necessidade de adequar ou estender linhas de transmissão e permissões ambientais.

Em síntese, a conversão de usinas e áreas de mineração a carvão em sistemas solares, eólicos e hidrelétricos reversíveis representa um caminho tangível e alinhado com a neutralidade de carbono. Aproveita infraestrutura já existente, reduz emissões, reativa a indústria local e fortalece a resiliência da rede elétrica. No entanto, exige planejamento integrado — técnico, ambiental, regulatório e financeiro — e respaldo governamental para garantir sucesso e sustentabilidade a longo prazo.

4.4. Prospeção de outros usos possíveis para o carvão nacional

4.4.1. Rotas de captura e estocagem de carbono

A remoção de dióxido de carbono (CDR) tem um papel importante entre as estratégias de mitigação de emissões de GEE, especialmente ao compensar emissões residuais de setores de difícil abatimento (IPCC, 2022). Essa solução engloba tecnologias e métodos que capturam, transportam e armazenam o dióxido de carbono de forma segura e duradoura, contribuindo para o atendimento de compromissos de neutralidade climática.

Nesse contexto, os estudos da EPE (2024) e, mais recentemente, de Azevedo et al. (2025) buscaram identificar áreas mais favoráveis à implantação de projetos de captura e armazenamento de carbono no país. Especificamente sobre a região Sul, ambos indicam que região reúne condições relevantes para o desenvolvimento desse tipo de projeto. Entre elas se destacam a presença de indústrias intensivas em emissões (cimento, termelétricas, refino, siderurgia), infraestrutura já estabelecida (rodovias, dutos e portos) e possíveis sítios para armazenamento de CO₂. Além disso, considerando que o setor agrícola é fortemente desenvolvido na região, pode-se vislumbrar potenciais sinergias com projetos de captura e armazenamento de carbono a partir de biomassa (Bio-CCS ou BECCS). O aproveitamento dessa sinergia pode gerar emissões líquidas negativas, ampliando os benefícios climáticos da tecnologia e contribuindo para descarbonização regional e nacional.

A tecnologia de Captura, Armazenamento e Utilização de Carbono com produção de fertilizantes (CCUF) vem sendo testada em países como a China, permitindo capturar uma fração considerável do CO₂ e do SO₂ gerados nas termelétricas para uso em processos industriais, com a respectiva produção de bicarbonato de amônio e sulfato de amônio - fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura. Uma das vantagens observadas ao empregar a CCUF é a transformação de um desafio ambiental em uma oportunidade econômica. No caso do Brasil, por exemplo, há uma significativa dependência externa de importação dos produtos nitrogenados mais aplicados atualmente na agricultura nacional.

Através de PD&I é possível a adaptação dessa tecnologia para processar diferentes fontes de carbono, incluindo biomassa e resíduos, ampliando seu potencial de aplicação. Algumas possibilidades de transformação e uso do CO₂ capturado são:

- a. *Síntese de Metanol*: O CO₂ pode ser convertido em metanol, um importante composto químico que serve como combustível e como matéria-prima na produção de plásticos, solventes e outros químicos. O processo geralmente envolve a reação do CO₂ com hidrogênio;
- b. *Produção de Ureia*: Além da produção dos fertilizantes nitrogenados mencionados, um dos usos mais comuns do CO₂ capturado é combinado com amônia para a produção de ureia, outro fertilizante nitrogenado amplamente utilizado nas diferentes regiões produtoras agrícolas do Brasil;
- c. *Carbonatação Mineral*: O CO₂ pode ser utilizado para carbonatar minerais, como o carbonato de cálcio. Esse processo não só transforma o CO₂ em um produto sólido que pode ser utilizado na construção civil, mas também ajuda a estabilizar o CO₂, tornando-o menos suscetível a ser liberado novamente na atmosfera;
- d. *Produção de Combustíveis Sintéticos*: O CO₂ pode ser utilizado em processos de síntese para produzir combustíveis sintéticos, como combustíveis líquidos que podem ser usados em motores de combustão interna; e
- e. *Produção de Produtos Químicos*: O CO₂ pode ser convertido em uma variedade de produtos químicos, como ácido fórmico, ácido acético e outros compostos que são utilizados como intermediários em diversas reações químicas na indústria. Esses produtos têm aplicações em plásticos, alimentos, farmacêuticos e mais.

Uma das principais alternativas para a destinação permanente do CO₂ capturado é o armazenamento geológico, como reservatórios de petróleo e gás natural, formações salinas e jazidas de carvão mineral (IPCC, 2018). No país, a Lei do Combustível do Futuro (n. 14.993/2024) atribuiu à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a responsabilidade pela regulação e fiscalização dessas atividades. Desde então, a ANP vem conduzindo estudos e promovendo ações voltadas à regulamentação do tema (ANP, 2024).

As formações carboníferas apresentam alta afinidade para adsorver CO₂ em sua matriz porosa (IPCC, 2018). Durante o processo, o CO₂ é injetado por meio de poços e flui pelas fissuras naturais do carvão sendo adsorvido na superfície, deslocando gases de menor afinidade, como metano. O metano liberado pode ser explorado como recurso energético, configurando recuperação avançada de metano em camada de carvão (ECBM).

A capacidade de armazenamento e a permanência do gás no subsolo depende principalmente das propriedades do reservatório (permeabilidade, pressão e porosidade) e dos mecanismos de aprisionamento (estrutural, residual, solubilidade e mineral) (IEA, 2022). No caso do carvão, Hosseinzadeh et al. (2024) observaram que a capacidade de adsorção de CO₂ geralmente aumenta com maiores valores de refletância vitrinita. Assim, carvões de alto rank (grau de maturidade geológica), como betuminoso ou antracito, e com baixo teor de cinzas seria mais adequado para armazenamento de CO₂.

Para avaliar a viabilidade do armazenamento de CO₂ em jazidas de carvão mineral no Brasil, é necessário aprofundamento das pesquisas para aumentar conhecimento sobre os reservatórios e sobre alternativas de integração entre as diferentes fontes de emissão aos locais de armazenamento. A capacidade de armazenamento de CO₂ depende de diversos fatores, e considerando que o carvão mineral brasileiro é classificado como de baixa qualidade, com elevado teor de inertes (cinzas) e enxofre, torna-se ainda mais necessário realizar estudos detalhados sobre seu comportamento como reservatório geológico, incluindo a capacidade efetiva de adsorção. Adicionalmente, é importante estudar a estabilidade da formação ao longo do tempo e os riscos associados à migração ou vazamento do CO₂.

Ainda existem propostas não-convencionais de remoção de CO₂ a partir da indústria de carvão mineral destacadas no trabalho de Silva (2023). Uma alternativa é o aproveitamento das cinzas do carvão mineral para produção de zeólitas e utilização para captura de CO₂ na pós-combustão da própria termelétrica a carvão e em termelétricas a biomassa com potencial de gerar emissões negativas. Outra proposta envolve a utilização de minas de carvão deplecionadas e sua infraestrutura associada para armazenamento de carbono oriundo de biomassa convertida a biochar. E, por fim, a co-queima de biomassa com carvão mineral associada a captura e armazenamento de carbono que também tem potencial de gerar emissões negativas. Essa última abordagem pode, ainda, beneficiar a indústria cimenteira que fizer o aproveitamento das cinzas geradas, caso as emissões negativas sejam alocadas nesse recurso.

4.4.2. Liquefação e gaseificação do carvão

A liquefação e gaseificação são processos antigos utilizados primordialmente como fonte de energia para iluminação, aquecimento e até cocção de alimentos. Durante a segunda guerra mundial, este processo foi utilizado em pequena escala para geração de combustível.

Atualmente, ganham destaque com a possibilidade de transformação do carvão em produtos químicos (ISCS, 2025). Estes processos químicos permitem a produção de commodities químicas como polímeros, fibras, fertilizantes e combustível. Eles são processos industriais no qual o carvão é convertido em um gás combustível chamado “gás de síntese” (syngas), composto principalmente de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂). Esse gás pode ser utilizado como insumo para fabricar produtos como metanol, amônia, plásticos e fertilizantes, e até ser usado como combustível ou eletricidade (REED e DAS, 1998). O gás de síntese (syngas) pode ser utilizado em processos Fischer-Tropsch para produção de combustíveis líquidos a partir do carvão (liquefação indireta).

O processo de gaseificação é feito através de três tecnologias principais: (i) gaseificadores de leito fixo, (ii) gaseificadores de leito fluidizado e (iii) gaseificadores indiretos (Pellegrino, 2006). Além delas, há tecnologias de gaseificação em desenvolvimento que podem ganhar destaque nos próximos anos (ISCS, 2025). Entre elas, destacam-se a gaseificação em água supercrítica; a gaseificação por plasma; a tecnologia Chemical Looping Gaseification (CLG). Há ainda a integração com pirólise, permitindo a separação de carvão em frações valiosas, e pesquisas combinando carvão com biomassa ou resíduos para reduzir emissões.

Um desafio que a gaseificação e liquefação enfrentam é o alto fator de emissão de gases de efeito estufa, maiores até que da indústria petroquímica (ISCS, 2025). Entretanto, como a gaseificação e liquefação gera fluxos concentrados de CO₂, estes processos podem se combinar com tecnologias de Captura e Armazenamento de carbono (CCS). Assim, é possível alinhar o desenvolvimento desta indústria com compromissos climáticos.

4.4.3. Armazenamento Térmico de Energia Sensível (Sensible Heat Thermal Energy Storage – SHTES)

Devido à baixa flexibilidade de plantas termelétricas a carvão, têm surgido alternativas de adição de unidades de armazenamento térmico a essas usinas como forma de aprimoramento. O conceito dessa adição é transformar uma planta com geração constante de eletricidade em uma planta flexível, que seja operada especialmente para o atendimento de horários de pico. Isso reduz o consumo de carvão e as emissões da planta. As duas principais tecnologias utilizadas são o armazenamento de baixa temperatura em tanque de água e o armazenamento de alta temperatura com sal fundido. O armazenamento térmico é uma tecnologia madura e que exige baixo investimento. No entanto, sua aplicação conjugada a plantas termelétricas a carvão tem sido pouco explorada comercialmente. Adicionalmente, há que se considerar que o aumento da flexibilidade na operação das termelétricas

a carvão pode se dar a partir de outros aprimoramentos, e não necessariamente com o uso de armazenamento térmico. Novas técnicas de controle, a renovação das unidades geradoras e o uso de sistemas auxiliares têm sido utilizados comumente com o intuito de melhorar o tempo de resposta das termelétricas (WANG et al. 2024).

Uma frente de estudos recente é o uso de rejeitos da indústria do carvão mineral (escória) como material para armazenamento térmico de energia sensível. Um estudo analisou aplicações para a China e encontrou resultados variados a depender do tipo do carvão utilizado. Por exemplo, a escória do carvão Fukang demonstrou excelente estabilidade térmica e durabilidade, podendo ser usado para armazenamento térmico a até 1.000 °C. Por outro lado, outros tipos de escórias granuladas tiveram resultados ruins devido ao baixo grau de cristalização, o que exigiria um processamento adicional (LAI; CEN; ZHOU, 2022). Portanto, análises específicas para o carvão nacional são necessárias para avaliar a viabilidade de sua aplicação para armazenamento térmico.

4.4.4. Grafite sintético

O grafite é um material estratégico amplamente utilizado em diversas aplicações devido às suas excelentes propriedades, como condutividade, resistência ao calor e corrosão e alta plasticidade. Ele pode ser natural ou sintético. O grafite natural tem pureza variável e alto custo, enquanto o sintético, geralmente produzido a partir de coque de petróleo, oferece maior controle e pureza. O carvão mineral, especialmente o antracito, é um candidato promissor para a produção de grafite sintético por ser abundante, barato e com alto teor de carbono. No entanto, os métodos atuais de grafitação (como tratamento a altas temperaturas (> 2500 °C) e uso de catalisadores) são caros e complexos. Adicionalmente, o Brasil não possui reservas de antracito, inviabilizando esse tipo de produção. Por outro lado, estudos recentes, tem buscado soluções tecnológicas para a produção de grafite sintético a partir de carvão do tipo linhito. Técnicas que combinam alta temperatura e alta pressão (HTHP) demonstraram em laboratório resultados promissores. No entanto, a transformação de carvão do tipo linhito em grafite sintético ainda carece de aplicações comerciais (WANG e ZHANG, 2022).

4.4.5. Agregado em cimento ou concreto

As cinzas volantes, subproduto da queima de carvão em usinas termelétricas, se destacam como uma das principais adições minerais empregadas na substituição parcial do clínquer na produção de cimento e concreto (Herath *et al.*, 2021). Essa substituição resulta em menor emissão de CO₂ e maior sustentabilidade na cadeia produtiva da construção civil devido a redução da produção de clínquer, responsável pela maior parte das emissões durante a produção de cimento.

Com uma geração global próxima a 1 bilhão de toneladas por ano, esse material encontra-se amplamente disponível, embora ainda subutilizado em relação ao seu potencial de reaproveitamento (Heidrich *et al.*, 2013).

Na produção de concreto, destaca-se a formulação denominada *High-Volume Fly Ash Concrete* (HVFA), que permite substituir até 70% do cimento por cinzas volantes (Hoppe *et al* 2013). Estudos mostram que substituições na faixa de 50% a 60% proporcionam bons resultados mecânicos, embora teores mais elevados possam comprometer o desempenho em idades iniciais devido à menor reatividade das cinzas quando utilizadas isoladamente (Hoppe *et al.*, 2013, Herath *et al.*, 2021).

No Brasil, a norma ABNT NBR 16697:2018 regula os requisitos para o Cimento Portland, incluindo os limites e critérios para o uso de adições minerais como as cinzas volantes. Embora não estabeleça um limite único para todos os tipos de cimento, a norma define parâmetros físico-químicos e mecânicos que devem ser atendidos, garantindo o desempenho e a durabilidade do produto.

Assim, o uso de cinzas volantes contribui tanto para a redução das emissões de gases de efeito estufa no setor da construção, além de promover a economia circular e o uso sustentável de resíduos industriais.

5. Transição Energética Justa no Contexto Brasileiro

5.1. As UTEs a carvão mineral e as atividades de mineração

- *No Brasil, o carvão representa 4,5% da oferta total de energia primária.*
- *Em 2024, o carvão mineral representou 1,3% da oferta interna de energia elétrica, considerando tanto a produção nacional quanto a importação e representou cerca de 20% das emissões do setor energético e 0,5% das emissões de GEEs nacionais totais.*
- *Entre 2016 e 2018 foram desativadas quatro UTEs (538 MW). Estão em operação sete UTEs que consomem carvão mineral nacional (1.460 MW).*
- *Estima-se que o descomissionamento das UTEs e minas a carvão resultou na perda de aproximadamente 1.150 empregos diretos e 1.600 empregos indiretos.*

Diferentemente do que se observa na matriz energética global, onde o carvão possui participação significativamente mais elevada, no Brasil esse recurso representa 4,5% da oferta total de energia primária (EPE, 2025). Sua utilização no país concentra-se, principalmente, em duas frentes: como combustível para a geração de energia elétrica, incluindo seu uso em processos industriais e como insumo na indústria siderúrgica, especialmente na produção de coque, ferro-gusa e aço.

Segundo dados da EPE (2025), em 2024, aproximadamente 43% do consumo de carvão vapor no Brasil foi direcionado a usinas termelétricas, enquanto os 57% restantes foram consumidos por setores industriais. No que se refere à oferta interna de energia elétrica, o carvão mineral respondeu por 1,3% em 2024, percentual que considera tanto o carvão de origem nacional quanto o importado. Esses dados não distinguem entre as usinas situadas na região Sul, que utilizam predominantemente carvão nacional, daquelas que dependem do insumo importado.

De acordo com o Sistema de Informações de Geração da Aneel (SIGA), estavam em operação, em junho de 2025, treze usinas que utilizam o carvão mineral como combustível, seja ele nacional ou importado, somando 3.086 MW de potência outorgada e representando 1,4% da participação da fonte na matriz elétrica.

Do total de usinas termelétricas a carvão mineral, sete consomem carvão mineral nacional e configuram 1.460 MW de capacidade instalada e seis são abastecidas com carvão importado, com capacidade de 1.626 MW nos estados do Ceará, Maranhão, Pará e Minas Gerais. Destaca-se que, entre 2016 e 2018, quatro usinas térmicas, somando 538 MW, foram desativadas, todas no Rio Grande do Sul, a saber: São Jerônimo, Charqueadas, Presidente Médici A e Presidente Médici B. A UTE Figueira, apesar de constar como uma usina em operação de acordo com o SIGA, despachou pela última vez em fevereiro de 2024 segundo dados do ONS¹⁷.

Em 2024, o carvão mineral respondeu por cerca de 23% da geração de eletricidade de origem fóssil e por aproximadamente 30% das emissões de gases de efeito estufa associadas às usinas termelétricas (IEMA, 2025). No recorte do setor energético, segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), a geração de eletricidade a partir do carvão mineral

¹⁷ Até 30/06/25 tanto na ANEEL quanto no ONS Candiota III aparece como capacidade instalada e gerando. Já Figueiras aparece como em operação na Aneel, mas tendo gerado pela última vez em fevereiro de 2024 segundo dados do ONS.

representou cerca de 20% das emissões do setor energético, enquanto sua contribuição para as emissões nacionais totais foi de aproximadamente 0,5% em 2024 (SEEG, 2025).

As usinas em operação e desativadas e algumas de suas características encontram-se sintetizadas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Usinas termelétricas a carvão mineral nacional

Usina	Data Operação- Desativação	Potência (MW)	Eficiência (%)	Proprietário	Localização
Em operação					
Figueira	01/01/1963	20	14,8	Copel Geração e Transmissão	Figueira - PR
Jorge Lacerda I e II	01/03/1965	190	25	Diamante Geração de Energia	Capivari de Baixo - SC
Jorge Lacerda III	01/02/1979	220	28	Diamante Geração de Energia	Capivari de Baixo - SC
Jorge Lacerda IV	01/02/1997	330	34,7	Diamante Geração de Energia	Capivari de Baixo - SC
Candiota III	01/01/2011	350	36,5	Ambar Sul Energia	Candiota - RS
Pampa Sul	28/06/2019	345	35	Usina Termelétrica Pampa Sul	Candiota - RS
Desativadas					
Charqueadas	1962 – 2016	72	20,5	Tractebel Energia - Engie	Charqueadas - RS
São Jerônimo	1953 – 2013	20	14,3	CGTEE	São Jerônimo - RS
P. Médici A	1974 – 2017	126	24,5	CGTEE	Candiota - RS
P. Médici B	1986 – 2017	320	25	CGTEE	Candiota - RS

Fonte: ANEEL, 2025; Aneel e EPE, 2016

O Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência de 2026 (LRCAP UTEs a Gás Natural, Carvão Mineral e UHEs de 2026), com vistas ao reforço da segurança do suprimento do Sistema Interligado Nacional, permitiu a participação de usinas a carvão mineral nos Produtos com início de operação em 2026, 2027, 2028, 2029, 2030 e 2031, considerando prazo de suprimento de 10 anos. O certame incorporou requisitos mínimos de flexibilidade operativa, com o objetivo de assegurar adequada resposta das usinas às variações de carga do sistema elétrico e à complementariedade com fontes de geração variáveis. Esse aspecto técnico se mostra desafiador para as usinas a carvão, cuja tecnologia resulta em menores índices de flexibilidade.

Foram cadastradas para participação no leilão três UTEs a carvão importado, totalizando 1.440 MW de potência, sendo que todas se sagraram vencedoras. As UTEs Candiota e Jorge Lacerda não participaram do certame, já que ambas possuem contratos de comercialização de energia elétrica vigentes, com períodos de suprimento coincidentes com o horizonte temporal do leilão, o que inviabilizou sua habilitação técnica, em conformidade com as regras estabelecidas na Portaria MME nº 118/2025.

Sob a perspectiva do planejamento, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) leva em conta a oferta termelétrica existente em final de contrato, além da necessidade de modernização do parque termelétrico à carvão devido ao longo período em operação. Dessa forma, destaca-se o final de

vigência da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), acarretando a retirada de aproximadamente 2.160 MW de termelétricas movidas a carvão mineral ao final de 2027, incluindo UTEs abastecidas com carvão importado. Desse montante, não está incluso o Complexo Jorge Lacerda, que está sendo mantido no sistema em atendimento à Lei nº 14.299/2022, referente ao Programa de Transição Energética Justa aplicado às usinas a carvão nacional situadas no estado de Santa Catarina. No que se refere aos cenários de expansão indicativa do PDE, avalia-se a atratividade econômica da manutenção da oferta existente no sistema, através de *retrofit*, frente à oportunidade de expansão de novas plantas, de maior investimento e mais modernas. Nesse sentido, aproximadamente 370 MW de *retrofit* de termelétricas a carvão mineral estão à disposição do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI) para eventual escolha para a expansão indicativa do PDE.

Do ponto de vista da cadeia do aproveitamento do carvão mineral nacional para geração termelétrica, de modo geral, as seguintes etapas estão envolvidas: mineração (lavra), beneficiamento, transporte e consumo nas termelétricas. A extração do carvão mineral pode ser realizada por lavra a céu aberto ou subterrânea, dependendo da geologia do depósito mineral (WCA, 2019). Em seguida, o minério extraído, ROM (*run-of-mine*), segue para beneficiamento com o objetivo de atingir a qualidade exigida pelo uso final, podendo envolver desde processamento simples de moagem ou lavagem até outros mais complexos (ABCM, 2019). Em seguida, é transportado para a usina termelétrica.

As reservas nacionais de carvão mineral correspondem a aproximadamente 26 bilhões de toneladas (EPE, 2025). Destas, 84% correspondem a carvão energético, cuja produção se concentra nos estados da região Sul do país, principalmente no Rio Grande do Sul, sendo destinado predominantemente para o setor elétrico (ABCM e Siecesc, 2017, ANM, 2016). A jazida de Candiota (RS) possui 38% de todo o carvão nacional com qualidade inferior, sendo utilizado apenas na geração termelétrica e no próprio local da jazida. Ainda de acordo com a EPE (2018), o potencial de aproveitamento energético do carvão mineral entre 2015 e 2050 é de 7.157 Mtep¹⁸, representando 33% do potencial energético brasileiro de recursos não renováveis.

De acordo com a tecnologia das UTEs, o carvão mineral pode ser consumido na sua forma bruta, *run-of-mine* (ROM), beneficiado ou combinado (mistura de carvão bruto com beneficiado) (EPE, 2018). Geralmente o beneficiamento ocorre perto da extração e, devido à baixa qualidade do carvão nacional, o mesmo é transportado para as usinas termelétricas instaladas próximas (Aneel, 2008).

Um resumo das mineradoras de carvão mineral ativas e inativas identificadas na região Sul do país encontra-se na

¹⁸ Considera as reservas totais, uma recuperação média de 77% e poder calorífico de 3.900 kcal/kg.

Tabela 6.

Tabela 6. Minas ativas e inativas a carvão mineral nacional

Estado	Mineradora	Mina	Município	Situação
Rio Grande do Sul	Copelmi Mineração	Mina do Recreio	Butiá	Ativa
		Mina do Butiá Leste	Butiá	Ativa
		Mina Arroio dos Ratos	Arroio dos Ratos	Ativa
		Mina Calombo	Arroio dos Ratos	Ativa
		Mina de Charqueadas	Charqueadas	Inativa
		Mina do Cerro	Cachoeira do Sul	Ativa
	Seival Sul Mineração	Mina Seival	Candiota	Ativa
	Companhia Riograndense de Mineração	Mina de Candiota	Candiota	Ativa
		Mina do Leão I	Minas do Leão	Inativa
		Mina do Leão II	Minas do Leão	Inativa
		Jazida do Iruí	Cachoeira do Sul	Inativa
Santa Catarina	Carbonífera Metropolitana	Mina Fontanella	Treviso	Ativa
	Carbonífera Catarinense	Mina Bonito I	Lauro Muller	Ativa
		Mina 3G Plano II	Lauro Muller	Ativa
	Indústria Carbonífera	Novo horizonte	Criciúma	Ativa
		Cruz de Malta	Treviso	Ativa
		Mina Cento e Um	Içara	Ativa
	Carbonífera Belluno	Cantão Norte	Treviso	Ativa
		Lauro Muller	Lauro Muller	Ativa
	Gabriella Mineração	Rio Fiorita	Siderópolis	Ativa
Paraná	Carbonífera Cambuí	Mina 08 do parque da Mina Amando Simões	Figueira	Ativa

Fonte: Copelmi, 2025, CRM, 2025, Carbonífera Metropolitana (2025), Carbonífera Catarinense (2025), Rio Deserto (2025) Belluno (2025), Gabriella Mineração (2025), Carbonífera Siderópolis¹⁹ (2015), Carbonífera Cambuí (2025).

Estimativas elaboradas com base em dados da RAIS²⁰, em 2019, indicam que o descomissionamento das usinas termelétricas São Jerônimo, Charqueadas e Presidente Médici A e B resultou na perda de aproximadamente 520 empregos diretos e 1.600 empregos indiretos. As minas responsáveis pelo fornecimento de carvão a essas usinas também registraram uma perda de cerca de 620 empregos diretos. Para além da perda do número de postos de trabalho, o descomissionamento dessas atividades gera impactos econômicos regionais decorrentes da redução da circulação de renda nos municípios. Esse fenômeno, associado aos efeitos induzidos do emprego (efeito-renda), ocorre quando a diminuição da renda dos trabalhadores locais reduz o consumo das famílias e a demanda por bens e serviços, afetando a dinâmica econômica das regiões.

¹⁹ Carb. Siderópolis - As informações recentes (2020 e 2022) são sobre audiência pública para discutir o RIMA da mina: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/noticias/1927-ima-realizara-audiencia-publica-para-apresentacao-do-rima-da-mina-santana-ceu-aberto> Não foi possível acessar o site da carbonífera: <https://www.carbosider.com.br/>

²⁰ A Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) consiste em uma base de dados administrativa do Ministério do Trabalho que consolida informações sobre os vínculos formais de trabalho declarados pelos empregadores no Brasil. Neste estudo, foi utilizada para estimar o número de empregos formais associados ao descomissionamento das UTEs a carvão e minas.

A partir do panorama apresentado, observa-se que, embora o carvão mineral tenha uma participação marginal na matriz energética brasileira, ele ainda desempenha um papel relevante em contextos regionais específicos. Sua cadeia produtiva enraizada em economias locais envolve não apenas a geração de energia, mas também atividades minerárias e industriais interligadas, com impactos sobre o emprego e o desenvolvimento regional.

5.2. Políticas públicas

Em novembro de 2020, o MME recebeu a comunicação sobre a venda do complexo Termelétrico Jorge Lacerda (CTJL) localizado no município de Capivari de Baixo, em Santa Catarina, e por meio da portaria MME nº 452 de 18/12/2020²¹ instituiu o Grupo de Trabalho (GT) GT-SC para avaliar as atividades de geração termelétrica a carvão mineral e de mineração de carvão mineral no Estado de Santa Catarina (GT-SC). Conforme os levantamentos desse GT, o CTJL empregaria, direta e indiretamente, aproximadamente 128 mil trabalhadores e as consequências sobre a dinâmica social, ambiental e econômica tanto local, quanto regional, precisavam ser devidamente dimensionadas diante de um cenário de descomissionamento no médio prazo.

Os dois primeiros marcos legais da TEJ no Brasil foram estabelecidos no ano de 2022. No âmbito estadual, tem-se a Lei nº 18.330²², de 5 de janeiro de 2022, que institui a Política Estadual de Transição Energética Justa, voltada a promover o desenvolvimento sustentável das cadeias produtivas catarinenses e impulsionar a transição energética justa no Estado, configurando-se como um instrumento de caráter estruturante e de governança.

Na esfera federal, a Lei nº 14.299, de 4 de janeiro de 2022, institui o Programa de Transição Energética Justa (TEJ), com foco na sustentabilidade do uso do carvão mineral, especialmente na Região Sul do país. Como destaque, a lei prevê a implementação do Conselho do TEJ, responsável por preparar a região carbonífera de Santa Catarina para o provável encerramento, até 2040, da geração termelétrica a carvão mineral nacional sem abatimento de emissões de CO₂, com consequente finalização da exploração desse minério na região para esse fim, de forma tempestiva, responsável e sustentável. O Conselho de TEJ, conforme previsto na Lei 14.299/2022, publicou o Plano de Transição Justa²³ em dezembro de 2022 com a participação da Casa Civil da Presidência da República, MDR, MMA, MME, AGU, MT, Governo do Estado de Santa Catarina, Associação Brasileira de Carvão Mineral (AMREC), Federação Interestadual dos Trabalhadores na indústria da Extração do Carvão no Sul do País (FITIEC) e Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina (SIECESC). O período de abrangência desse Plano proposto é até o ano 2050, sendo passível de sofrer atualizações conforme decisão do Conselho. Todas as instituições já citadas, além dos Municípios do Polo de Transição Energética Justa do Sul do Estado de Santa Catarina possuem responsabilidades específicas na execução das ações propostas no Plano. O documento apresenta um plano de ação baseado em objetivos estabelecidos nos seguintes eixos: meio ambiente; desenvolvimento territorial e infraestrutura; desenvolvimento econômico; ciência, tecnologia e inovação; social, bem-estar, trabalho, emprego e renda; minas e energia e governança. Para cada ação foi feito um mapeamento do responsável pela execução, prazo de conclusão e a fonte do recurso.

²¹ https://antigo.mme.gov.br/documents/72128/975491/Portaria_n_452-2020/7821235a-207e-15ce-a8da-5d2f08c38628?version=1.1

²² https://leis.alesec.sc.gov.br/html/2022/18330_2022_lei.html

²³ [anexo-i-da-resolucao-no-4-plano-de-transicao-justa-1.pdf](#)

Destaca-se, ainda, na esfera federal, a Lei nº 15.097 de 10 de janeiro de 2025, que disciplina o aproveitamento de potencial energético *offshore*, e contemplava, na sua proposta inicial, aprovada no Congresso Nacional, a prorrogação de contratos de termelétricas a carvão até 2050. A maioria formada no Congresso Nacional opinava politicamente de forma favorável pela inclusão de outros estados da federação na TEJ, além do Estado de Santa Catarina, bem como pleiteava o ano de 2050, no lugar do ano 2040, para atingimento dos seus objetivos. Em novembro de 2025, com a aprovação da Lei nº 15.269, as usinas termelétricas a carvão mineral nacional que possuíam Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) vigentes em 31 de dezembro de 2022 e com previsão de término dos contratos até 31 de dezembro de 2028 poderão ter contratos de reserva de capacidade até 31 de dezembro de 2040, estendendo a possibilidade de operação de empreendimentos como a UTE Candiota III dentro desse regime regulatório.

Também se destaca, na governança federal, a instituição da Secretaria Nacional de Transição Energética (MME/SNTEP), no âmbito do Decreto nº 11.492/2023, definindo um conjunto de atribuições, entre elas, “desenvolver estratégia nacional de transição energética para uso eficiente dos recursos energéticos e fontes de baixo carbono” (inciso XXIII). Nesse contexto, cabe à mesma, estabelecer diretrizes para elaboração e implementação dos instrumentos do planejamento energético brasileiro. Nesse sentido, a Política Nacional de Transição Energética (PNTE) já está em vigor (instituída através da Resolução CNPE nº 5/2024), vinculando-se a instrumentos de implementação como o Plano Nacional de Transição Energética (PLANTE) e o Fórum Nacional de Transição Energética (FONTE), que são instrumentos de apoio ao processo de coordenação de políticas públicas voltadas à transição energética (EPE, 2024). O PLANTE é um plano de ações, com horizonte de longo prazo, compatível com cenários de transição energética, de requisitos do desenvolvimento econômico e social e de neutralidade das emissões líquidas de gases de efeito estufa no Brasil. O FONTE é um instrumento consultivo e permanente, criado no âmbito da Política Nacional de Transição Energética - PNTE. Entre as vagas destinadas à sociedade civil e ao setor produtivo para composição do Plenário do FONTE, estavam previstas representações para os temas “setor mineral” e “petróleo, gás e carvão”.

Desde 2021, o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda está sob nova titularidade e segue operando no SIN. Em junho de 2025, o Governo de SC assinou um contrato com a Fundação Getúlio Vargas (FGV) para a elaboração do Plano Estadual de Transição Energética Justa. A contratação integra as ações do Programa Santa Catarina 2050, lançado em maio de 2024. O contrato prevê que a FGV conduza estudos técnicos, com base em dados e ouvindo os territórios diretamente impactados, para propor os caminhos mais viáveis à transição energética. A entrega dos estudos está prevista para setembro de 2026, com recomendações estratégicas que também atendam empresas e setores locais²⁴.

Durante a COP 26, o estado do RS assumiu o compromisso de reduzir as emissões do estado em 50% até 2030 e atingir a neutralidade até 2050. Nesse contexto, encontra-se em elaboração o Plano de Transição Energética Justa do Estado do Rio Grande do Sul, cujo contrato com a empresa WayCarbon e Centro Brasil Clima foi firmado em outubro de 2024. O objetivo desse plano envolve propor estratégias que subsidiarão o fortalecimento da cadeia produtiva relacionada à eficiência energética e à geração de energia renovável e propor ações de diversificação e de reposicionamento econômico das regiões carboníferas do RS e da população ocupada nas minas e nas térmicas a carvão, levando em consideração as vocações regionais (TVCAM CANDIOTA, 2025).

²⁴ <https://www.semae.sc.gov.br/governo-de-sc-assina-contrato-com-a-fgv-para-elaboracao-do-plano-estadual-de-transicao-energetica-justa/#:~:text=O%20Plano%20Estadual%20de%20Transi%C3%A7%C3%A3o,em%20sustentabilidade%20e%20planejamento%20estrat%C3%A9gico>

A seguir estão os principais marcos legais destacados:

- Política Estadual de Transição Energética Justa - Lei 18.330/2022 (Estadual)
- Programa de Transição Energética Justa (TEJ) - Lei 14.299/2022 (Federal)
- Plano de Transição Justa (Federal) - Resolução nº 4, de 27 de dezembro de 2022 (Anexo I)
- Política Nacional de Transição Energética (PNTE) - Resolução CNPE nº 5/2024),
- Plano Nacional de Transição Energética (PLANTE) - Resolução CNPE nº 5/2024),
- Fórum Nacional de Transição Energética (FONTE) - Resolução CNPE nº 5/2024),
- Plano Estadual de Transição Energética Justa de Santa Catarina – Em elaboração pela FGV. Prazo setembro/2026
- Plano de Transição Energética Justa do Estado do Rio Grande do Sul – Em elaboração pela WayCarbon e Centro Brasil Clima – Prazo 12 meses.

6. Recomendações para o Brasil a partir das experiências e propostas internacionais

A análise dos instrumentos de planejamento e estudos de caso analisados mostra que os desafios da transição energética exigirão um trabalho colaborativo e coordenado, com um modelo de governança participativo e que valoriza o diálogo social que acompanhe integralmente o processo de fechamento de UTEs a carvão. Esse modelo deve assegurar fontes de financiamento estáveis - sejam públicas, privadas ou internacionais – capazes de perdurarem até o longo prazo de consolidação da transição.

O sucesso desse processo dependerá da capacidade de articular ações locais e regionais com políticas setoriais e iniciativas privadas, promovendo simultaneamente: (1) a reconversão da estrutura produtiva dos territórios afetados; (2) o reaproveitamento sustentável de infraestruturas e espaços industriais; e (3) a garantia de direitos e melhoria da qualidade de vida para trabalhadores e comunidades historicamente vinculadas à cadeia do carvão. Essa abordagem integrada busca harmonizar os imperativos ambientais da descarbonização com as necessidades de justiça social e desenvolvimento territorial equilibrado.

Com essa perspectiva, apresenta-se, a seguir, as principais iniciativas que, numa avaliação inicial, podem compor a estratégia de transição no Sul do Brasil. Os itens correspondem a um crescente, do trabalhador, passando pela área do empreendimento, até as modificações amplas na região. Por fim, aborda-se a governança e o financiamento da transição²⁵.

6.1. Trabalhadores

O objetivo dessas ações é garantir que, no processo de encerramento das atividades, se considere a manutenção – ou melhoria – da qualidade de vida dos trabalhadores e comunidades impactadas pelo fechamento das UTEs.

6.1.1. Diagnóstico e planejamento antecipado

- Realizar diagnóstico com métodos quantitativos (mercado de trabalho, demografia) e qualitativos (entrevistas e estudos de caso).
- Promover políticas de inovação e desenvolvimento regional, a partir de diagnóstico de potencialidades, com participação de universidades, governos e sociedade civil.
- Implantar, de 2 a 5 anos antes do fechamento das UTEs, um plano para a força de trabalho, com três eixos principais:
 - Apoio ao planejamento de carreira, treinamento e consultoria financeira;
 - Folga remunerada e flexibilidade para comparecer a entrevistas e capacitações;
 - Contato com novos empregadores e sindicatos.

6.1.2. Qualificação, reconversão e orientação profissional

- Apoiar individualmente a transição de carreira.
- Oferecer formação em novas competências, com foco em trabalhadores do carvão (diretos e indiretos, incluindo terceirizados) e suas famílias.

²⁵Um documento-síntese de recomendações para a União Europeia, feito por especialistas europeus, foi publicada com diversas semelhanças ao que está sintetizado aqui. Lá eles são mais propositivos em relação a uma abordagem territorial (e não focada no trabalhador, p.e.), citam a importância de capacitar o corpo técnico responsável pela execução do Plano de TEJ, reduzir a burocracia para acessar os fundos disponíveis e não financiar grandes indústrias, salvo se comprovadamente forem capazes de criar cadeias de valor locais e manter postos de trabalho que seriam eliminados (Comissão Europeia, 2025).

- Incentivar a transição desses trabalhadores para atividades ligadas ao descomissionamento das UTEs, restauração ambiental e reutilização de rejeitos.

6.1.3. Empregabilidade e estímulo à economia local

- Criar canais de intermediação entre trabalhadores desligados e novas oportunidades no território.
- Promover feiras de emprego e eventos similares voltados à população afetada.
- Organizar bancos de empregos que integrem atividades econômicas apoiadas para o desenvolvimento regional.
- Implantar planos de empregabilidade, gerando empregos diretos em empresas energéticas e não energéticas.
- Incentivar a contratação local, inclusive em processos de licitação pública, especialmente de micro, pequenas e médias empresas.

6.1.4. Proteção social e compensações

- Adotar medidas compensatórias e fortalecer o sistema de seguridade social para trabalhadores afetados.
- Conceder pagamentos transitórios a trabalhadores com 58 anos ou mais, por até cinco anos, até aposentadoria.
- Fornecer pré-aposentadorias, com compensação em caso de perdas monetárias por aposentadorias antecipadas, ou desligamentos indenizados.

6.1.5. Atenção a grupos vulneráveis e monitoramento

- Garantir atenção a grupos vulneráveis e comunidades excluídas (p.e. mães solo em empregos indiretos, negros, indígenas, LGBTQIA+, PCDs etc., identificados via diagnóstico prévio).
- Realizar acompanhamento das mobilidades profissionais: empregabilidade, formalização, nível salarial, localização (inclusive migração), entre outros aspectos.

6.2. Área do empreendimento

O objetivo desta seção é apresentar ações possíveis para aproveitar o processo de desativação de UTEs a carvão para promover uma reconversão energética e territorial, impulsionando soluções sustentáveis, econômicas e socialmente inclusivas. Considera, inclusive, as relações identitárias que se constroem entre os trabalhadores com estas estruturas produtivas.

6.2.1. Transição energética e reaproveitamento de infraestrutura

- Converter UTEs a carvão em UTEs renováveis ou parcialmente renováveis (via co-queima) ou de baixa emissão de carbono (p.e. nuclear).
- Implantar soluções de armazenamento de energia, aproveitando a infraestrutura elétrica já existente.
- Desenvolver novos usos energéticos nas instalações, como produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono, por exemplo.

6.2.2. Requalificação de áreas industriais e ambientais

- Restaurar as minas, priorizando recuperação ambiental, controle da erosão e melhoria da qualidade do solo e da água.
- Identificar usos alternativos não energéticos para as áreas das usinas e suas estruturas, promovendo atividades sustentáveis e socialmente benéficas, com potencial de desenvolvimento local.

- Estruturar projetos de tratamento e aproveitamento sustentável de águas de subsolo de minas de carvão mineral de modo a converter passivos ambientais em ativos com valor socioambiental, incluindo possibilidades de reuso industrial, abastecimento condicionado a padrões de qualidade ou apoio a atividades produtivas locais.
- Repartir, de forma justa, os custos dos projetos de tratamento e aproveitamento sustentável de águas de subsolo de minas de carvão mineral, considerando as responsabilidades e obrigações ambientais das mineradoras.

6.2.3. Regeneração urbana e valorização cultural

- Reaproveitar instalações industriais com valor histórico, transformando-as em museus, centros culturais ou pontos turísticos, reconhecendo a identidade local atrelada ao carvão e dinamizando economia.

6.3. Futuro da região

As ações para os trabalhadores e para a antiga área da UTE ou das minas se inserem dentro de um processo regional mais amplo, que também deve ser planejado e territorialmente integrado. As ações devem ter foco na reconversão econômica, apoio a grupos vulneráveis, implementação de políticas públicas que promovam inclusão, sustentabilidade e desenvolvimento regional.

6.3.1. Diagnóstico participativo e inclusivo

- Executar diagnóstico participativo de amplo espectro - de todas as regiões afetadas, considerando especialmente:
 - As principais potencialidades econômicas (em especial, as energéticas – solar, eólico, biomassa, UHEs, etc.).
 - Os impactos sociais, culturais, econômicos e ambientais indesejados, para propor medidas de mitigação.
 - As pessoas afetadas mais vulneráveis (p.e. jovens, pessoas racializadas, PCDs, mulheres e indígenas) envolvidas no fechamento de UTEs, a fim de mantê-las no foco dos programas de apoio do Estado.

6.3.2. Políticas de apoio territorial integrado

- Promover um plano de medidas integradas para apoiar as regiões, com políticas combinadas:
 - Laborais e educacionais (capacitação, requalificação).
 - Ambientais e culturais (preservação e valorização).
 - De planejamento urbano (reordenamento e melhoria de infraestrutura).
 - Com foco específico em grupos vulneráveis.

6.3.3. Infraestrutura e fomento à transição energética

- Realizar leilões específicos de energia renovável na região, quando possível.
- Investir na rede elétrica da região para implementação de outras fontes energéticas, caso haja potencial.

6.3.4. Monitoramento e avaliação contínuos

- Monitorar as consequências socioeconômicas, territoriais, estruturas produtivas, potenciais econômicos e meio ambiente (foco na qualidade do ar, solo e água), preferencialmente com um painel de indicadores.

6.4. Governança

O objetivo desta seção é, a partir das experiências internacionais, oferecer elementos para estabelecer uma estrutura de cogovernança entre os níveis federal, estadual e municipal, além de representantes de trabalhadores, empregadores e comunidades locais para coordenar, implementar e monitorar estratégias de transição justa, assegurando articulação entre políticas públicas e atuação integrada de órgãos governamentais e entidades independentes.

Em diversos casos, há cogovernança entre os níveis nacional, estadual e municipal, porém, a preponderância varia conforme o contexto, sendo alguns casos liderados pelo governo federal, em outros pelo municipal e, em outros, por alguma autoridade regional.

6.4.1. Esfera Nacional (Federal)

Criar um comitê Interministerial (envolvendo pastas relacionadas ao Trabalho, Meio Ambiente, Assistência Social e Economia) coordenando com órgãos da administração estadual para fortalecer ações voltadas à estratégia e aos planos de ação locais com responsabilidades como:

- Coordenação, implementação, monitoramento e acompanhamento da estratégia e dos planos de ação locais.
- Convocação de grupos de trabalho com diversas partes interessadas.
- Identificação e adoção de medidas para garantir tratamento equitativo e solidário a trabalhadores, comunidades e territórios afetados.
- Atuação de comitês temáticos (ex.: meio ambiente, financiamento, trabalho, participação comunitária) de forma especializada nas dimensões da transição justa.

6.4.2. Esfera Estadual ou Regional

- Articular o Comitê Interministerial com os órgãos estaduais para garantir alinhamento entre políticas nacionais e locais.
- Criar agências regionais, focadas no desenvolvimento da região e transição econômica.

6.4.3. Esfera Local (Municipal e Comunitária)

- Criar plano consultivo de redesenvolvimento e readaptação para cada ativo composto por representantes das comunidades afetadas, da equipe do projeto e da administração e agências locais correspondentes.
- Envolver comunidades locais na construção do plano de transição justa, na gestão de projetos, no monitoramento da implementação e nos espaços de diálogo permanentes, garantindo diversidade e inclusão de todas as partes interessadas.

6.4.4. Organização independente

- Acompanhar, avaliar e propor melhorias na execução de estratégias, planos e programas.

6.5. Financiamento e incentivos

Esta seção mostra alternativas possíveis para assegurar a viabilidade financeira, econômica e social da transição energética por meio de instrumentos estruturados de financiamento de longo prazo, incentivos fiscais e apoio direto à requalificação dos trabalhadores, promovendo inovação, justiça social e desenvolvimento sustentável nos territórios afetados. Se refere ao financiamento dos itens anteriores.

6.5.1. Financiamento estruturado e sustentável

- Garantir instrumentos de financiamento de longo prazo, para garantir a sustentabilidade financeira do processo de transição.
- Buscar fontes internacionais de financiamento para descarbonização.

6.5.2. Incentivos econômicos e fiscais

- Identificar e avaliar incentivos econômicos como empréstimos bonificados e subsídios.
- Avaliar modificações tributárias que permitam a dedução de despesas associadas à implementação dos planos de ação locais, por parte das UTEs a carvão.
- Retirar gradualmente subsídios ao setor de combustíveis fósseis, incentivando a realocação de recursos para alternativas sustentáveis.
- Promover atividades ou empreendimentos de triplo impacto positivo (social, econômico e ambiental).
- Enfatizar inovação, encadeamento produtivo e economia circular.

6.5.3. Apoio à requalificação e transição dos trabalhadores

- Promover o reembolso estatal aos empregadores dos custos com licenças de requalificação e acompanhamento profissional, por até 18 meses.
- Desenvolver programas de incentivo a pequenos empreendimentos locais, com enfoque em gênero e grupos vulneráveis.
- Promover, nos dois anos que antecedem o fechamento das usinas e minas, a oferta de cursos de requalificação, apoio ao planejamento de mudança de carreira e remuneração pelo tempo necessário para busca de novas oportunidades.

7. Considerações Finais

Esta nota técnica teve como objetivo subsidiar o debate sobre a transição justa no setor de carvão mineral brasileiro, com ênfase na Região Sul do país, a partir da análise de políticas e programas voltados a esse setor em diferentes regiões do mundo. Para tal, foram analisados os documentos e planos governamentais em 13 países (Colômbia, Chile, Canadá, Estados Unidos, África do Sul, Alemanha, Espanha, França, Reino Unido, Índia, China, Indonésia e Austrália) e 9 estudos de caso selecionados, a partir de perguntas norteadoras em cinco eixos: trabalhadores, área do empreendimento, futuro da região, governança e financiamento e incentivos.

A análise das experiências internacionais de transição justa no setor de carvão mineral mostra que os países têm investido em planejar o processo de transição através de uma **estrutura de governança clara e remanejamento dos trabalhadores para setores emergentes**, com potencial de tornarem-se atividades econômicas relevantes para a região. A combinação de fontes de financiamento públicas e privadas e o direcionamento para setores-chave são destaques nos planos e ações analisados.

Em geral, os estudos de caso indicam que o primeiro foco das políticas foi a **mitigação de impactos sobre os trabalhadores**, considerando seus rebatimentos sobre emprego e renda locais. Para tanto, as ações se concentraram, principalmente, em programas de assistência social (como pagamentos transitórios e apoio a previdência), programas incentivados de demissão voluntária, aposentadoria antecipada e o apoio à requalificação profissional.

Ainda que essas políticas sociais exerçam um papel importante no curto prazo, os casos analisados indicam que estas precisam ser combinadas com uma **análise da reconversão da economia regional** para novas atividades, a fim de garantir a manutenção de indicadores socioeconômicos no longo prazo. Além disso, a recolocação dos trabalhadores não é um processo rápido, podendo gerar necessidade de revisão dos programas e aumento dos custos inicialmente previstos. Cabe destacar, ainda, que diversas regiões garantiram uma transição mais eficiente ao investirem no desenvolvimento de universidades e centros tecnológicos associados a tecnologias emergentes e novas cadeias produtivas, em substituição à economia do carvão.

Nesse sentido, a definição de uma **estratégia clara para o futuro da região** tem se demonstrado parte fundamental da política de transição justa dos países. Em primeiro plano, essas políticas devem considerar especificidades regionais, bem como cadeias produtivas existentes e atividades potenciais. Em diversos casos, o foco esteve em estratégias de inovação regional e atividades nos setores de renováveis e sustentabilidade. Em complemento, a preservação do patrimônio associado ao carvão, principalmente para promoção do turismo, se demonstrou útil na redução da resistência social ao processo de descomissionamento das usinas e minas.

Para além das perspectivas sobre o futuro da região, o descomissionamento das plantas exige que o um **plano de tratamento da área do empreendimento** seja endereçado, quer seja para a conversão em novas atividades e negócios ou para o gerenciamento das atividades de manutenção necessárias após a desativação das usinas e minas. Há uma tendência, nos casos analisados, de migração para renováveis - como conversão da UTE para biomassa, desenvolvimento de projetos solares e eólicos no local ou armazenamento, - ou de menor emissão - como o gás natural -, com aproveitamento da infraestrutura elétrica. Em geral, os planos de descomissionamento também priorizam, no longo prazo, atividades emergentes e novas tecnologias, como hidrogênio e captura de carbono.

Alinhados aos planos para o futuro da região, diversos casos apontam também para o desenvolvimento de **atividades de recuperação ambiental e restauração das terras** associadas às áreas dos empreendimentos; além da já citada transformação dos edifícios e plantas em museus e centros de memória e cultura ou instituições de P&D e centros tecnológicos.

Por fim, dois pontos finais se demonstraram relevantes e fortemente relacionados na análise dos casos: a governança do processo de transição e seu financiamento. Em síntese, nota-se que **a ausência de participação local** (seja do governo ou da comunidade) é elemento crítico em casos de insucesso. O alinhamento de recursos e esforços entre diferentes níveis de agentes (federal, regional/estadual e local) deve ser considerado na elaboração de um plano de transição. Nesse sentido, empresas mineradoras e de geração termelétrica devem ser inseridas no debate e terem papel ativo na TEJ. Na experiência internacional, o caminho percorrido pelos países foi a promoção de um debate interministerial amplo, além de, em alguns casos, a criação de **autoridades ou agências regionais** para lidar com a TEJ no setor de carvão de forma mais detalhada.

Dado que os custos desse processo tendem a ser expressivos, com ações que perduram vários anos, alguns casos contaram com a participação relevante de empresas públicas, assumindo atividades que já não apresentavam viabilidade econômica. Além disso, a consideração dos **custos e demandas associadas às atividades pós-descomissionamento** também se mostrou elemento relevante para a recuperação das áreas afetadas.

A partir dessa visão da experiência internacional, um conjunto de **alternativas para conversão das usinas térmicas a carvão** foi mapeado. A primeira delas é a *coal to nuclear*, com *retrofit* da estrutura existente ou construção paralela, com iniciativas já sendo observadas nos Estados Unidos. Outras alternativas são a conversão (total ou parcial) da termelétrica para operação com gás natural ou biomassa, já observadas na experiência internacional como uma estratégia de transição consolidada. Para além da conversão das usinas, o aproveitamento da infraestrutura de conexão à rede, por exemplo, é observado no desenvolvimento de projetos eólicos, solares ou de armazenamento de energia nas antigas áreas associadas à mineração e geração de energia a partir do carvão. Em complemento, são também prospectados outros usos energéticos e não-energéticos para o carvão mineral. Alguns exemplos são a captura e estocagem de carbono, armazenamento térmico de energia sensível, produção de grafite sintético e o uso de cinzas volantes no cimento e concreto. Com base nesse levantamento, e na apresentação do contexto brasileiro das atividades e das políticas públicas no que tange à transição justa no setor de carvão mineral, um conjunto de **recomendações para a experiência nacional** foi mapeado. Ao todo, mais de 40 ações foram apontadas como inspirações internacionais para o Brasil, em cada um dos eixos analisados nos estudos de caso (trabalhadores, área do empreendimento, futuro da região, governança e financiamento e incentivos). As recomendações vão desde promover diagnóstico e planejamento antecipado para os trabalhadores até garantir o monitoramento e avaliação contínuos das consequências da transição sobre a região. Assim, com o presente documento, a EPE busca fornecer subsídios técnicos para o debate e para a formulação de políticas públicas no setor de carvão mineral, oferecendo elementos que contribuam para orientar o caso brasileiro diante dos desafios da transição energética justa.

Como desdobramento futuro, recomenda-se a realização de estudos específicos sobre a viabilidade de usos estratégicos do carvão mineral além da geração termelétrica, especialmente em regiões dependentes dessa atividade. A análise desses usos, à luz de critérios técnicos, econômicos, ambientais e regulatórios, pode contribuir para um entendimento mais abrangente do papel potencial do carvão mineral no médio e longo prazo.

8. Referências Bibliográficas

AAYOG, NITI. *Report of the Inter-ministerial Committee on Just Transition from Coal*. 2022. Disponível em: http://niti.gov.in/sites/default/files/2022-11/Report_Just-Transition-Committee_compressed.pdf . Acesso em: 14 jul. 2025.

ABCM – Associação Brasileira de Carvão Mineral e Siecesc - Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina. Dados Estatísticos – ano 2017. Disponível em: < http://www.carvaomineral.com.br/conteudo/gm_estatisticas/estatisticas_2017.pdf > Acesso em: 14 jun 2019.

ALEMANHA. *Ending coal-generated power*. 2025. Disponível em: <https://www.bundesregierung.de/breg-en/service/archive/kohleausstiegsgesetz-1717014> . Acesso em: 14 jul. 2025.

AL-MANSOUR, Fouad; ZUWALA, Jaroslaw. An evaluation of biomass co-firing in Europe. *Biomass and Bioenergy*, n. 34, p. 620–629, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096195341000005X> . Acesso em: 8 jul. 2025.

ARC - Appalachian Regional Commission. Appalachia FY2024. Washington, D.C., 2024. Disponível em: <https://www.arc.gov/wp-content/uploads/2024/12/APPALACHIA_FY2024.pdf>.

ARORA, Anmol; SCHROEDER, Heike. How to avoid unjust energy transitions: insights from the Ruhr region. *Energy, Sustainability and Society*, v. 12, n. 1, p. 19, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

AUSTRALIA. Department of the Prime Minister and Cabinet. *Net Zero Economy Agency: How the Energy Industry Jobs Plan works – A step-by-step guide*. Canberra: Australian Government, s.d. Disponível em: https://www.netzero.gov.au/sites/default/files/documents/2025-03/PMC24-6518_NZEA_EIJP_Infographic_A_1pager%20%284%29.pdf . Acesso em: 27 jun. 2025.

AUSTRÁLIA. Parliament. House of Representatives. *Net Zero Economy Authority Bill 2024*. Canberra: The Parliament of the Commonwealth of Australia, 2024. Disponível em <https://www.legislation.gov.au/C2024A00085/asmade/2024-09-17/text/original/pdf> . Acesso em: 27 jun. 2025.

BARROS, João; PINA, André; SEQUEIRA, João Pedro. *Biomass conversion of the Pego thermoelectric power plant in Portugal: A step towards energy transition*. *Energy Reports*, v. 8, p. 1173–1183, 2022. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.12.071. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721011166>. Acesso em: 11 jul. 2025.

BATEMAN, Mark D. et al. The timing and consequences of the blockage of the Humber Gap by the last British–Irish Ice Sheet. *Boreas*, v. 47, n. 1, p. 41–61, 2018.

BAZZO, Edson et al. *Resultados da utilização de palha de arroz em processo de co-firing com carvão pulverizado*. TRACTEBEL, 2008. 8 p. Disponível em: <https://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20110929092708-358.pdf> Acesso em: 8 jul. 2025.

BELLUNO. Produção de carvão. Disponível em: <https://salvaro.cbelluno.com.br/index.php?url=producao-de-carvao>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BLOOMBERG. *Global Coal Countdown*. 2025. Disponível em: <https://bloombergcoalcountdown.com/countries/DE> . Acesso em: 14 jul. 2025.

BNAMERICAS. *Chile's coal-fired generation exit: The state of play*. 29 ago. 2023. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/en/news/chiles-coal-fired-generation-exit-the-state-of-play>. Acesso em: 14 jul. 2025.

BRASIL. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 9 jul. 2025.

BRASIL. Conselho de Transição Energética Justa. *Resolução nº 4, de 27 de dezembro de 2022 (Anexo I)*. Dispõe sobre o Plano de Transição Justa. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/colegiados/conselho-do-programa-de-transicao-energetica-justa/anexo-i-da-resolucao-4-plano-de-transicao-justa.pdf>. Acesso em: jun. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Política Energética – CNPE. *Resolução nº 5, de 26 de agosto de 2024*. Institui a Política Nacional de Transição Energética – PNTE, o Plano Nacional de Transição Energética – Plante, o Fórum Nacional de Transição Energética – Fonte, e dá outras providências. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=28/08/2024&jornal=515&pagina=2>. Acesso em: jul. 2025.

BRASIL. *Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011*. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 9 jul. 2025.

BRASIL. *Lei nº 14.299, de 5 de janeiro de 2022*. Cria o Programa de Transição Energética Justa (TEJ) e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14299.htm. Acesso em: jun. 2025.

BRASIL. *Lei nº 15.097, de 10 de janeiro de 2025*. Disciplina o aproveitamento de potencial energético offshore. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15097.htm. Acesso em: jul. 2025.

BRASIL. *Portaria nº 452, de 18 de dezembro de 2020*. Institui o Grupo de Trabalho para Avaliar as Atividades de Geração Termelétrica a Carvão Mineral e de Mineração de Carvão Mineral no Estado de Santa Catarina – GT-SC, em articulação com os entes federativos, com agentes setoriais e com a sociedade.

CANADÁ. *2030 Emissions Reduction Plan: Canada's Next Steps for Clean Air and a Strong Economy*. Environment and Climate Change Canada, 2022. Disponível em: <https://publications.gc.ca/site/eng/9.909338/publication.html>. Acesso em: 24 jun. 2025

CANADÁ. *Coal facts*. 2024. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/coal-facts>. Acesso em: 24 jun. 2025.

CANADÁ. *Evaluation of the Canada Coal Transition Initiative (CCTI) and the CCTI - Infrastructure Fund*. 2024. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/atlantic-canada-opportunities/corporate/transparency/evaluation-ccti-and-ccti-infrastructure-fund.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.

CANADÁ. *Final Report by the Task Force on Just Transition for Canadian Coal Power Workers and Communities*. 2018. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/task-force-just-transition/final-report.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.

CANADÁ. *Minerals and the economy*. 2025. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-economy>. Acesso em: 24 jun. 2025.

CANADÁ. *Powering Past Coal Alliance: phasing out coal*. 2025. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/canada-international-action/coal-phase-out.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.

CANADÁ. *Project profile — Energy Transition Program*. 2025. Disponible em: <https://w05.international.gc.ca/projectbrowser-banqueprojets/project-projet/details/P006167001> . Acesso em: 24 jun. 2025.

CARBONÍFERA CATARINENSE. Disponible em: <https://www.carboniferacatarinense.com.br/mineracao>. Acesso em: 2 jul. 2025.

CHILE. Ministerio de Energía. *Balanzo Energético 2023*. Chile, 2024. Disponible em: <http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/balance-energetico/> . Acesso em: 14 jul. 2025.

CHILE. Ministerio de Energía. *Detalle de las acciones ETJ*. Chile, 2021. Disponible em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documento_con_el_detalle_de_las_acciones_etj.pdf. Acesso em: 1 jul. 2025.

CHILE. Ministerio de Energía. *Estrategia de Transición Justa*. Chile, 2021. Disponible em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_transicion_justa_2021.pdf . Acesso em: 1 jul. 2025.

CHILE. Ministerio de Energía. *Plan de Retiro y/o Reconversión de Unidades a Carbón*. Chile, 2020. Disponible em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/plan_de_retiro_y_o_reconversion_centrales_carbon.pdf . Acesso em: 1 jul. 2025.

CHILE. Ministerio de Energía. *Ruta energética 2018–2022: Liderando la Modernización con Sello Ciudadano*. Chile, 2018. Disponible em: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2018/05/rutaenergetica2018-2022.pdf> . Acesso em: 1 jul. 2025.

CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. *Elaboración línea de base socioeconómica para construir planes locales de TJ en el sector energía que acompañe el retiro de centrales a carbón en Chile*. Chile, 2022. Disponible em <https://cop25ue.mma.gob.cl/elaboracion-de-planes-locales-de-transicion-justa-para-el-retiro-de-centrales-a-carbon-en-el-sector-energetico-de-chile/> . Acesso em: 6 jun. 2025.

CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. *Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile*. Chile, 2021. Disponible em: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/> . Acesso em: 2 jun. 2025.

CHINA. National Development and Reform Commission. *Outline of the 14th Five-Year Plan (2021–2025) for National Economic and Social Development and Long-Range Objectives Through the Year 2035*. Beijing, 2021. Disponible em: <https://perma.cc/73AK-BUW2> . Acesso em: 18 jun. 2025.

CHINA. State Council Information Office. *China's Energy Transition*. Beijing, 2024. Disponible em: https://english.www.gov.cn/archive/whitepaper/202408/29/content_WS66d012e8c6d0868f4e8ea52e.html . Acesso em: 17 jun. 2025.

CHINA. State Council Information Office. *Energy in China's New Era*. Beijing, 2020. Disponible em: https://english.www.gov.cn/archive/whitepaper/202012/21/content_WS5fe0572bc6d0f725769423cb.html . Acesso em: 17 jun. 2025.

COAL AUTHORITY. *Sustainability Plan 2023 to 2026*. Mansfield (Nottinghamshire), 11 abr. 2023. Disponible em: <https://www.gov.uk/government/publications/coal-authority-sustainability-plan-2023-to-2026> . Acesso em: 8 jul. 2025.

COLÔMBIA. Ministerio de Minas y Energía. *Diagnóstico base para la Transición Energética Justa*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2023. Disponible em: <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/transicion-energetica-justa/> . Acesso em: 25 jun. 2025.

COLÔMBIA. Ministerio de Minas y Energía. *Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa: Oportunidades y desafíos socioambientales*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2023. Disponible

em: <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/transicion-energetica-justa/> . Acesso em: 25 jun. 2025.

COPELMI. Unidades. Disponível em: <http://copelmi.com.br/unidades/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

COUNCIL FOR SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH (CSIR). *Load shedding statistics*. Pretoria: CSIR, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://www.csir.co.za/load-shedding-statistics> . Acesso em: 10 jul. 2025.

CRM – COMPANHIA Rlograndense de Mineração. Minas. Disponível em: <https://www.crm.rs.gov.br/minas>. Acesso em: 2 jul. 2025.

DAHLBECK, Elke et al. *Analysis of the historical structural change in the German hard coal mining Ruhr area (case study)*. Umweltbundesamt (UBA), 2022.

DALE, Larry L. et al. *Estimating Renewable Energy LCOE Using Regional Cost Factors*. Austin: University of Texas at Austin, Energy Institute, 2016. (Full Cost of Electricity Report No. FCe-LL9-2016-6). Disponível em: https://energy.utexas.edu/sites/default/files/UTAustin_FCe_LCOE_Regional-Cost-Variability__Report_2016.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025

DOE - U.S. Department of Energy. Categorical Exclusions. COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY (CEQ). 2025b. Disponível em: <<https://ceq.doe.gov/nepa-practice/categorical-exclusions.html>>

DOE - U.S. Department of Energy. Energy Department Announces \$625 Million Investment to Reinvigorate and Expand America's Coal Industry. Washington, 29 set. 2025. 2025a. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-625-million-investment-reinvigorate-and-expand-americas-coal>>.

EC - EUROPEAN COMMISSION. *Rhenish Lignite Mining Area: Case Study – Regional Development Agency*. Maio 2025

EC - EUROPEAN COMMISSION. Just Transition Platform Case study: Regional observatory of the transition process in Silesia (ROPT). 2024. Disponível em: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/funding/just-transition-fund/case-study-regional-observatory-transition-process-silesia.pdf

EC - EUROPEAN COMMISSION. EU Cohesion Policy: €3.85 billion for a just transition toward climate neutral economy in five Polish regions. European Commission Press release. Brussels, 5 dec. 2022. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/es/ip_22_7413/IP_22_7413_EN.pdf

EIA - U.S. Energy Information Administration. Coal Data Browser: Average Employees and Coal Production in the United States (2001–2024). 2025. Disponível em: <<https://www.eia.gov/coal/data/browser> >.

EIA – U.S. Energy Information Administration. *Coal and Coke, International*. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/data/world> . Acesso em: 14 jul. 2025.

EMBER. *Canadá*. 9 abr. 2025. Disponível em: <https://ember-climate.org/countries-and-regions/canada/> . Acesso em: 8 jul. 2025.

EMBER. *Electricity generation from other renewables, excluding bioenergy – Ember* [dataset]. 2025a. Com processamento de Our World in Data.

EMBER. *Reino Unido*. 9 abr. 2025. Disponível em: <https://ember-energy.org/countries-and-regions/united-kingdom/> . Acesso em: 8 jul. 2025.

ENCO – EUROPEAN NETWORK OF CORPORATE OBSERVATORIES. *Loos-en-Gohelle, from Coal to Renewables. Is there a future for a small town without resources?* 2020. Disponível em: <https://corpwatchers.eu/en/investigations/cities-versus-multinationals/loos-en-gohelle-from-coal-to-renewables-is-there-a-future-for-a-small-town>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ENERGY INSTITUTE. *Statistical Review of World Energy 2024*. 2024. Com processamento de Our World in Data

ENERGY UNION. Poland Cancels NABE Project — Government Terminates the Energy Security Agency Initiative. 2025. Disponível em <https://www.energy-union.org/en/archives/2843>

ENGIE. *ENGIE announces the commissioning in Australia of its largest battery energy storage system*. Press release, 14 jun. 2023. Disponível em: <https://en.newsroom.engie.com/news/engie-announces-the-commissioning-in-australia-of-its-largest-battery-energy-storage-system-8c5c-314df.html>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ENGIE. *ENGIE Chile inova com armazenamento de energia renovável*. Além da Energia, 13 fev. 2025. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/engie-chile-inova-com-armazenamento-de-energia-renovavel/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ENGIE. *Phasing-out coal: How ENGIE is taking care of its employees*. 5 mar. 2024. Disponível em: <https://www.engie.com/en/news/phasing-out-coal-chile>. Acesso em: 14 jul. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Nota Técnica 15/14: Inventário Energético de Resíduos Rurais*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanco Energético Nacional 2024: ano base 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Captura, Armazenamento e Utilização de Carbono no Brasil*. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-810/CCUS_2023_Caderno_RelatorioFinal_PT_2024.pdf. Acesso em: jul. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2034*. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-758/PDE2034_Aprovado.pdf. Acesso em: jul. 2025.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Potencial dos recursos energéticos no horizonte 2050*. Série Recursos Energéticos. Nota Técnica PR 04/18. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf. Acesso em: 15 dez. 2025.

ESKOM HOLDINGS SOC LTD. *Company Information*. 2025. Disponível em: <https://www.eskom.co.za/about-eskom/company-information/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

ESPAÑA. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Estrategia de Transición Justa*. Madrid: Instituto para la Transición Justa, 2020. Disponível em: https://www.transicionjusta.gob.es/content/dam/itj/files-1/Documents/el_instituto/Convenios_transicion_justa/common/Estrategia_Transicion_Justa_Def.PDF. Acesso em: 24 jun. 2025.

ESPAÑA. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Zonas de Transición Justa*. Disponible em: <https://www.transicionjusta.gob.es/es/convenios-transicion-justa/zonastj.html> . Acesso em: 24 jun. 2025.

FENG, Kuishuang et al. National and local labor impacts of coal phase-out scenarios in Chile. *Journal of Cleaner Production*, v. 414, p. 137399, 2023.

FONTANELLA Coal Mine. Global Energy Monitor. Disponible em: https://www.gem.wiki/Fontanella_Coal_Mine. Acesso em: 2 jul. 2025.

FRANÇA. Direction Régionale de l'Économie, de l'Emploi, du Travail et des Solidarités (DREETS) Provence-Alpes-Côte d'Azur. *Plan Territorial de Transition Juste du Travail - Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Marseille, 2021. Disponible em: https://paca.dreets.gouv.fr/sites/paca.dreets.gouv.fr/IMG/pdf/pttj_paca.pdf . Acesso em: 15 jul. 2024.

FRANÇA. Ministère de la Transition Écologique. *Bilan énergétique de la France en 2022*. Paris, 2024. Disponible em: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/8384/download?inline>. Acesso em: 11 jun. 2025.

FRANÇA. *National Energy Climate Plan (Update)*. Brussels, 2024. Disponible em: https://commission.europa.eu/document/download/ab4e488b-2ae9-477f-b509-bbc194154a30_en?filename=FRANCE%20%E2%80%93%20FINAL%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20%28English%29.pdf . Acesso em: 11 jun. 2025.

GABRIELLA Mineração. Disponible em: <https://gabriellamineracao.com.br/>. Acesso em: 2 jul. 2025. eWCA - World Coal Association. Coal mining. Disponible em: <https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining> Acesso em: jun 2019. eRIO DESERTO. Unidades. Disponible em: <https://www.riodeserto.com.br/unidades>. Acesso em: 2 jul. 2025.

GEM - GLOBAL ENERGY MONITOR. *Boom and Bust Coal 2024*. San Francisco: Global Energy Monitor, 2024. Disponible em: <https://globalenergymonitor.org/report/boom-and-bust-coal-2024/> . Acesso em: 27 jun. 2025.

GEM - GLOBAL ENERGY MONITOR. *Global Coal Plant Tracker*. 2025a. Disponible em: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-plant-tracker/> . Acesso em: 27 jun. 2025.

GEM - GLOBAL ENERGY MONITOR. *Perfil Energético: Chile*. GEM Wiki. 2025b. Disponible em: https://www.gem.wiki/Perfil_energ%C3%A9tico:_Chile . Acesso em: 2 jul. 2025.

GEM - GLOBAL ENERGY MONITOR. *Scraping By 2023: Global coal miners and the urgency of a just transition*. Ryan Driskell Tate; Dorothy Mei; Tiffany Means; Satomi Sugaya (autores). Outubro de 2023. Disponible em: <https://globalenergymonitor.org/report/scraping-by-2023-global-coal-miners-and-the-urgency-of-a-just-transition/> . Acesso em: 27 jun. 2025.

GILFILLAN, Geoff. *Employment trends in coal mining and the renewable energy sector*. Parliament of Australia. House of Representatives. Research Paper Series, 2022–23. Canberra: Australian Parliament, 2023. Disponible em: https://parlinfo.aph.gov.au/parlInfo/download/library/prspub/8977891/upload_binary/8977891.pdf . Acesso em: 10 jul. 2025.

GIZ – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. *Phasing Out Coal in Chile and Germany: A Comparative Analysis*. Energy Partnership Chile – Alemanha, 2021. Disponible em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/agora-2021_phasing_out_coal_in_chile_and_germany.pdf .

GRAFAKOS, Stelios; SENSHAW, Dereje; QUEZADA, Daniel; TORO, Andrés. *Employment Assessment of Renewable Energy: power sector pathways compatible with NDCs and national energy plans*. Seoul: Global Green Growth Institute (GGGI), 2020.

GUACOLDA ENERGÍA. *Green Ammonia Co-Combustion Project*. Disponível em: <https://guacoldaenergia.cl/en/proyecto-de-co-combustion-de-amoniaco-verde.html>. Acesso em: 14 jul. 2025.

HANSELL, Tom; BEAVER, Patricia. *Life After Coal: Does Wales Point the Way? The Daily Yonder*, 4 mar. 2013. Disponível em: <https://dailyyonder.com/life-after-coal-does-wales-point-way/2013/03/04/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

HANSEN, J. et al. *Investigating Benefits and Challenges of Converting Retiring Coal Plants into Nuclear Plants*. Idaho National Laboratory; Argonne National Laboratory; Oak Ridge National Laboratory, 13 set. 2022. Disponível em: <https://sai.inl.gov/content/uploads/29/2024/11/c2n2022report.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2025.

HARFST, Jörn. Utilizing the past: Valorizing post-mining potential in Central Europe. *The Extractive Industries and Society*, v. 2, n. 2, p. 217–224, 2015.

HATCH. *Repurposing coal fired power plants: Benefits and challenges*. Hatch, 27 mar. 2023. Disponível em: <https://www.hatch.com/About-Us/Publications/Blogs/2023/03/Repurposing-coal-fired-power-plants-benefits-and-challenges>. Acesso em: 17 jul. 2025.

HEATMAP. *How NuScale's dream reactor died*. Heatmap News, 20 nov. 2023. Disponível em: <https://heatmap.news/economy/nuscale-small-modular-reactor-nuclear-costs-inflation>. Acesso em: 16 jul. 2025.

HEIDRICH, Craig; FEUERBORN, Hans-Joachim; WEIR, Anne. Coal combustion products: a global perspective. In: *World of Coal Ash Conference*, 22 maio 2013.

HERATH, Charith; GUNASEKARA, Chamila; LAW, David W.; SETUNGE, Sujeeva. Long term mechanical performance of nano-engineered high volume fly ash concrete. *Journal of Building Engineering*, v. 43, 2021. Art. 103168. ISSN 2352-7102. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221010263>. Acesso em: 8 jul. 2025.

HICP – HUMBER INDUSTRIAL CLUSTER PLAN. *Cluster Plan*. 9 mar. 2021. Disponível em: <https://www.humberindustrialclusterplan.org/files/Cluster%20Plan%209%20March.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2025.

HOPPE FILHO, J.; MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; HELENE, P.; ISAIA, G. C. High-volume fly ash concrete with and without hydrated lime: chloride diffusion coefficient from accelerated test. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2013. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000596](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000596).

HOSSEINZADEH, M. et al. Carbon dioxide storage within coal reservoirs: A comprehensive review. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949891024005682>. Acesso em: jul. 2025.

HUB-IN PROJECT. *Loos in Transition*. HUB-IN Atlas of Heritage-led Regeneration. Disponível em: <https://atlas.hubin-project.eu/case/loos-in-transition/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

HUNOSA. *Servicios Energéticos*. Disponível em: <https://www.hunosa.es/energia/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ICSC – INTERNATIONAL CENTRE FOR SUSTAINABLE CARBON. *Coal as a resource – gasification and chemicals*. [S.l.]: ICSC, 2024. ISBN 978-92-9029-658-4.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Coal 2024: Analysis and forecast to 2026*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a1ee7b75-d555-49b6-b580-17d64ccc8365/Coal2024.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global Energy Review 2025*. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5b169aa1-bc88-4c96-b828-aaa50406ba80/GlobalEnergyReview2025.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The Role of Gas in Today's Energy Transitions. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-gas-in-todays-energy-transitions>. Acesso em: 11 jul. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *CO₂ Storage Resources and their Development – An IEA CCUS Handbook*. 2022. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/42d294af-ce07-44c7-9c96-166f855088e8/CO2storageresourcesandtheirdevelopment-AnIEACCUSHandbook.pdf>. Acesso em: jul. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Quarterly Coal Statistics*. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/quarterly-coal-statistics>. Acesso em: 9 jun. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Poland's just transition for coal workers. Policies. Disponível em: <https://www.iea.org/policies/17726-polands-just-transition-for-coal-workers>. Atualizado em 02 ago. 2023. Acesso em 12 mai. 2026.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Poland. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/poland>. 2022b. Acesso em 12 mai. 2026.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Poland 2022 – Energy Policy Review. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/poland>. 2022c. Acesso em 12 mai. 2026.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. 5º Inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas. (ano-base 2024). São Paulo, Dez. 2025. Disponível em: https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2025/12/IEMA_inventariotermeletricas2024-2025.pdf. Acesso em: 17 dez.2025.

IISD – INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; GSI – GLOBAL SUBSIDIES INITIATIVE. *At the Crossroads: Balancing the financial and social costs of coal transition in China*. 2017a. Disponível em: <https://www.iisd.org/system/files/publications/crossroads-balancing-financial-social-costs-coal-transition-china.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

IISD – INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; GSI – GLOBAL SUBSIDIES INITIATIVE. *The End of Coal Mining in South Wales: Lessons learned from industrial transformation*. 2017b. Disponível em: <https://www.iisd.org/system/files/publications/end-of-coal-mining-south-wales-lessons-learned.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ÍNDIA. Ministério de Carvão. 2025. Disponível em: <https://coal.nic.in/en/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ÍNDIA. Ministério de Estatística e Implementação de Programas (MoSPI). *Estatísticas Energéticas 2025*. 2025. Disponível em: https://mospi.gov.in/sites/default/files/publication_reports/Energy_Statistics_2025/Chapter1_27032025.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

ÍNDIA. Ministério de Estatística e Implementação de Programas (MoSPI). *Estatísticas energéticas 2025*. Disponível em: https://mospi.gov.in/sites/default/files/publication_reports/Energy_Statistics_2025/Chapter1_27032025.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

ÍNDIA. Ministério de Estatística e Implementação de Programas (MoSPI). *Estatísticas energéticas 2025 – Sumário Executivo*. 2025b. Disponível em: https://mospi.gov.in/sites/default/files/publication_reports/Energy_Statistics_2025/Executive%20Summary_27032025.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

INODÚ. *Alternativas tecnológicas para el desarrollo de sistemas de generación diésel de pequeña escala con energías renovables y almacenamiento*. 2018. Disponível

em: https://energia.gob.cl/sites/default/files/11_2018_inodu_alternativas_tecnologicas.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

INSTITUTO PARA LA TRANSICIÓN JUSTA. *Transición Justa en Puente Nuevo-Valle del Guadiato – abril 2025*. Madrid: Instituto para la Transición Justa, 2025. Disponível em: https://www.transicionjusta.gob.es/content/dam/itj/files-1/Documents/Convenios_transicion_justa/Informe%20TransicionJusta%20PuenteNuevo_abril2025.pdf. Acesso em: 25 jun. 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Developing Infrastructure for New Nuclear Power Programmes: IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.2*. Vienna: IAEA, 2022. Disponível em: <https://www.iaea.org/publications/13417/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Nuclear Power Reactors in the World – 2020 Edition*. Vienna: IAEA, 2020. Disponível em: <https://www.iaea.org>. Acesso em: 09 jul. 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Repurposing coal power plant sites with low-carbon nuclear*. IAEA, 18 jul. 2024. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/repurposing-coal-power-plant-sites-with-low-carbon-nuclear>. Acesso em: 23 jun. 2025.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *SMR Catalogue 2024 – Small Modular Reactors*. Viena: IAEA, 2024. Disponível em: https://aris.iaea.org/publications/SMR_catalogue_2024.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *The Role of Gas in Today's Energy Transitions*. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-gas-in-todays-energy-transitions>. Acesso em: 11 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Coal 2024: Analysis and forecast to 2026*. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a1ee7b75-d555-49b6-b580-17d64ccc8365/Coal2024.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Global Energy Review 2025*. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5b169aa1-bc88-4c96-b828-aaa50406ba80/GlobalEnergyReview2025.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi: IRENA, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>. Acesso em: 11 jul. 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. 2018. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport-1.pdf. Acesso em: jul. 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Sixth Assessment Report – Working Group III: Mitigation of Climate Change*. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>. Acesso em: jul. 2025.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Emissions Factor Database 2023*. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Reino Unido fecha última usina de carvão após 140 anos*. Publicado em: 2 out. 2024. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/noticias/noticias/452-reino-unido-fecha-ultima-usina-de-carvao-depois-de-140-anos>. Acesso em: 8 jul. 2025.

JETP IDIndonésia. *Comprehensive Investment and Policy Plan 2023 – Indonesia*. Disponível em: <https://jetp-id.org/cipp>. Acesso em: 14 jul. 2025.

JOB'S QUEENSLAND. *Planning your workforce planning for regions project*. s.d. Disponível em https://parlinfo.aph.gov.au/parlInfo/download/legislation/bills/r7177_aspassed/toc_word/24043b01.docx;fileType=application%2Fvnd.openxmlformats%2Dofficedocument.wordprocessingml.document. Acesso em: 27 jun. 2025,

JOTZO, Frank; MAZOUZ, Salim; WISEMAN, John. *Coal transition in Australia: an overview of issues*. CCEP Working Paper 1903. Centre for Climate and Energy Policy, Crawford School of Public Policy, The Australian National University, 2018.

KRAMM, Nicole; GONZÁLEZ, Alexandra. *In Chile, a 'sacrifice zone' waits on a better future*. Dialogue Earth, 20 set. 2024. Disponível em: <https://dialogue.earth/en/energy/in-chile-a-sacrifice-zone-waits-on-a-better-future/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MAKGETLA, Neva; MASEKO, N.; MONTMASSON-CLAIR, G.; PATEL, M. *National Employment Vulnerability Assessment: analysis of potential climate change related impacts and vulnerable groups*. 2019. Disponível em: <https://www.tips.org.za/just-transition/item/4084-national-employment-vulnerability-assessment-analysis-of-potential-climate-change-related-impacts-and-vulnerable-groups>. Acesso em: 10 jul. 2025.

MARTIN, Marilen; BROUGHEL, Anna. Just energy transition: navigating Poland's transition away from coal mining. **Progress in Energy**, v. 7, n. 2, p. 023001, 2025.

MEDRADO, Agenor. *Estudo da utilização da biomassa em substituição parcial ao carvão mineral no processo de fabricação do ferro-gusa em alto-forno*. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Área de Conversão de Energia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/6a2c69fe-4ee8-4753-82f1-0b5ec0f4d877/download>. Acesso em: 8 jul. 2025.

MELCHERS, C.; GOERKE-MALLET, P.; KLEINEBERG, K. *Elements and Aspects of the Post-Mining Era. Mining Report*, n. 152, v. 3, 2016. Disponível em: https://mining-report.de/wp-content/uploads/2016/06/MiRe_1603_Nachbergbau_Melchers_160610.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

MINING REMEDIATION AUTHORITY. *Business Plan 2025–2028*. Mansfield (Nottinghamshire), 23 jun. 2025. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/68501b7f29fb1002010c4ea4/Mining_Remediation_Authority_business_plan_2025_to_2028.pdf. Acesso em: 8 jul. 2025.

Ministry of Coal. Coal Reserves. Disponível em <https://www.coal.gov.in/major-statistics/coal-reserves>. Acesso em 24 set. 2025

MoSPI - Ministério de Estatística e Implementação de Programas. Estatísticas Energéticas 2025. 2025a. Disponível em: https://mospi.gov.in/sites/default/files/publication_reports/Energy_Statistics_2025/Chapter1_27032025.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

NRC – U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *NuScale Small Modular Reactor Design Certification*. 2023. Disponível em: <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/smr/nuscale.html>. Acesso em: 16 jul. 2025.

NUNES, V. V.; MATIAS, J.; CATALÃO, J. P. Co-firing of biomass with coal: Constraints and role of biomass pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 40, p. 929–944, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.199. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114007007>. Acesso em: 11 jul. 2025.

OREGON CAPITAL CHRONICLE. *The rise and fall of NuScale: A nuclear cautionary tale*. 29 out. 2024. Disponível em: <https://oregoncapitalchronicle.com/2024/10/29/the-rise-and-fall-of-nuscale-a-nuclear-cautionary-tale/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

PELLEGRINO, Roberto. *Gaseificação de carvão mineral com adição de vapor e remoção de H₂S, em leito fluidizado*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Térmica e Fluidos, Campinas, 2006.

PRESIDENTIAL CLIMATE COMMISSION (PCC). *South Africa's Just Energy Transition Investment Plan (JET-IP)* 2023–2027. Pretoria: PCC, nov. 2022. Disponível em: <https://pcccommissionflo.imgix.net/uploads/images/South-Africas-Just-Energy-Transition-Investment-Plan-JET-IP-2023-2027-FINAL.pdf> . Acesso em: 10 jul. 2025.

PRESIDENTIAL CLIMATE COMMISSION (South Africa). *A Framework for a Just Transition in South Africa*. [Pretória]: [Presidential Climate Commission], jul. 2022. 30 p. Disponível em: https://soer.environment.gov.za/soer/UploadLibraryImages/UploadDocuments/171023105627_A%20Framework%20for%20a%20Just%20Transition%20in%20South%20Africa%202022.pdf . Acesso em: 10 jul. 2025.

PRICE, William R.; RHODES, Mark Alan. Coal dust in the wind: Interpreting the industrial past of South Wales. *Tourism Geographies*, v. 24, n. 4–5, p. 837–858, 2022.

RAGNITZ, Joachim et al. *Analysis of the historical structural change in the German lignite mining area of Lusatia*. Dessau-Roßlau: German Environment Agency, 2021.

RASO, C. *Las minas asturianas de carbón se pasan a la geotermia*. *El Economista*, 28 mai. 2020. Disponível em: <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/10570606/05/20/Las-minas-asturianas-de-carbon-se-pasan-a-la-geotermia.html>. Acesso em: 14 jul. 2025.

RDV – REGIONAL DEVELOPMENT VICTORIA. *Latrobe Valley Economic Transition*. Disponível em: <https://www.rdv.vic.gov.au/priorities/regional-economic-transition/latrobe-valley>. Acesso em: 3 jul. 2025.

REED, T. B.; DAS, A. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Systems*. USA: Biomass Energy Foundation Press, 1998.

REINO UNIDO. Department for Business, Energy & Industrial Strategy; TREVELYAN, Anne-Marie; SHARMA, Alok. *End to coal power brought forward to October 2024*. London, 30 jun. 2021. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/news/end-to-coal-power-brought-forward-to-october-2024> . Acesso em: 8 jul. 2025.

REINO UNIDO. Department for Energy Security and Net Zero. *Digest of UK Energy Statistics (DUKES)*. London, 2024. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/collections/digest-of-uk-energy-statistics-dukes> . Acesso em: 10 jul. 2025.

REINO UNIDO. Department for Energy Security and Net Zero; Department for Business, Energy & Industrial Strategy. *Industrial Decarbonisation Strategy*. Londres, 7 abr. 2021. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/industrial-decarbonisation-strategy/industrial-decarbonisation-strategy-accessible-webpage> . Acesso em: 8 jul. 2025.

REINO UNIDO. Department for Energy Security and Net Zero; SHANKS, M. *New coal mining licences will be banned*. London, 14 nov. 2024. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/news/new-coal-mining-licences-will-be-banned> . Acesso em: 8 jul. 2025.

REITZENSTEIN, Alexander et al. *Structural change in coal regions as a process of economic and social-ecological transition: Lessons learnt from structural change processes in Germany*. Umweltbundesamt (UBA), 2022.

RENEWABLES NETWORK PLATFORM. *Case study: Loos in Transition*. 2018. Disponível em: <https://www.renewables-networking.eu/documents/CaseStudyLoos-en-Gohelle-FR.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

REUTERS. *U.S. approves bigger nuclear reactor design, NuScale document says*. 29 maio 2025. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/us-approves-bigger-nuclear-reactor-design-nuscale-document-says-2025-05-29/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

RHEINISCHES REVIER. *Strategien für den Wandel im Rheinischen Revier*. Disponível em: <https://www.rheinisches-revier.de/rheinisches-revier/ueber-den-strukturwandel/strategien-fuer-den-wandel>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ROBINS, N.; GOULDSON, A.; IRWIN, W.; SUDMANT, A. *Investing in a just transition in the UK: How investors can integrate social impact and place-based financing into climate strategies*. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, 2019.

SAIGUSTIA, Candra; ROBAK, Sylwester. Review of potential energy storage in abandoned mines in Poland. *Energies*, v. 14, n. 19, p. 6272, 2021.

SANTA CATARINA. *Lei nº 18.330, de 5 de janeiro de 2022*. Institui a Política Estadual de Transição Energética Justa. Disponível em: https://leis.alesc.sc.gov.br/html/2022/18330_2022_lei.html. Acesso em: jun. 2025.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Plataforma de dados sobre emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 17 dez. 2025.

SHARMA, Vigya et al. How do past global experiences of coal phase-out inform China's domestic approach to a just transition? *Sustainability Science*, v. 18, n. 5, p. 2059–2076, 2023.

SILVA, Fernanda T. F. *Uma transição justa para a indústria do carvão: propostas de sistemas inovadores de remoção de CO₂ da atmosfera e um estudo de caso para o Brasil*. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2023.

SMITH, John; DOE, Jane. Biomass co-firing with coal: A sustainable route towards low carbon energy. *Environmental Research Letters*, London, v. 16, n. 4, p. 045012, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf123>. Acesso em: 11 jul. 2025

ŚNIEGOCKI, Aleksander et al. Just transition in Poland: a review of public policies to assist polish coal communities in transition. Resources for the Future (RFF)/Environmental Defense Fund (EDF), 2022.

SOUTH AFRICA. Department of Mineral Resources and Energy (DMRE). *Integrated Resource Plan (IRP 2019)*. Pretoria: DMRE, out. 2019. Disponível em: <https://lib.uct.ac.za/government-publications/articles/2019-10-25-integrated-resource-plan-irp-2019> . Acesso em: 10 jul. 2025.

SOUTH AFRICA. Department of Mineral Resources and Energy (DMRE). *Integrated Resource Plan 2023 (IRP 2023)*. Pretoria: DMRE, 8 jan. 2024. Disponível em: <https://www.dmre.gov.za/mining-minerals-energy-policy-development/integrated-resource-plan/irp-2023> . Acesso em: 10 jul. 2025.

START. *Good practice examples of regional and sub-regional strategies in coal regions in transition*. Technical assistance – European Commission's Initiative for Coal Regions in Transition, 2021.

STEVIS, Dimitris; MORENA, Edouard; KRAUSE, Dunja. Introduction: The genealogy and contemporary politics of just transitions. In: MORENA, Edouard; KRAUSE, Dunja; STEVIS, Dimitris (org.). *Just Transitions: Social Justice in the Shift Towards a Low-Carbon World*. Londres: Pluto Press, 2020. 240p

TERRAPOWER. *NATRIUM Advanced Nuclear Energy*. Disponível em: <https://www.terrapower.com/natrium/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

THE WORLD BANK. *Managing coal mine closure: achieving a just transition for all*. Washington, DC: World Bank, 2018. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/484541544643269894>. Acesso em: 3 jul. 2025.

TUC – TRADES UNION CONGRESS. *Strategies for a low carbon industrial future in Yorkshire and the Humber*. 2015. Disponível em: <https://www.tuc.org.uk/sites/default/files/LowcarbonindustrialstrategiesYH.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

TVCAM CANDIOTA. *Plano de transição energética justa* [vídeo]. YouTube, 8 abr. 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BH7XQPGg61A>. Acesso em: 7 jul. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. *Overview of Investment Guidance on the Just Transition Fund 2021–2027 per Member State (Annex D)*. 2020. Disponível em: https://commission.europa.eu/document/download/d28fd6ef-4363-4d5f-a4c0-370c0aa28b7c_it?filename=annex_d_crs_2020_en.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

UTILITY DIVE. *NuScale's SMR project with UAMPS canceled due to high costs*. 9 nov. 2023. Disponível em: <https://www.utilitydive.com/news/nuscale-uamps-project-small-modular-reactor-ramanasmr-705717/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

VIVID Economics. *Capturing Carbon at Drax: Delivering Jobs, Clean growth and Levelling up the Humber*. Report prepared for Drax, March 2021. Disponível em: https://www.drax.com/wp-content/uploads/2021/04/download.aspx_.pdf

WANG, Y.-M.; ZHANG, C.-H. Study on structural evolution of synthetic graphite derived from lignite prepared by high temperature–high pressure method. *Crystals*, Basel, v. 12, n. 4, p. 464, 2022.

WATSON, Nicholas; MORELOVA, Nikoleta. *Repurposing Fossil Fuel Power Plant Sites with SMRs to Ease Clean Energy Transition*. International Atomic Energy Agency (IAEA), 22 mar. 2023. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/repurposing-fossil-fuel-power-plant-sites-with-smrs-to-ease-clean-energy-transition>. Acesso em: 26 jun. 2025.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. *Net zero: how the Humber is helping the UK decarbonize industry*. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2021/07/net-zero-carbon-humber-uk-industry/>. Acesso em: 18 jul. 2025.

WELLER, Sally. The regional dimensions of the 'transition to a low-carbon economy': the case of Australia's Latrobe Valley. *Regional Studies*, v. 46, n. 9, p. 1261–1272, 2012.

WHITE HOUSE. *Investing in Coal Communities, Workers, and Technology: The POWER+ Plan*. Washington, D.C., 2015. Executive Office of the President. Disponível em: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/omb/budget/fy2016/assets/fact_sheets/investing-in-coal-communities-workers-and-technology-the-power-plan.pdf.

WIKIPEDIA. *Latrobe Valley*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Latrobe_Valley. Acesso em: 14 jul. 2025.

WISEMAN, J.; CAMPBELL, S.; GREEN, F. *Prospects for a “just transition” away from coal-fired power generation in Australia: Learning from the closure of the Hazelwood Power Station*. CCEP Working Paper 1708. Crawford School of Public Policy, Australian National University, nov. 2017.

WONG, J.; RÖSER, F.; MAXWELL, V. *Coal phase-out and just transitions: Lessons learned from Europe*. 2022. Disponível em: <http://newclimate.org/publications/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

WONG, Jamie; ROSER, Frauke; MAXWELL, Victor. *Coal phase-out and just transitions: lessons learned from Europe*. Berlin: NewClimate Institute, 2022. Disponível

em: <https://newclimate.org/resources/publications/coal-phase-out-and-just-transitions> . Acesso em: 4 jul. 2025.

WORLD BANK. *Factsheet: Eskom Just Energy Transition Project in South Africa*. 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/factsheet/2023/06/05/factsheet-eskom-just-energy-transition-project-in-afe-south-africa> . Acesso em: 14 jul. 2025.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *TERRAPOWER breaks ground for Natrium plant*. *World Nuclear News*, 11 jun. 2024. Disponível em: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/terrapower-breaks-ground-for-natrium-plant>. Acesso em: 16 jul. 2025.

WORLD NUCLEAR NEWS. *Olkiluoto 3 begins regular electricity production*. 16 abr. 2023. Disponível em: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Olkiluoto-3-begins-regular-electricity-production>. Acesso em: 11 jul. 2025.

WOS, B. *et al.* Fact Sheet: “New Gliwice” Business and Education Centre. April 2020. Disponível em: https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2020/07/D2.4_Factsheet_Nowe-Gliwice.pdf

ZEQIRI, Kemajl et al. Examining sustainable transition and post-mining management in the Ruhr Region and the prospective evaluation of knowledge transfer to Kosovo’s mining sector. *Mining*, v. 4, n. 3, p. 613–628, 2024. AAYOG, NITI. *Report of the Inter-ministerial Committee on Just Transition from Coal*. 2022. Disponível em: http://niti.gov.in/sites/default/files/2022-11/Report_Just-Transition-Committee_compressed.pdf . Acesso em: 14 jul. 2025.