



NOTA TÉCNICA

**ANÁLISE
SOCIOAMBIENTAL
DAS FONTES
ENERGÉTICAS
DO PDE 2035**

FEVEREIRO DE 2026

■ Colaboradores

NOTA TÉCNICA EPE/DEA/SMA/006/2026

Coordenação Geral

Thiago Ivanoski Teixeira

Coordenação Executiva

Elisângela Medeiros de Almeida

Coordenação Técnica

Hermani de Moraes Vieira

Equipe Técnica

Alfredo Lima Silva

Ana Dantas M. de Mattos

André Cassino Ferreira

André Viola Barreto

Bernardo Regis G. de Oliveira

Carina Rennó Siniscalchi

Carolina Fiorillo Mariani

Carolina M. H. de G. A. F. Braga

Clayton Borges da Silva

Cristiane Moutinho Coelho

Daniel Dias Loureiro

Fernando José Soares Barros

Gabriel de Almeida de Barros

Glauce Maria Lieggio Botelho

Guilherme de Paula Salgado

Gustavo Fernando Schmidt

Hermani de Moraes Vieira

Juliana Velloso Durão

Kátia Gisele Matosinho

Leonardo de Sousa Lopes

Leyla A. Ferreira da Silva

Luciana Álvares da Silva

Luciana Athanasio de Azevedo

Marcos Ribeiro Conde

Maria Fernanda B. Pinheiro

Mariana Lucas Barroso

Mariana R. de C. Pinheiro

Nicholas Bernardes Gjorup

Paula Cunha Coutinho

Robson de Oliveira Matos

Silvana Andreoli Espig

Valentine Jahnel

Verônica S. da M. Gomes



VALOR PÚBLICO

A EPE ELABORA ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS DAS FONTES ENERGÉTICAS PARA O PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA (PDE) CONTRIBUINDO ASSIM COM OS ESTUDOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO DE MÉDIO PRAZO. SÃO ELABORADAS ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS TANTO PARA SUBSIDIAR A EXPANSÃO ENERGÉTICA DECENAL, QUANTO PARA AVALIAR A OFERTA ENERGÉTICA INDICADA NO PLANO.

COM ESTA NOTA TÉCNICA A EPE TRAZ TRANSPARÊNCIA E DIMINUI A ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES SOBRE OS ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DAS FONTES ENERGÉTICAS PREVISTAS NO HORIZONTE DO PDE 2035. PARA CADA UMA DAS FONTES ENERGÉTICAS, SÃO ANALISADOS: AS INTERFERÊNCIAS SOCIOAMBIENTAIS RELEVANTES E AS MEDIDAS MITIGADORAS RELACIONADAS, OS DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS E AS INICIATIVAS EM ANDAMENTO PARA SUA RESOLUÇÃO, E AS OPORTUNIDADES SOCIOAMBIENTAIS VISLUMBRADAS COM A EXPANSÃO PLANEJADA. SÃO APRESENTADOS TAMBÉM INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS DA EXPANSÃO.



Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Gustavo Cerqueira Ataíde

Secretário Nacional de Energia Elétrica

João Daniel de Andrade Cascalho

Secretária Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

Secretário Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Renato Cabral Dias Dutra

**Secretária Nacional de Transição Energética e Planejamento
Substituta**

Lorena Melo Silva Perim

Composição dos cargos em 11 de fevereiro de 2026.



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 Biocom-
bustíveis**

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa

Carlos Eduardo Cabral Carvalho

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

■ Sumário

1	Introdução	5
2	Conceitos e Métodos.....	6
3	Subsídios socioambientais para a expansão decenal.....	9
	3.1 Avaliação processual das usinas hidrelétricas.....	9
	3.2 Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural	11
4	Análise socioambiental da oferta de energia elétrica	14
	4.1 Hidrelétricas.....	14
	4.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas	28
	4.3 Termelétricas de fontes não renováveis	34
	4.4 Termelétricas renováveis	41
	4.5 Eólicas	49
	4.6 Usinas Solares Fotovoltaicas	63
	4.7 Transmissão de Energia Elétrica	75
5	Análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados	86
	5.1 Produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados	86
6	Análise socioambiental da oferta de biocombustíveis.....	100
	6.1 Etanol.....	100
	6.2 Biodiesel	109
	6.3 Biometano	117
7	Conclusão.....	123
8	Referências bibliográficas	124

■ Lista de Ilustrações

Figura 1 – Premissas da análise socioambiental do PDE 2035	5
Figura 2 – Objetivos da análise socioambiental do PDE 2035.....	5
Figura 3 – Análise socioambiental das fontes energéticas para compor a análise socioambiental integrada	7
Figura 4 – Fluxograma com os prazos utilizados na avaliação processual	9
Figura 5 – Etapas de análise das UPs contratadas, como subsídio à previsão de início da produção.....	11
Figura 6 – Procedimento de análise das UPs <i>offshore</i> contratadas.....	12
Figura 7 – Procedimento de análise das UPs <i>onshore</i> contratadas	12
Figura 8 – Resultado da classificação de complexidade das UPs contratadas.....	13
Figura 9 – Localização da expansão de usinas hidrelétricas no PDE 2035	15
Figura 10 – Localização da expansão de PCHs e CGHs no PDE 2035	29
Figura 11 – Localização da expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2035	35
Figura 12 – Localização da expansão termelétrica renovável no PDE 2035	42
Figura 13 – Localização da expansão eólica no PDE 2035.....	50
Figura 14 – Localização da expansão solar fotovoltaica no PDE 2035	64
Figura 15 - Linhas de transmissão planejadas no PDE 2035 e áreas legalmente protegidas	77
Figura 16 – Unidades produtivas, UPGNs, terminal e gasodutos de transporte planejados no PDE 2035	89
Figura 17 – Localização das usinas de etanol planejadas no PDE 2035	102
Figura 18 – Localização das usinas de biodiesel planejadas no PDE 2035	110
Figura 19 – Localização das usinas de biometano planejadas no PDE 2035.....	118

■ Lista de Quadros

Quadro 1 – Conceitos utilizados na análise socioambiental das fontes energéticas	7
Quadro 2 – Temas socioambientais e as interferências socioambientais representadas.....	8
Quadro 3 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica	18
Quadro 4 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica.....	23
Quadro 5 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica	26
Quadro 6 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs	30
Quadro 7 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs	31
Quadro 8 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão de PCHs e CGHs	32
Quadro 9 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis	37
Quadro 10 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis	39
Quadro 11 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis	40
Quadro 12 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão termelétrica renovável	44
Quadro 13 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica renovável	47
Quadro 14 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica	55
Quadro 15 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica.....	59
Quadro 16 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica	60

Quadro 17 – Principal interferência, medidas mitigadoras e tema socioambiental da expansão fotovoltaica centralizada.....	67
Quadro 18 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada.....	72
Quadro 19 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão fotovoltaica centralizada.....	73
Quadro 20 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão.....	80
Quadro 21 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão.....	83
Quadro 22 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da transmissão.....	85
Quadro 23 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados.....	93
Quadro 24 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados.....	96
Quadro 25 – Principal oportunidade socioambiental e sua conjuntura relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados.....	98
Quadro 26 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol.....	106
Quadro 27 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de etanol.....	107
Quadro 28 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel.....	114
Quadro 29 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel.....	115
Quadro 30 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biometano.....	120
Quadro 31 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biometano.....	121

■ **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Avaliação processual de UHEs do PDE 2035.....	10
Tabela 2 - Etapas do licenciamento ambiental e prazos (em meses) distribuídos por classe de complexidade.....	13
Tabela 3 – Síntese da análise socioambiental das usinas hidrelétricas do PDE 2035.....	17
Tabela 4 – Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica.....	27
Tabela 5 – Síntese da análise socioambiental das PCHs e CGHs do PDE 2035.....	30
Tabela 6 – Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs.....	33
Tabela 7 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas de fontes não renováveis do PDE 2035.....	37
Tabela 8 - Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis.....	40
Tabela 9 - UTEs renováveis contratadas (2026-2027) por tipo de combustível e potência.....	42
Tabela 10 - Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas renováveis do PDE 2035.....	43
Tabela 11 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável.....	48
Tabela 12 - Síntese da análise socioambiental das usinas eólicas do PDE 2035.....	55
Tabela 13 – Indicadores socioambientais da expansão eólica.....	61
Tabela 14 – Síntese da análise socioambiental das usinas fotovoltaicas do PDE 2035.....	66
Tabela 15 – Indicadores socioambientais da expansão solar fotovoltaica.....	74
Tabela 16 - Extensão das linhas de transmissão planejadas por região.....	77
Tabela 17 - Extensão das linhas de transmissão planejadas em áreas com restrição socioambiental.....	78
Tabela 18 – Síntese da análise socioambiental das linhas de transmissão do PDE 2035.....	80

Tabela 19 – Indicadores socioambientais da expansão da transmissão de energia elétrica.....	85
Tabela 20 – Síntese da análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados no PDE 2035	93
Tabela 21 – Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados	99
Tabela 22 – Síntese da análise socioambiental de etanol do PDE 2035	104
Tabela 23 – Indicadores socioambientais da expansão do etanol.....	108
Tabela 24 – Síntese da análise socioambiental do biodiesel do PDE 2035.....	111
Tabela 25– Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel	116
Tabela 26– Síntese da análise socioambiental do biometano do PDE 2035.....	119

1 Introdução

A análise socioambiental da expansão energética planejada é orientada pelo conceito de sustentabilidade e busca discutir o contexto e os principais aspectos socioambientais associados à produção, geração e transmissão de energia no horizonte do PDE 2035. Além disso, a fim de se ter uma compreensão mais abrangente, considera-se a conjuntura global e nacional, incluindo políticas e debates voltados à energia e ao meio ambiente.

A Figura 1 apresenta as premissas consideradas no desenvolvimento da análise socioambiental do PDE 2035.

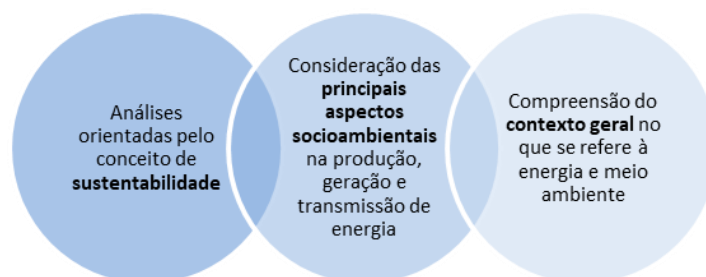


Figura 1 – Premissas da análise socioambiental do PDE 2035

Com base nas premissas mencionadas, a análise socioambiental do PDE 2035 tem como objetivo: i) analisar o contexto político e o perfil de emissões de gases de efeito estufa (GEE) da expansão; ii) contribuir para a definição da expansão do decênio; iii) avaliar, de forma integrada, as principais questões socioambientais da expansão planejada para o horizonte decenal; e iv) com base nas principais questões, indicar os desafios e oportunidades socioambientais estratégicos para a expansão.

A Figura 2 ilustra os objetivos da análise socioambiental do PDE 2035.

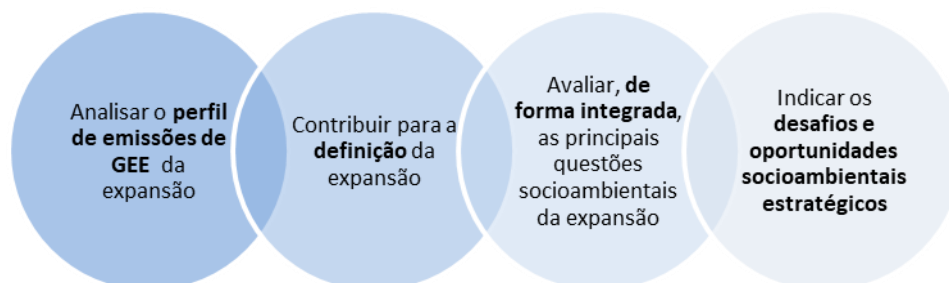


Figura 2 – Objetivos da análise socioambiental do PDE 2035

De forma a atender aos objetivos propostos, a análise socioambiental do PDE 2035 compreende quatro etapas:

1. **Análise de emissões de GEE** - tendo como base o contexto político, traz projeções e discussão das emissões associadas à produção, à transformação e ao uso de energia no horizonte decenal.
2. **Subsídios socioambientais para a expansão energética** - consideração da variável socioambiental para definição dos projetos que compõem a expansão no decênio.
3. **Análise espacial da expansão e temas socioambientais** – análise integrada das questões socioambientais associadas à expansão da oferta de energia do Plano. A análise tem como base a análise socioambiental de cada fonte energética (apresentada nesta Nota Técnica).
4. **Desafios e oportunidades socioambientais estratégicos** - questões socioambientais importantes e que podem representar riscos, bem como oportunidades relacionadas à expansão no horizonte decenal. Contempla questões relacionadas a emissões de GEE e adaptação a

mudanças do clima (etapa 1); à análise integrada (etapa 3); e à transição energética justa e inclusiva (apresentada no Capítulo 11 – Transição Energética do PDE 2035).

O resultado dessa análise é apresentado no Capítulo 10- Análise Socioambiental do PDE 2035. Especificamente, esta Nota Técnica trata dos Subsídios socioambientais para a expansão energética (etapa 2) e da Análise socioambiental de cada fonte energética (subsídio para a etapa 3), cujos conceitos e métodos serão apresentados a seguir.

2 Conceitos e Métodos

Como visto acima, a etapa 2 da análise socioambiental do PDE 2035 se refere à elaboração dos **subsídios socioambientais para a definição da expansão**, cujo objetivo é contribuir para a definição da expansão energética que será apresentada no Plano. Esta etapa engloba:

- **a avaliação processual das usinas hidrelétricas**, que visa estimar o ano possível para entrada em operação das UHEs que poderão compor a expansão hidrelétrica no decênio; e
- **a análise de complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural**, de modo a ajustar as previsões de produção conforme as preocupações refletidas pelos órgãos ambientais.

Para a realização dessas avaliações, foram elaboradas metodologias específicas, cujo resumo e os resultados são apresentados nesta Nota Técnica no item 3. Subsídios Socioambientais para a Expansão Decenal.

Já para subsidiar a etapa 3 (Análise espacial da expansão e temas socioambientais) é realizada a **análise socioambiental de cada fonte energética** prevista na expansão. Na análise, para cada fonte energética, são identificados: as principais interferências, os *temas socioambientais* a elas relacionados e as medidas mitigadoras associadas; os principais desafios socioambientais e iniciativas relacionadas; e as oportunidades socioambientais e a conjuntura para que elas aconteçam.

Dessa forma, é realizada uma análise socioambiental da oferta de energia elétrica (hidrelétricas, pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas, termelétricas de fontes não renováveis, termelétricas renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas e transmissão de energia elétrica); da oferta de petróleo, gás natural e derivados; bem como de biocombustíveis (etanol, biodiesel e biometano).

Os resultados da análise das fontes energéticas são apresentados nos itens 4. Análise socioambiental da oferta de energia elétrica, 5. Análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e 6. Análise socioambiental da oferta de biocombustíveis desta Nota Técnica. Esses resultados subsidiarão uma análise socioambiental integrada, apresentada no Capítulo 10 – Análise Socioambiental do PDE 2035.

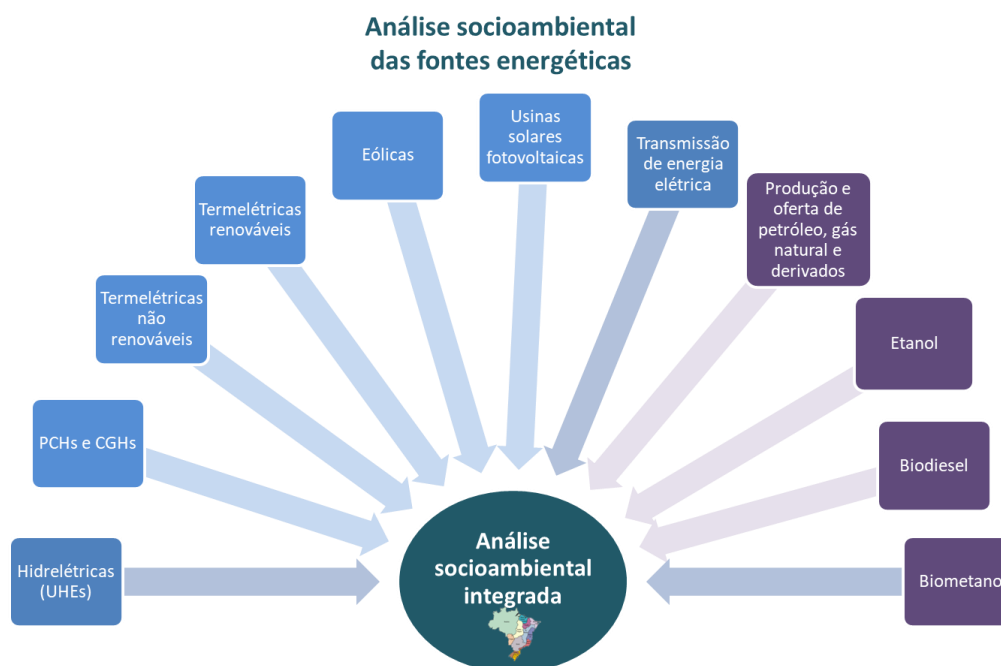


Figura 3 – Análise socioambiental das fontes energéticas para compor a análise socioambiental integrada

Com intuito de melhor representar as questões socioambientais, as análises das fontes energéticas têm como base um conjunto de conceitos e métodos, que são revistos e aprimorados a cada ciclo. O Quadro 1 apresenta os principais conceitos utilizados na análise socioambiental.

Quadro 1 – Conceitos utilizados na análise socioambiental das fontes energéticas

Conceitos	Definições
Benefícios socioambientais	São vantagens socioambientais já reconhecidas e inerentes à fonte energética, independentemente das circunstâncias.
Interferências socioambientais	Correspondem aos impactos socioambientais relevantes associados à expansão energética.
Temas socioambientais	Agrupam as principais interferências identificadas, tendo como base os tipos e as características dos projetos previstos e as sensibilidades regionais.
Medidas mitigadoras	São medidas consolidadas no processo de licenciamento ambiental e já são obrigações legais. Em geral, são adotadas na escala de projeto.
Desafios socioambientais	Expõem a complexidade socioambiental de um assunto e podem representar riscos para a expansão. Correspondem a uma circunstância socioambiental que demanda esforços para sua resolução.
Iniciativas	Representam o esforço para a resolução de um desafio. Geralmente, possuem abordagem estratégica e são voluntárias e ou inovadoras. Costumam estar mais vinculadas à etapa de planejamento.
Recomendações	Compreendem ações que poderiam trazer soluções para o desafio, mas que ainda não possuem tratativas em andamento para realizá-las, não sendo, portanto, iniciativas.
Oportunidades socioambientais	Representam a possibilidade de proporcionar melhorias socioambientais a partir de ações ainda não concretizadas ou com potencial pouco explorado. Para que se concretizem, precisam de conjuntura favorável (leis, incentivos, contexto político etc.).
Indicadores socioambientais	São informações ou dados, em recorte espaço-temporal, que representam aspecto socioambiental importante para se compreender e acompanhar a evolução da fonte energética.

Adicionalmente, o Quadro 2 mostra com mais detalhes como as interferências socioambientais associadas à expansão energética do PDE 2035 foram representadas e sintetizadas em temas socioambientais.

Quadro 2 – Temas socioambientais e as interferências socioambientais representadas

Temas Socioambientais	Interferências socioambientais representadas
Biodiversidade 	Compreende a perda de indivíduos; a perda ou transformação de habitats naturais aquáticos ou terrestres; e impactos em ecossistemas e em suas funções. Retrata também complexidades observadas no processo de licenciamento ambiental.
Organização territorial 	Retrata potenciais conflitos de uso e ocupação do solo. Também abarca interferências nos modos de vida de comunidades locais e impactos decorrentes de reassentamentos, da atração populacional e da pressão sobre infraestrutura local, equipamentos e serviços.
Paisagem 	Refere-se ao impacto visual em paisagens naturais e urbanas.
Povos e terras indígenas 	Vinculado à diversidade étnica, à questão territorial e à necessidade de gestão dos conflitos pelos recursos. Somam-se a isso os desafios dos processos de licenciamento ambiental e de consulta prévia, livre e informada.
Qualidade do ar 	Relacionado à emissão de poluentes atmosféricos na geração de energia elétrica.
Recursos hídricos 	Representa possíveis conflitos pelo uso dos recursos hídricos.
Resíduos 	Reflete a importância da gestão dos resíduos dos processos para geração de energia elétrica e produção de combustíveis.

Os conceitos e explicações apresentados nos Quadro 1 e Quadro 2 embasaram a apresentação dos resultados da análise das fontes energéticas. Além disso, com o objetivo de ter padronização e uniformidade, foi adotado o seguinte roteiro de perguntas para orientar a análise de cada fonte energética:

1. Quais os principais benefícios do uso da fonte?
2. Como é o parque existente?
3. Como será a expansão da fonte nos próximos 10 anos?
4. Quais as principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da fonte?
5. Quais os principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à fonte?
6. Quais as principais oportunidades socioambientais relacionadas à expansão da fonte e qual a conjuntura favorável para aproveitá-las?
7. Quais os indicadores socioambientais da expansão da fonte?

3 Subsídios socioambientais para a expansão decenal

3.1 Avaliação processual das usinas hidrelétricas

A avaliação processual tem por objetivo **estimar o ano possível para entrada em operação das UHEs** que se encontram em fase de estudos e que poderão compor a expansão da oferta de energia no horizonte decenal (EPE, 2018).

A avaliação é feita a partir dos prazos necessários para a elaboração dos estudos técnicos de engenharia e ambientais, para o licenciamento ambiental e para a construção de cada usina hidrelétrica. O resultado apresenta, então, a lista de UHEs que podem entrar em operação no horizonte decenal e que serão disponibilizadas para simulação no Modelo de Decisão de Investimento (MDI)¹. Após as simulações energéticas são definidas as UHEs que farão parte da expansão decenal no período indicativo, ou seja, de 2031 a 2035. As UHEs do período 2026-2030 já foram contratadas por meio de leilões de energia nova.

Para a avaliação processual são consideradas somente as usinas hidrelétricas com potência superior a 50 MW e com registro ativo para a elaboração de estudos de viabilidade na Aneel. Ou seja, projetos que possuem empresa responsável pela elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) e do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (Rima). As informações sobre a situação dos projetos são obtidas em consulta às partes envolvidas, sejam Aneel, as empresas responsáveis pela elaboração dos estudos, os órgãos ambientais licenciadores ou outros órgãos intervenientes envolvidos no licenciamento ambiental.

A estimativa da data de entrada em operação das UHEs foi feita com base nos prazos para desenvolvimento dos estudos anteriores ao leilão, adicionados do prazo de implantação (cinco anos). Assim, para a etapa que antecede o leilão, são contabilizados os prazos: i) para que o órgão ambiental emita o termo de referência (TR) para a elaboração do EIA/Rima e, quando necessário, a Funai emita o TR para elaboração do Estudo do Componente Indígena (ECI); ii) para que a empresa elabore o EIA/Rima, e quando necessário, o ECI; iii) para que a empresa elabore o EVTE; e iv) para a obtenção da licença prévia (LP). Já para a fase posterior ao leilão é considerado o tempo para construção da UHE.

Dependendo do projeto, foram ainda acrescentados prazos necessários para as tratativas relacionadas a interferências em unidades de conservação (UC) ou em terra indígena (TI) e atendimento a eventuais demandas judiciais, técnicas ou administrativas solicitadas pelos órgãos ambientais e demais órgãos intervenientes. Destaca-se que, diante da complexidade das tratativas necessárias a UHEs que se sobrepõem a terras indígenas, optou-se por considerar que esses projetos não serão viabilizados no horizonte decenal, ainda que seus estudos estejam em andamento.

A Figura 4 apresenta o fluxograma e os prazos utilizados na avaliação processual (EPE, 2018).

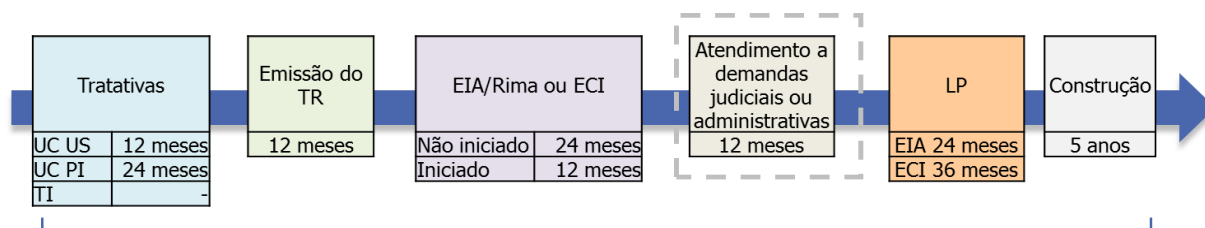


Figura 4 – Fluxograma com os prazos utilizados na avaliação processual

¹ Modelo computacional desenvolvido pela EPE e utilizado no PDE.

Em consulta realizada em janeiro de 2025, foram identificadas **24 UHEs** com potência superior a 50 MW e com registro para estudos de viabilidade na Aneel. Destas, 13 não tiveram o prazo estimado para implantação por: i) estarem situadas em terras indígenas (2 UHEs); ii) estarem situadas em unidades de conservação de proteção integral (3 UHEs); ou iii) terem a licença prévia indeferida, cancelada ou vencida ou, ainda, com o processo de licenciamento ambiental arquivado (8 UHEs).

Dentre os demais 11 projetos, considerando os critérios apresentados e a situação dos estudos de cada projeto, o resultado da avaliação indicou que **três usinas hidrelétricas teriam a possibilidade de entrar em operação nos cinco últimos anos do horizonte decenal**. A Tabela 1 apresenta o resultado da avaliação processual para o PDE 2035.

Tabela 1 – Avaliação processual de UHEs do PDE 2035

UHE	Bacia Hidrográfica	UF	Pot. (MW)	Situação dos estudos	TR (meses)	EIA + ECI (meses)	Outras demandas (meses)	LP (meses)	Aval. Processual PDE 2035 ¹
Telêmaco Borba	Tibagi	PR	118	EVTE e EIA/RIMA entregues. Audiências públicas realizadas. Necessidade de realização de ECI. ECI e ajustes no EIA e EVTE em andamento.	-	12	-	36	2034
Tabajara	Ji-paraná	RO	400	EVTE, EIA/RIMA e ECI entregues. Audiências públicas realizadas. Funai emitiu novo TR para ECI. Necessidade de revisão do EVTE e complementações do EIA e do ECI.	-	24	-	36	2035
Bem Que- rer	Branco	RR	650	EVTE em revisão. EIA protocolado no Ibama e devolvido em razão da ausência do ECI. Funai sinalizou não ser possível realizar a apresentação do Plano de Trabalho do ECI às comunidades indígenas enquanto o Decreto n. 11.405/2023 estiver vigente. Sem previsão de início do ECI.	-	24		36	2035

¹ Ano estimado de entrada em operação.

Legenda: UF: Unidade da Federação; Pot: Potência; TR: Termo de referência; EIA: Estudo de Impacto Ambiental; ECI: Estudo do Componente Indígena; LP: Licença Prévia; EVTE: Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica; Rima: Relatório de Impacto Ambiental; DRDH: Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica.

Como observado, das três UHEs com data de entrada em operação no horizonte decenal, duas usinas já tiveram o EIA/Rima entregues e as Audiências Públicas realizadas (Telêmaco Borba e Tabajara).

Após a realização das audiências públicas da UHE Telêmaco Borba, tornou-se necessária a realização do ECI, uma vez que a bacia hidrográfica onde a UHE está situada foi declarada território indígena. Atualmente o ECI está em andamento, contabilizando, assim, o prazo de um ano para sua execução. Esse prazo contempla também os ajustes necessários no EIA e no EVTE. Somou-se a esse prazo a estimativa de três anos, para obtenção da LP, e de cinco anos, para a construção da usina. Dessa forma, obteve-se o ano de 2034 como data mínima para entrada da UHE Telêmaco Borba em operação.

Já para a UHE Tabajara, após a realização das audiências públicas, a Funai emitiu novo TR para a realização de um novo ECI. Sendo assim, estima-se o prazo de dois anos para a execução de um novo ECI, prazo que contempla também ajustes no EIA e no EVTE, três anos para a emissão da LP e cinco anos para

construção. O somatório desses prazos levou ao ano de 2035 como data mínima para que a UHE Tabajara entre operação.

A UHE Bem Querer teve o EIA/Rima protocolado no Ibama, em 2024, e devolvido em razão da ausência do ECI. Ainda não há previsão de início do ECI, uma vez que a Funai sinalizou não ser possível apresentar o Plano de Trabalho do ECI às comunidades indígenas enquanto o Decreto n. 11.405/2023² estiver vigente. Portanto, são estimados 24 meses para a realização desses estudos, somados a um prazo de 36 meses para a obtenção da LP e de cinco anos para a construção da usina. Desse modo, chegou-se no ano de 2035 como data mínima para entrada em operação da UHE Bem Querer.

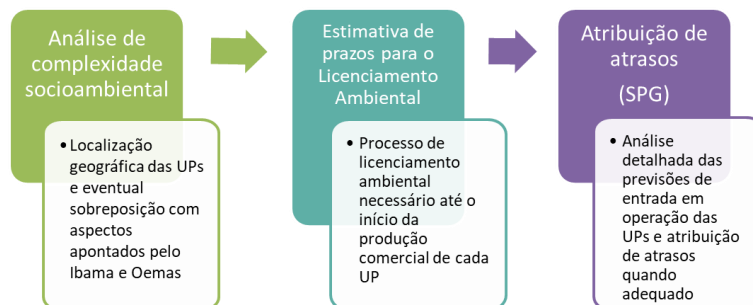
Posto isto, essas UHEs e suas respectivas datas de possível entrada em operação foram colocadas à disposição para o Modelo de Decisão de Investimento (MDI). O resultado do modelo indicou, para a expansão hidrelétrica, a entrada de duas hidrelétricas indicativas: Telêmaco Borba (118 MW), em 2034, e Bem Querer (650 MW), em 2035, além de 2.806 MW de ações de modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes, a partir de 2030. Deve-se ressaltar que o modelo considerou também a UHE contratada Estrela (48 MW), em 2029.

3.2 Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural

As áreas com potencial para petróleo e gás natural são denominadas Unidades Produtivas (UPs) e compreendem todas as áreas, sob contrato ou não. As UPs contratadas planejadas incluem projetos com status de blocos exploratórios (em avaliação ou não) e campos em fase de desenvolvimento (Recursos não Descobertos Contratados – RNDE e Recursos Contingentes – RC³). As Unidades Produtivas da União (UPUs) não possuem contratos de exploração assinados. Cabe ressaltar que, para este ciclo do PDE, somente as UPs contratadas foram analisadas quanto à complexidade socioambiental das áreas em que estão inseridas, conforme explicado a seguir. De qualquer forma, os 35 blocos em oferta permanente localizados nas UPUs e previstos para iniciar a produção no decênio foram alocados, pela ANP, em áreas de baixa sensibilidade socioambiental. Os critérios da análise da ANP são semelhantes aos utilizados pela EPE para a análise de complexidade socioambiental no PDE 2034 (EPE, 2024; ANP 2024a).

Análise das Unidades Produtivas (UPs) contratadas

As Diretrizes Ambientais para as Rodadas de Licitações de Blocos, elaboradas pelo Ibama e por órgãos estaduais de meio ambiente (Oemas), indicam preocupações com áreas de alta sensibilidade ambiental e que podem ser refletidas na complexidade do licenciamento ambiental. Para a análise deste item, essas preocupações foram transformadas em critérios para classificar as UPs contratadas nas classes de alta, média e baixa complexidade.



Nota: SPG - Superintendência de Petróleo e Gás Natural/EPE.

Figura 5 – Etapas de análise das UPs contratadas, como subsídio à previsão de início da produção

² Medidas para enfrentamento da Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional e de combate ao garimpo ilegal no território Yanomami.

³ Para a descrição das diferentes categorias de recursos, ver Caderno de Previsão da Produção de Petróleo e Gás Natural deste PDE 2035.

O Ibama realiza o licenciamento ambiental das atividades de exploração e produção (E&P) na área costeira e *offshore*, associadas ao maior volume potencial de petróleo produzido no país. Para essas regiões, as Diretrizes Ambientais da 9ª Rodada de Licitações produzidas pelo Ibama apresentaram o mapeamento georreferenciado de seis níveis de exigência esperados para o licenciamento ambiental: Simplificado, Considerável, Moderado, Elevado, Muito Elevado e Extremo. Além disso, essas Diretrizes indicam também áreas com restrição permanente e áreas com restrição temporária às atividades de E&P. Os níveis de exigência e as áreas com restrição temporária foram utilizados como critérios para classificação da complexidade das UPs *offshore* e costeiras contratadas. As unidades de conservação marinhas também foram apontadas como áreas sensíveis pelo Ibama na 9ª Rodada e nas seguintes. Portanto, com base nos aspectos apontados pelo Ibama, as UPs costeiras e marítimas contratadas foram analisadas conforme sua localização geográfica e eventual sobreposição com algum dos critérios apresentados na e classificadas em três classes de complexidade: alta, média ou baixa.

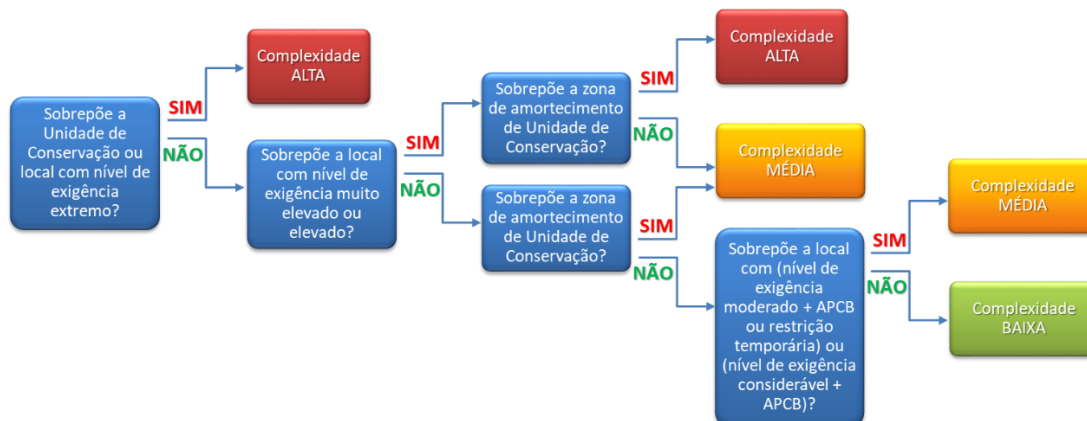


Figura 6 – Procedimento de análise das UPs *offshore* contratadas

Já as atividades *onshore* são licenciadas pelos Oemas e os critérios adotados para as UPs terrestres, sob contrato, se basearam nas preocupações recorrentes desses órgãos, manifestadas nas Diretrizes Ambientais das Rodadas de Licitações e no licenciamento ambiental. As preocupações mais comuns foram as UCs e as Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira (APCBs), especialmente aquelas indicativas para criação de UCs. Então, com base nos aspectos apontados pelos Oemas, as UPs terrestres contratadas foram analisadas conforme sua localização geográfica e eventual sobreposição a alguma das seguintes áreas: unidade de conservação, terra indígena, terra quilombola, APCB (criação de UC), zona de amortecimento de UC e entorno de TI (10 km na Amazônia legal e 8 km nas demais áreas, conforme referências do Anexo I da Portaria Interministerial n. 60/2015)⁴ (BRASIL, 2015). A partir dessa análise, as UPs *onshore* contratadas foram classificadas em três classes de complexidade: alta, média ou baixa (Figura 7).



Figura 7 – Procedimento de análise das UPs *onshore* contratadas

⁴ Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Ibama.

Diante dos critérios apresentados, para o PDE 2035 foram analisadas 802 UPs sob contrato, sendo 270 offshore e 532 onshore. A frequência encontrada para a classe de alta complexidade foi bastante inferior à classe de baixa sensibilidade, como apresentado na Figura 8.

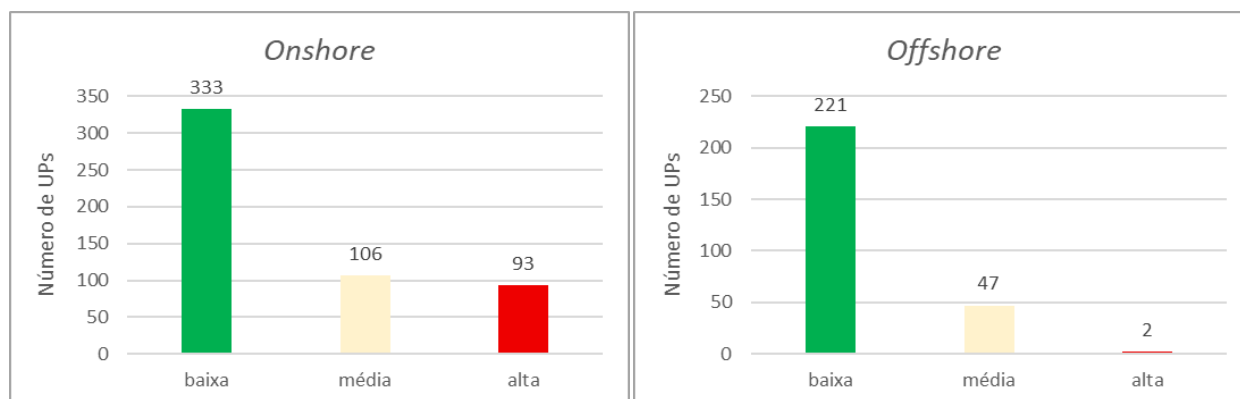


Figura 8 – Resultado da classificação de complexidade das UPs contratadas

A partir da complexidade atribuída às UPs contratadas, foram estimados prazos para cada uma das etapas do processo de licenciamento ambiental, até o início da produção comercial. Os prazos que constam da legislação foram então distribuídos pelas etapas de licenciamento ambiental, equivalentes às etapas de desenvolvimento das UPs, bem como distribuídos em três classes de complexidade ambiental, sendo tempos máximos para UPs contratadas em áreas de alta complexidade e tempos mínimos para aquelas em áreas de baixa complexidade, conforme apresentado na Tabela 2. Os prazos estimados partiram das etapas e prazos estabelecidos na Portaria MMA n. 422/2011⁵ (MMA, 2011), considerando os prazos máximos para deferimento, além da suspensão dos prazos durante a elaboração dos estudos ambientais, adotados para a classe de alta complexidade.

Tabela 2 - Etapas do licenciamento ambiental e prazos (em meses) distribuídos por classe de complexidade

Complexidade	Licenciamento da Perfuração (LO)		Licenciamento do TLD				Licenciamento da produção			
	Estudos Ambientais	Prazo de análise	Estudos Ambientais	Licença prévia	Licença de instalação	Licença de operação	Estudos Ambientais	Licença prévia	Licença de instalação	Licença de operação
Baixa	6	6	6	0	1	1	6	6	1	1
Média	9	9	9	9	3	3	9	9	3	3
Alta	12	12	12	12	6	6	12	12	6	6

Nota: LO – licença de operação; TLD – Teste de Longa Duração

Das 802 UPs contratadas classificadas quanto à complexidade, 95 foram enquadradas na classe alta. Ao se observar a situação dessas UPs, não foi necessário atribuir atrasos adicionais relacionados ao seu licenciamento ambiental, uma vez que os prazos estimados para viabilização da produção ultrapassaram o tempo necessário para concluir o licenciamento até o início previsto da produção.

⁵ Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar.

4 Análise socioambiental da oferta de energia elétrica

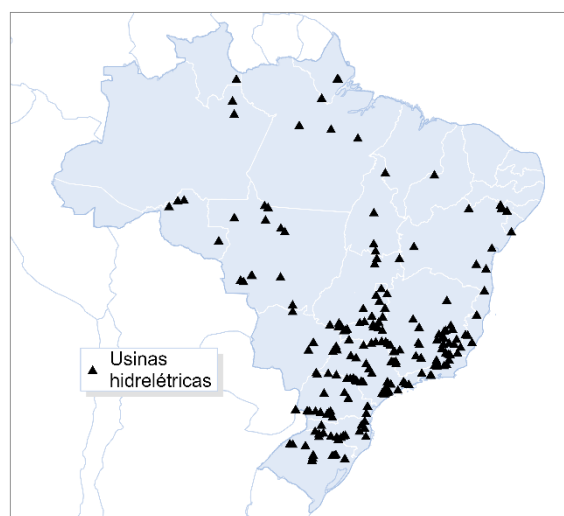
4.1 Hidrelétricas

Benefícios das hidrelétricas e da modernização de hidrelétricas existentes

- As usinas hidrelétricas utilizam **fonte renovável** de energia (usam a água como força motriz) e apresentam longa vida útil.
- Em geral, apresentam **baixa emissão de gases de efeito estufa** (CO₂ e CH₄) quando comparadas a usinas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis (MME, 2014).
- Possuem **flexibilidade operativa**, já que são capazes de assumir, de forma rápida e eficaz, as oscilações de tensão e frequência decorrentes de eventuais desbalanços entre oferta e demanda, além de sua eficiência para **atendimento à ponta**. Destacam-se por sua **capacidade de suporte à expansão de fontes renováveis variáveis** no sistema elétrico (eólica e solar).
- Através dos reservatórios de acumulação, são capazes de **armazenar energia** por meio da água. Além disso, ao regularizar a vazão dos rios, esses reservatórios podem beneficiar outros usos de recursos hídricos (como abastecimento público, irrigação, navegação, entre outros), contribuindo assim para os usos múltiplos da água.
- Destaca-se, ainda, a importância dos reservatórios de regularização pela sua maior **capacidade de adaptação frente às mudanças climáticas** e amortecimento dos efeitos de eventos hidrológicos críticos, colaborando para a resiliência do sistema elétrico e para a segurança hídrica.
- Por fim, ressalta-se o **desenvolvimento social e econômico** obtido a partir do avanço da indústria hidrelétrica no Brasil. O investimento nessa fonte tornou o país uma referência no mercado internacional e exportador de tecnologia para outros países.
- Sobre a modernização, repotenciação e ampliação das usinas hidrelétricas existentes são observadas algumas vantagens específicas:
- **Aumento da capacidade do sistema sem impactos socioambientais significativos**, uma vez que a capacidade do sistema aumenta sem que seja necessária a construção de novos projetos e implantação de reservatórios.
- Racionalização e **otimização do aproveitamento dos recursos hídricos**, aumentando a eficiência da geração hidrelétrica para uma mesma vazão disponível.
- **Ganhos de rendimento, capacidade instalada, vida útil e disponibilidade**, gerando benefícios para a usina e para o sistema elétrico (EPE, 2025a).

Parque hidrelétrico atual

Atualmente, a hidroeletricidade é responsável por 49% da potência instalada no Brasil (ANEEL, 2025). O parque hidrelétrico existente é composto por 214 usinas hidrelétricas (UHEs) em operação, totalizando **103 GW de potência instalada**. A maior parte das UHEs existentes está no Sul e Sudeste do Brasil, nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste. Em relação à modernização, o Brasil apresenta importante potencial, já que historicamente a hidroeletricidade apresenta papel primordial na geração elétrica. Levantamento realizado pela EPE (2019) identificou que cerca de 3,8 GW já foram adicionados ao sistema por meio de ações de modernização.



Expansão hidrelétrica nos próximos 10 anos

A expansão da oferta de energia elétrica prevê a **inserção de 3.622 MW ao parque hidrelétrico brasileiro** no horizonte decenal. Na expansão contratada está prevista a entrada da UHE Estrela (48 MW), em 2029. Já para a expansão indicativa estão previstos 3.574 MW, obtidos por meio da UHE Telêmaco Borba (118 MW) em 2034, da UHE Bem Querer (650 MW) em 2035, e por ações de modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes (2.806 MW), a partir de 2030.

A Figura 9 apresenta a distribuição espacial das UHEs previstas no PDE 2035, por região geográfica e pelo período de entrada em operação.

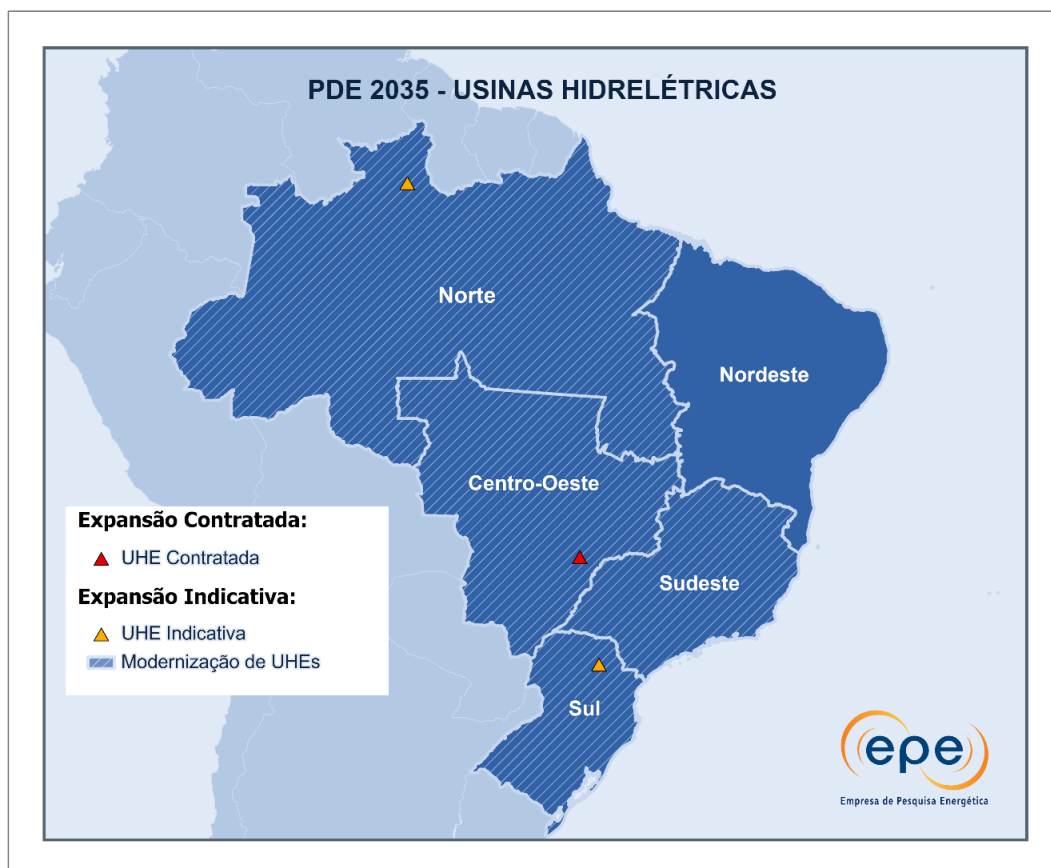


Figura 9 – Localização da expansão de usinas hidrelétricas no PDE 2035

A região Centro-Oeste do país abriga um projeto em implantação: a UHE Estrela, localizada em Goiás, no rio Verde, na bacia do Paranaíba. Para a região Sul, está indicada a UHE Telêmaco Borba, no Paraná, no rio Tibagi. Na região Norte, a UHE Bem Querer, em Roraima, no rio Amazonas. Além disso, estão previstas ações de modernização e repotenciação, em todas as regiões do país com exceção do Nordeste, devendo se concentrar nas bacias com maior histórico de desenvolvimento hidrelétrico.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica

Para a UHE Estrela (contratada), as interferências socioambientais foram consideradas inexpressivas. Em relação à expansão indicativa, as principais interferências socioambientais das UHEs dizem respeito ao tema biodiversidade, com perda e alteração de habitats a partir da supressão de vegetação nativa e do barramento do curso d'água, ao tema organização territorial, que reflete potenciais conflitos de uso e ocupação do solo, e ao tema povos e terras indígenas, sujeitos a possíveis impactos nessas populações. Já no caso de modernização de usinas existentes, o tema recursos hídricos tem maior relevância, com o aumento dos conflitos pelo uso da água.

O tema **biodiversidade** foi considerado relevante tanto para a região Norte quanto para a região Sul. A formação de reservatórios provoca uma série de efeitos decorrentes do barramento do curso d'água e da supressão da vegetação nativa, dentre os quais ressaltam-se as alterações na dinâmica fluvial

e a perda de habitats. Tais mudanças trazem consequências para os ecossistemas aquáticos e terrestres, afetando a biodiversidade como um todo.

No Norte, a UHE Bem Querer interfere numa região de grande heterogeneidade de ambientes. Já no Sul, ainda que a área alagada da UHE Telêmaco Borba seja relativamente pequena, há interferência na vegetação marginal, que constitui os principais corredores ecológicos da região. Soma-se a essa condição a importância dos remanescentes nativos ainda existentes, diante do alto nível de ameaça do bioma Mata Atlântica.

Para a UHE Bem Querer, estudos de caracterização dos habitats e ocorrência de espécies permitirão o direcionamento das medidas mitigadoras, que podem envolver, por exemplo: redução de área de vegetação a ser suprimida, resgates de indivíduos da flora e fauna terrestres e aquáticos, compensação florestal e apoio a ações de conservação de organismos aquáticos.

Já no caso da UHE Telêmaco Borba, no qual há supressão de remanescentes de vegetação nativa do bioma Mata Atlântica (regulada pela Lei n. 11.428/2006), usualmente são adotadas medidas mitigadoras para reduzir áreas sujeitas a supressão pelo projeto, e compensar a perda da vegetação em termos qualitativos e quantitativos.

Além disso, projetos hidrelétricos possuem o compromisso de adquirir terrenos no entorno do reservatório para o estabelecimento da Área de Preservação Permanente (APP), que tem uso regulado pelo Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA). Por fim, aplica-se a esses projetos a compensação pela perda de biodiversidade conforme estabelecido na Lei n. 9.985/2000.

O tema **povos e terras indígenas** também se destaca nas regiões Norte e Sul, pela UHE Bem Querer e pela UHE Telêmaco Borba, respectivamente.

No Sul, a relevância se dá pela complexidade que o tema tem acrescentado ao processo de licenciamento ambiental da UHE Telêmaco Borba. Apesar da UHE não sobrepor a terras indígenas (as terras indígenas estão localizadas a mais de 15 km do projeto), devido a decisão judicial que declarava a bacia do rio Tibagi, como território indígena, houve entendimento de que para esta usina fosse realizado um Estudo do Componente Indígena (ECI). O pedido de realização desse estudo contribuiu para aumentar a complexidade do licenciamento ambiental.

No Norte, o tema se justifica pela proximidade do projeto com terras indígenas demarcadas, ainda que não haja sobreposição com as mesmas, pela complexidade inerente ao tema e pelo reflexo no processo de licenciamento ambiental. Esse cenário requer a busca por um processo de diálogo com as comunidades indígenas, desde o planejamento do empreendimento até sua implantação e operação. Na atual etapa de planejamento do projeto, os critérios para elaboração do ECI estão descritos na Portaria Interministerial 60/2015, que, além de estabelecer as diretrizes de realização do referido estudo, regulamenta a atuação dos órgãos e entidades da Administração Pública Federal envolvidos no licenciamento ambiental. Especificamente no projeto da UHE Bem Querer, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) reúne informações sobre a ocupação histórica dos povos indígenas na região e contextualiza a atual dinâmica de circulação de indígenas dentro e fora das terras indígenas, além das situações em que indígenas vivem em áreas urbanas, o que evidencia uma ampla rede de circulação entre as cidades e terras indígenas. As análises específicas sobre os povos indígenas que vivem dentro de terras indígenas serão tratadas no ECI, conforme determinado pela Funai.

O ECI tem como objetivo identificar e analisar os possíveis impactos de empreendimentos nas terras e povos indígenas. Nele, exige-se: i) a realização de diagnósticos sobre os modos de vida dos indígenas, inclusive com o mapeamento das potencialidades e ameaças às comunidades indígenas e seus territórios, e ii) a apresentação de propostas (medidas mitigadoras), a serem incorporadas pelo projeto, que resultem na eliminação, redução ou compensação dos impactos potenciais identificados. O detalhamento dessas medidas acontece na fase seguinte do licenciamento ambiental, no Projeto Básico do Componente Indígena (PBAI). Destaca-se que as medidas propostas devem ser discutidas com as comunidades para que sejam compatíveis com seus modos de vida.

No que diz respeito ao tema **organização territorial**, na região Norte são esperadas alterações significativas para os municípios de Roraima afetados pela UHE Bem Querer, tanto em função do reassentamento involuntário de populações rurais e urbanas, como pela intensificação da ocupação desordenada e do conflito por recursos diante da atração populacional. Segundo o EIA, as alterações nas atividades produtivas, na atividade pesqueira e no turismo e lazer deverão provocar alterações na dinâmica socioeconômica, distribuídas de forma heterogênea nos municípios afetados. Como forma de reduzir ou compensar os impactos desses processos, são indicados o plano de comunicação social, o cadastro socioeconômico, a justa indenização e o suporte ao restabelecimento físico e econômico das populações afetadas, além de articulação institucional para apoio à atividade pesqueira e ao reforço da infraestrutura dos municípios.

No caso da modernização de usinas existentes, a repotenciação de UHEs busca aumentar a eficiência das máquinas por meio da adição ou substituição de equipamentos ou pequenas intervenções na planta da usina. Dessa forma, a modernização de UHEs representa um aumento da produção de energia, otimizando o aproveitamento do recurso hídrico disponível. Todavia, novos padrões operativos dos reservatórios para atendimento à potência e requisitos de flexibilidade para o SIN podem alterar o regime hidrológico a jusante, potencializando conflitos entre a geração de energia e os diversos usos múltiplos existentes na bacia hidrográfica.

Em situações de escassez hídrica, como a observada nos últimos anos, associada ao aumento de outros usos da água, é natural que se evidenciem os conflitos pelo uso dos recursos hídricos, trazendo desafios para a operação de UHEs. Tais situações podem se intensificar no futuro em decorrência de alterações climáticas, como alteração no padrão de vazões e aumento da frequência e intensidade de eventos extremos. Pelos motivos levantados, o tema **recursos hídricos** foi considerado relevante para as regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Nesse contexto, destaca-se a importância da articulação cada vez maior entre o setor elétrico e os órgãos relacionados aos recursos hídricos para a discussão e definição de ações buscando conciliar os interesses dos múltiplos usuários. Como exemplo, pode-se citar a participação do MME, Aneel e ONS em salas de acompanhamento e salas de crise estabelecidas pela ANA com o objetivo de solucionar conflitos potenciais ou instalados pelo uso da água e para a adoção de medidas visando aumentar a resiliência dos sistemas hídricos ante a ocorrência de eventos hidrológicos críticos. No que diz respeito a mudanças climáticas, faz-se necessário avançar nas discussões sobre os impactos do aumento da temperatura no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, na disponibilidade hídrica, e avaliar continuamente os modelos matemáticos utilizados no planejamento da operação e da expansão do setor elétrico, tendo em vista essas questões.

Portanto, os temas **biodiversidade, povos e terras indígenas, organização territorial e recursos hídricos** se mostram relevantes para a expansão hidrelétrica decenal. Estes temas estão apresentados na Tabela 3, por região, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada.

Tabela 3 – Síntese da análise socioambiental das usinas hidrelétricas do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
UHEs	 biodiversidade  povos e terras indígenas  organização territorial	não há projetos planejados	 biodiversidade  povos e terras indígenas	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Modernização de UHEs	 interferências inexpressivas	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	 recursos hídricos	 recursos hídricos

O Quadro 3 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão hidrelétrica no PDE 2035; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 3 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Inundação e supressão de vegetação nativa	biodiversidade 	N: projeto localizado em região com grande heterogeneidade de ambientes S: interferência na vegetação marginal, principais corredores ecológicos da região, e importância dos remanescentes da Mata Atlântica.	- Ajustes de projeto para evitar ou reduzir áreas de vegetação nativa sujeitas a supressão. - Medidas de minimização, como resgate de indivíduos da flora e fauna terrestres e aquáticos. - Medidas de compensação pela perda de vegetação, de habitat e da biodiversidade. - Estabelecimento de APP no entorno do reservatório.
Interferências em povos e terras indígenas	povos e terras indígenas 	N: proximidade do projeto com terras indígenas demarcadas S: aumento da complexidade no licenciamento ambiental.	- Medidas previstas no ECI, na etapa de projeto, e no Plano Básico Ambiental do Componente Indígena (PBAI), nas etapas de instalação e operação.
Alagamento de áreas rurais e urbanas e atração populacional	organização territorial 	N: reassentamento involuntário de populações e pressão sobre infraestrutura de equipamentos e serviços.	- Plano de comunicação social, cadastro socioeconômico, indenização e restabelecimento físico e econômico das populações afetadas. - Articulação institucional e investimento para reforço da infraestrutura sobrecarregada.
Aumento dos conflitos pelo uso da água	recursos hídricos 	SE e CO: novos padrões operativos dos reservatórios, aumento de outros usos da água e alterações climáticas.	- Participação em salas de crise e salas de acompanhamento da ANA. - Avaliação permanente dos modelos matemáticos de planejamento da operação e da expansão do setor elétrico.

Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica

As hidrelétricas são, e tem sido há décadas, a principal fonte da matriz elétrica brasileira. Entretanto, embora ainda haja um considerável potencial hidrelétrico inventariado (EPE, 2025a), elas vêm reduzindo sua participação na matriz ao longo dos últimos anos. Essa redução pode ser percebida de duas maneiras: pelos leilões de energia, com apenas três UHEs vendidas⁶ (147 MW) nos últimos oito anos (entre 2017 e 2025), e pelos últimos PDEs publicados, com a diminuição na indicação de usinas hidrelétricas para a ex-

⁶ Em 2021: UHE Juruena (50 MW), em 2022: UHE Estrela (48 MW) e em 2025: UHE Foz do Prata (49,37 MW).

pansão da geração de energia elétrica. Esse quadro de redução é resultado tanto do crescimento significativo de outras fontes de energia, quanto dos diversos desafios associados à **implantação de novas usinas hidrelétricas**.

Apesar dos avanços em regulamentação e maior clareza de aspectos processuais nos últimos anos⁷, a avaliação e o controle dos impactos socioambientais, principalmente em regiões de biodiversidade sensível ou de alta complexidade, áreas protegidas e comunidades tradicionais são um desafio. Falta de integração e alinhamento das políticas setoriais, somada à judicialização de questões no decorrer do licenciamento ambiental, podem trazer insegurança jurídica e atrasos no cronograma de implantação dos projetos, com consequente elevação de custos de implantação dos empreendimentos. O Caderno de Estudos “Um olhar para as usinas hidrelétricas – Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro” (EPE, 2025a) trata da importância da hidroeletricidade, o contexto atual sob a perspectiva de tais desafios, além de discutir o papel das hidrelétricas na operação futura do sistema.

Nesse sentido, a viabilização de novas UHEs depende da articulação entre os órgãos federais responsáveis pelo planejamento, regulação e operação do sistema elétrico e aqueles responsáveis pelo licenciamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, para identificação das barreiras relacionadas à expansão hidrelétrica e avaliação de como superá-las.

Parte dessa articulação vem sendo feita no âmbito do Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização de Usinas Hidrelétricas do País (PRR), aprovado por meio da Resolução CNPE n. 8/2022, e elaborado por um grupo de trabalho interministerial⁸, conforme diretrizes da Lei n. 14.182/2021.

Conforme estabelecido no PRR, a recuperação de reservatórios se baseia no “aprimoramento integrado das políticas, planejamento, governança e regulação do setor elétrico e dos demais setores usuários de recursos hídricos no sentido de otimizar os usos múltiplos da água, garantindo a segurança do abastecimento humano, do abastecimento industrial, da dessedentação de animais, dos serviços de navegação e de irrigação, do atendimento à demanda de energia elétrica através da hidroeletricidade, além das atividades de recreação e turismo, e de pesca e agricultura.”

O PRR engloba ações sob uma avaliação multissetorial que privilegie tanto o suprimento energético nacional quanto a preservação dos usos da água, dividida em quatro frentes: i) aspectos físicos dos reservatórios, ii) dinâmica de operação dos reservatórios, iii) planejamento da operação e da expansão do SIN e iv) modelagens matemáticas utilizadas no setor elétrico. As ações, distribuídas em horizontes de curto, médio e longo prazo, envolvem o MME, EPE, ONS, Aneel, MDIR, ANA, órgãos ambientais e concessionários, entre outros. Entende-se que o PRR pode contribuir para a implantação de novos empreendimentos hidrelétricos e para o melhor aproveitamento das instalações existentes, por meio do fortalecimento da gestão integrada dos reservatórios do sistema elétrico e do aprimoramento da articulação entre as várias instituições envolvidas.

Dentre as ações do PRR que podem contribuir para a implantação de novas usinas hidrelétricas estão as ações de curto prazo CP14, CP16 e CP19 e as de longo prazo LP2 e LP3. A CP14 tem por objetivo a identificação e priorização de estudos de potenciais novos reservatórios de regularização que, além da geração de energia elétrica, possuam benefícios para a segurança hídrica e para o atendimento aos demais usos múltiplos da água. A CP16, por sua vez, pretende propor melhorias para ampliar a eficiência da emissão de licenças ambientais aos projetos de UHE com reservatório, por meio do mapeamento de gargalos nos processos de licenciamento ambiental e processos adjacentes. No âmbito da CP19, está previsto o monitoramento da implementação de novas UHEs. Por fim, as ações de longo prazo LP2 e LP3 pretendem, respectivamente, promover tratativas com os órgãos intervenientes nos processos de licenciamento

⁷ Desafios relacionados ao licenciamento ambiental: conflitos de competência entre União e estados, participação de órgãos envolvidos no licenciamento, identificação e qualificação da população atingida e baixa qualidade das avaliações de impacto ambiental. Para esses desafios foram dados encaminhamentos por meio de regulamentações diversas e proposição de guias de boas práticas (Lei Complementar n. 140/2011; Decreto n. 8.437/2015; Portaria Interministerial n. 60/2015; instruções normativas específicas de cada órgão ou entidade envolvida no licenciamento ambiental; e guia de avaliação de impacto ambiental para usina hidrelétrica elaborado pelo Ibama, com consulta pública em 2023).

⁸ Resolução CNPE n. 2/2022 - Institui Grupo de Trabalho - GT para elaboração do plano para viabilizar a recuperação dos reservatórios de usinas hidrelétricas de regularização do País, coordenado pelo MME e composto pelo MDR, EPE e ONS.

ambiental, visando aprimorá-lo (considerando o mapeamento a ser realizado na CP16) e promover discussões com a sociedade sobre o papel das UHEs e reservatórios.

No evento "Retomada da Indústria Hidrelétrica no Brasil", realizado em 22/08/2025, o Governo sinalizou a importância de se investir na indústria hidrelétrica, inclusive com a retomada de projetos de grande porte (MME, 2025b).

Outro grande desafio tanto para a expansão no horizonte decenal quanto para a expansão hidrelétrica futura, ou seja, projetos que venham a ser implementados em um horizonte além do PDE, é a **compatibilização da geração de energia com a conservação da biodiversidade**. Para auxiliar neste desafio, destacam-se ferramentas governamentais, tais como a ferramenta interativa BiodivEPE⁹ – Biodiversidade no planejamento de projetos de energia (EPE, 2022a) e o Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia (PRIM-HA)¹⁰ (ICMBio, 2022). Vale também mencionar outras ferramentas de sustentabilidade, como os guias, os protocolos de sustentabilidade e a definição de padrões de desempenho socioambientais. Nesses documentos¹¹, a gestão do risco sobre a biodiversidade incorpora aspectos da manutenção dos recursos ambientais, valoração dos serviços ecossistêmicos, manejo de habitat e vazões ecológicas, entre outros. Assim, são importantes para a difusão das melhores práticas internacionais nas etapas de planejamento, construção e operação de hidrelétricas.

Merece destaque também o fato de as empresas do setor reconhecerem, cada vez mais, a relevância e o risco de perdas da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos para seus negócios. Isso motivou o desenvolvimento de métricas e parâmetros para guiar e dar transparência aos resultados positivos dos projetos para a biodiversidade. Nesse sentido, a Taskforce on Nature-related Financial Disclosure (TNFD)¹² trouxe, em 2024, um guia voltado para o setor elétrico apresentando suas métricas e parâmetros para a biodiversidade, diretamente voltados para o setor (TNFD, 2024). Já o Conselho Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade (CEBDS) apresenta um conjunto de metas de conservação da biodiversidade para 2030 (CEBDS, 2024a). O conjunto inclui potencializar ações de conservação e recuperação, inserir o tema na estratégia de negócios da empresa, conhecer a diversidade biológica e disponibilizar as informações, dentre outras metas. Ainda, uma parceria entre o CEBDS, o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e a TNFD lançou a plataforma “Ação pela Natureza”, com o objetivo de auxiliar o setor privado na compreensão, proteção e gestão das suas dependências e impactos na biodiversidade (CEBDS, 2024b).

A necessidade de regulamentação do §3º do artigo 231¹³ da Constituição Federal, que trata da **exploração dos recursos hídricos em terras indígenas**, assegurando o direito de participação dos povos indígenas no processo decisório e nos resultados financeiros, permanece um desafio para o setor.

Desde 2011, o governo brasileiro vem discutindo a regulamentação, considerada matéria de relevância estratégica para o setor energético e mineral, de modo a trazer mais clareza sobre os procedimentos e permissões da exploração dos recursos hídricos em terras indígenas, e consequentemente, propiciar maior segurança jurídica tanto para investidores quanto para os povos indígenas.

⁹ A ferramenta BiodivEPE tem como objetivo auxiliar a sociedade a incorporar externalidades ambientais e reduzir ameaças à biodiversidade desde as fases iniciais do planejamento de projetos do setor de energia.

¹⁰ O PRIM-HA mapeia níveis de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e a instalação de empreendimentos hidrelétricos, a partir de uma lista de alvos de conservação, e de mapas de sensibilidade e de exposição aos impactos.

¹¹ How-to guide: Hydropower Biodiversity and Invasive Species (IHA, 2021a); Good Practice Guide: Hydropower and Protected Areas (IHA, 2021c); How-to-guide: Hydropower Environmental and Social Assessment and Management (IHA, 2021b); Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial (Banco Mundial, 2016); Quadro de Políticas Ambientais e Sociais (BID, 2020); Padrão de Desempenho n. 6: Conservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos (IFC, 2012); Good Practice Handbook - Environmental Flows for Hydropower Projects (World Bank Group, 2018); Good Practice Note - Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects (IFC, 2018); IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change (IPBES-IPCC, 2021).

¹² A Taskforce on Nature-Related Financial Disclosure (TNFD na sigla em inglês e na tradução força-tarefa para divulgação financeira relacionada à natureza) visa estabelecer um padrão comum entre as organizações e investidores, tal como a conhecida Taskforce on Climate Related Financial Disclosures (TCFD).

¹³ Estabelece a obrigatoriedade de autorização do Congresso Nacional para a efetivação de aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei.

As articulações e discussões técnicas ao longo desses anos culminaram no Projeto de Lei n. 191/2020¹⁴. Entretanto, em 2023, esse PL foi retirado de pauta do Congresso Nacional, a pedido do presidente da República. Vale destacar que existem outros PLs similares ao conteúdo expresso na proposta legislativa retirada de pauta, dentre os quais o PL 2.903/2023 e o PL 1.570/2023, no qual estão apensados o PL 1.654/2023, PL 2.303/2023, PL 684/2025 e o PL 900/2025.

O setor se depara também com a necessidade de diretrizes formais para realização de Consulta Livre, Prévia e Informada (CLPI) aos povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais, para a **exploração dos recursos hídricos próximos a terras indígenas**. Desde 2012, o governo tem se empenhado para sanar as indefinições¹⁵ sobre os procedimentos de consulta prévia previstos na Convenção n. 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT)¹⁶. Em 2019, o Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República (GSI) coordenou os trabalhos do Governo Federal para a elaboração de uma proposta normativa que garantisse o direito de consulta livre, prévia e informada dessas comunidades, quando houvesse medidas legislativas ou administrativas suscetíveis de afetá-los. Apesar das discussões, não se consolidou uma proposta normativa. Em 2023, no âmbito das Medidas Institucionais do Novo PAC e sob a coordenação da Casa Civil, foi prevista a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, como uma das medidas para aperfeiçoar o marco regulatório do licenciamento ambiental, por meio da consolidação e aperfeiçoamento dos normativos correlacionados. Espera-se que uma normatização traga clareza e segurança jurídica para lidar com a questão. Adicionalmente, o Comitê Técnico de Sustentabilidade Ambiental (CTSA) do MME criou o Subcomitê Técnico Executivo, por meio da Resolução CTSA n. 2, de 12 de junho de 2025, com o objetivo de discutir a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, para alinhamento interno quanto ao posicionamento do MME e suas vinculadas sobre o tema. Para subsidiar as discussões do subcomitê, têm sido apresentadas experiências nacionais e internacionais por parte de representantes do planejamento energético nacional, de agentes do setor e de profissionais do direito. O subcomitê deverá apresentar relatório que consolide as discussões do MME e suas instituições vinculadas, a serem consideradas pelas autoridades competentes para subsidiar a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, conforme consta na Resolução CTSA n.2/2025.

A divulgação de exemplos de processos de elaboração de protocolos de consulta e de decisões judiciais sobre o tema da Consulta Prévia, Livre e Informada da Convenção n. 169 da OIT, por parte de instituições públicas, judiciário e da sociedade civil organizada, também tem contribuído para maior conhecimento da sociedade sobre as questões envolvidas no tema¹⁷.

Outra iniciativa que contribui para a divulgação das melhores práticas na implantação de projetos hidrelétricos e sua relação com povos indígenas é a publicação de guias e protocolos de sustentabilidade internacionais. Esses documentos¹⁸ trazem exemplos e questões referentes à consideração dos povos indígenas no planejamento, construção e operação dos projetos hidrelétricos.

Por último, cabe ainda pontuar os desafios associados à **disponibilidade hídrica para a geração hidrelétrica**. Esta questão se torna cada vez mais complexa, em especial em regiões com grande demanda por água, em áreas de baixa disponibilidade de água e em períodos de escassez hídrica. A situação se agrava ao considerarmos as possíveis alterações decorrentes das mudanças climáticas globais.

Nesse contexto, é importante ter em conta que a demanda por água no Brasil é crescente. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), é estimado um aumento de 30% das retiradas de água entre 2024 e 2040 (ANA, 2025). Além disso, a Agência destaca a importância de ações de

¹⁴ Dentre outros temas, no PL 191/2020 foram consolidadas as condições específicas para aproveitamentos de potenciais de energia hidráulica; os critérios mínimos para realização de consultas; o procedimento administrativo para autorização do Congresso Nacional; a participação nos resultados do aproveitamento de energia hidráulica; e a indenização pela restrição de usufruto de terras.

¹⁵ Definição de sujeitos de direitos, dos responsáveis pela realização das consultas, dos meios de validação, dentre outras.

¹⁶ O Decreto n. 10.088/2019 consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil. O anexo LXXII apresenta a Convenção n. 169 da OIT sobre Povos Indígenas e Tribais (adotada em Genebra, em 1989, e promulgada no Brasil, em 2004).

¹⁷ [Observatório de protocolos autônomos](#) e a publicação Tribunais brasileiros e o direito à consulta prévia, livre e informada (ISA, 2023).

¹⁸ How-to guide: Hydropower and Indigenous Peoples (IHA, 2021d).

planejamento para promover a segurança hídrica, e proporcionar os usos múltiplos da água, considerando os efeitos das mudanças climáticas no ciclo da água.

Particularmente para a geração hidrelétrica, o aumento dos outros usos da água nas bacias hidrográficas pode resultar tanto na redução da produção de energia, em função do aumento das retiradas para os usos consuntivos a montante das hidrelétricas, quanto na ampliação da inflexibilidade da geração hidrelétrica, por meio do estabelecimento de restrições operativas às UHEs.

Nessa temática, o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 (MDR, 2022) é um importante instrumento para a gestão de recursos hídricos no País e que apresenta diversos aspectos relacionados à integração da Política Nacional de Recursos Hídricos com a geração de energia. Cumpre destacar a articulação cada vez maior entre setor elétrico e órgãos relacionados aos recursos hídricos para a discussão e definição de ações buscando conciliar os interesses dos múltiplos usuários. Como exemplo, algumas ações do PRR são voltadas para a melhoria da gestão hídrica, tais como: CP2 e CP9 que tratam de aprimoramentos da representação e da base de dados das restrições hidráulicas operativas para UHEs; CP10 que busca revisar restrições operativas; e CP11 que visa fortalecer a governança da gestão integrada dos reservatórios.

Ainda cabe mencionar a questão da geração hidrelétrica considerando as alterações climáticas. As mudanças nos padrões de precipitação e de escoamento da água, combinadas com alterações na evapotranspiração, implicam aumento ou diminuição da geração de energia hidrelétrica, a depender da região. O estudo Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil, publicado pela ANA, aponta que a disponibilidade hídrica pode cair mais de 40% no Norte, Nordeste e parte do Centro-Oeste até 2040, enquanto o Sul possui uma tendência de aumento da disponibilidade hídrica, embora atrelada a uma maior imprevisibilidade das condições hídricas (ANA, 2024). O aumento da variabilidade sazonal e pluri-anual nesta fonte de geração representa desafios significativos para a operação e planejamento de todo o sistema (IEA, 2021; EPE, 2023). Além disso, eventos extremos, como chuvas intensas, podem causar danos aos equipamentos e estruturas das usinas.

Nessa linha, desde o PDE 2031, são feitas análises de risco climático e consideração de cenários alternativos. O PDE 2035 traz uma avaliação da resiliência do cenário da expansão decenal de referência considerando cenários hidrológicos adversos (ver item 3.5.5, do capítulo 3 do PDE 2035).

O PRR também representa uma ferramenta importante do setor para a adaptação às mudanças climáticas, propondo ações como: monitoramento de riscos climáticos, realização de estudos sobre as mudanças no regime de vazões, aprimoramentos metodológicos a partir da consideração de cenários hidrológicos e elaboração de *Roadmap* para o Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico. No âmbito dessa última ação, coordenada pela EPE, foi publicado em 2024 o *factsheet* “Hidreletricidade e mudanças climáticas”, que apresenta os riscos climáticos para a hidreletricidade no Brasil e aponta caminhos para a adaptação desta fonte frente às mudanças climática (EPE, 2024). Ainda como parte do Roadmap, encontra-se em desenvolvimento a elaboração de uma nota técnica contendo uma análise sistêmica da resiliência climática do setor elétrico brasileiro, incluindo indicação de cenários e recomendações de adaptação para o SIN.

Por fim, cabe ressaltar a elaboração do Plano de Adaptação do setor de energia que está sendo desenvolvido na esfera do Plano Clima. Os Planos Setoriais Temáticos e a Estratégia Nacional de Adaptação passaram por consulta pública e foram aprovados pelo Comitê Interministerial de Mudança do Clima - CIM (MMA, 2024). O Plano de Adaptação do setor de energia destaca os riscos climáticos associados à geração hidrelétrica e prevê diversas ações de adaptação voltadas para as usinas hidrelétricas.

O Quadro 4 resume os principais desafios socioambientais e as iniciativas associados à expansão indicada no PDE 2035.

Quadro 4 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica

Desafio	Iniciativas
Implantação de novas usinas hidrelétricas	- Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR): articulação entre os órgãos federais responsáveis pelo sistema elétrico e pelo licenciamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, para identificação e avaliação de barreiras relacionadas à expansão hidrelétrica. - Publicação do Caderno de estudos “Um olhar para as usinas hidrelétricas, desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro”.
Compatibilização da geração de energia com a conservação da biodiversidade 	- Ferramentas interativas e de sustentabilidade para projetos hidrelétricos, evidenciando o comprometimento com a biodiversidade. - Desenvolvimento de métricas e parâmetros para guiar e dar transparência aos resultados positivos dos projetos para a biodiversidade. - Adoção de metas relacionadas à conservação da biodiversidade em usinas hidrelétricas.
Exploração do recurso hídrico próximo e/ou em terras indígenas 	- Esforços para a regulamentação do §3º do art. 231 da CF, que culminou no PL 191/2020, retirado de pauta do Congresso Nacional. Existência de outros PLs similares ao conteúdo da proposta legislativa retirada de pauta. - Esforços para elaboração de normativos para a realização de consulta nos moldes da Convenção n. 169 da OIT, pelo Governo Federal. Divulgação de exemplos de protocolos de consulta e de decisões judiciais sobre a consulta prévia, livre e informada. - Publicação, pela indústria hidrelétrica, de guia de melhores práticas internacionais para projetos hidrelétricos e povos indígenas.
Disponibilidade hídrica para a geração hidrelétrica 	- Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 2022-2040. - Análise de resiliência do cenário de expansão considerando cenários hidrológicos adversos do PDE 2035. - Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR): proposição de ações relacionadas às restrições operativas e adaptação às mudanças climáticas. - Publicação do <i>Factsheet</i> “Hidreletricidade e mudanças climáticas”, no âmbito do <i>roadmap</i> para fortalecimento da resiliência do setor elétrico do PRR. - Plano de Adaptação do setor de energia, na esfera do Plano Clima.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica

A **repotenciação, modernização e ampliação de UHEs existentes** ganhou força nos últimos anos. Isso se deve tanto pelas crescentes dificuldades para se implantar novas usinas, quanto pela possibilidade de incrementar a capacidade hidrelétrica instalada por meio da **otimização de recursos para a geração de energia**, basicamente sem as interferências e os riscos associados à construção de novas UHEs.

Estudo da EPE (2019) identificou um potencial de cerca de 11 GW de capacidade instalada de repotenciação, modernização e ampliação de UHEs, considerando a importância, a dimensão e a idade do parque hidrelétrico brasileiro existente. Avaliando um grupo de hidrelétricas existentes, o estudo apontou ganhos de capacidade, energia e flexibilidade para o SIN, bem como outros efeitos positivos que poderiam

ser alcançados com tais medidas. Para além das melhorias no sistema energético, a opção por repotenciar, modernizar ou ampliar hidrelétricas representa uma grande oportunidade socioambiental, na medida em que se evitam as interferências socioambientais associadas à construção de novos projetos e se busca um uso mais eficiente dos recursos naturais, sobretudo do recurso hídrico.

Nesse sentido, nos últimos quatro anos, o PDE vem destacando o potencial a ser explorado por meio de ações de repotenciação, modernização e ampliação de hidrelétricas existentes. No PDE 2035 tais ações representam um percentual considerável da expansão hidrelétrica prevista no decênio (77%).

A previsão de um Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência (LRCAP) com a inclusão de usinas hidrelétricas existentes reforça a importância da fonte em contribuir, dentre outros, com flexibilidade operativa para o sistema elétrico. O número de hidrelétricas cadastradas em 2025 para o LRCAP 2026 mostra a movimentação do setor hidrelétrico para o tema. Foram cadastradas 16 usinas hidrelétricas existentes, totalizando a ampliação de 6.076MW de potência ao sistema (EPE, 2025b).

Apesar da mobilização do setor hidrelétrico para o Leilão de Reserva de Capacidade, destaca-se que, para alavancar esse novo mercado, ainda são necessários aprimoramentos nos aspectos regulatórios e nos instrumentos de incentivos econômicos capazes de mobilizar os empreendedores para esse fim (EPE, 2025a).

Outra oportunidade interessante aos agentes é o **investimento em projetos que revertam em benefícios socioambientais adicionais**, mais notadamente por meio de ações de conservação ambiental, mas também por ações sociais. Em resumo, as empresas têm editado Políticas de Biodiversidade ou Sustentabilidade que incorporam princípios de conservação da biodiversidade à sua estratégia, incluindo os princípios de nenhuma perda líquida ou almejando ganhos líquidos de biodiversidade. Algumas empresas demonstram ir além dos seus compromissos legais, promovendo programas e ações socioambientais que se convertam em benefícios para a flora, fauna e comunidades na área de influência dos empreendimentos. Observa-se integração das obrigações do licenciamento ambiental dos empreendimentos com investimentos originários de receita própria e dos recursos de Pesquisa e Desenvolvimento. Nesse contexto, destaca-se o programa de conservação da ictiofauna da Cemig, Peixe Vivo, que em 2024 completou 15 anos com resultados expressivos para a ciência e a conservação¹⁹. Destaca-se também o projeto IBI-Furnas, desenvolvido voluntariamente pela Axia Energia (anteriormente Eletrobras Furnas) em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais, com objetivo de aprimorar metodologias de avaliação e mapeamento do impacto líquido positivo sobre a biodiversidade na bacia de drenagem da usina de Furnas, com participação da comunidade escolar e moradores.

A construção de um cenário de negócios cada vez mais sustentável e competitivo requer um maior envolvimento e comprometimento dos empreendedores com a comunidade local e com a manutenção dos recursos ambientais e serviços ecossistêmicos nas regiões de inserção das usinas. Nesse sentido, está a possibilidade de promover a sustentabilidade da região e agregar valor socioambiental ao projeto por meio do atendimento aos padrões de desempenho de sustentabilidade ambiental definidos tanto por instituições financeiras como as signatárias dos Princípios do Equador e a International Finance Corporation (IFC), quanto por instituições do próprio setor hidrelétrico, como a Hydropower Sustainability Alliance (HSA). Podem ser citados os exemplos das UHEs Santo Antônio, Jirau e Teles Pires, que atenderam a padrões de desempenho de sustentabilidade ambiental do IFC, e das UHEs Mascarenhas e Jirau, que receberam recentemente a certificação Gold no Hydropower Sustainability Standard (HSS), da HSA, para a fase de operação²⁰.

Todos os mecanismos mencionados estão alinhados com uma conjuntura internacional que trata e discute questões relacionadas à biodiversidade. Instituições que representam investidores, empresas, governos e sociedade civil crescentemente reconhecem a relevância do tema em função de sua interrelação

¹⁹ O programa Peixe Vivo é estruturado através de três pilares: Programas de Conservação e Manejo, Pesquisa e Desenvolvimento e Relacionamento com a Comunidade. Como impactos do programa houve a redução significativa nas mortes de peixes e mais de 690 publicações de pesquisa dentro do programa.

²⁰ O HSS avalia tópicos relacionados a práticas sustentáveis considerando governança, preservação ambiental, relacionamento com stakeholders, dentre outros. (HSA, 2024).

com a qualidade de vida humana e do meio e buscam estratégias para avançar em soluções que incorporem a biodiversidade. Os tratados internacionais como a Convenção sobre Diversidade Biológica, a Agenda de Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030 e o Acordo de Paris (2015), dentre outros, são referências do arcabouço de políticas que motivam compromissos voluntários e propostas de metas a serem alcançadas no que tange à biodiversidade.

Também há expectativas de que projetos dessa natureza sejam impulsionados pelos investimentos oriundos da Lei n. 14.182/2021²¹ e por ações previstas no PRR para revitalização e recuperação de bacias hidrográficas, resultando em ganhos socioambientais diretos. Vale destacar que o PRR também propõe ações do eixo da adaptação, fortalecendo a resiliência climática do sistema elétrico brasileiro e dos usuários da água face a situações de escassez hídrica.

Por fim, ações do governo federal para aprimoramento de atividades em reservatórios hidrelétricos também podem contribuir para benefícios socioambientais adicionais, como a geração de emprego e renda. Em novembro de 2024 foi assinado um Acordo de Cooperação Técnica (ACT) entre o MME e o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) para o desenvolvimento sustentável da aquicultura e energia em reservatórios hidrelétricos. O objetivo é aumentar a produção de peixes e outros alimentos em reservatórios hidrelétricos considerados aptos para a atividade de aquicultura, visando geração de emprego, renda e segurança alimentar. A iniciativa busca também o aperfeiçoamento da governança do uso de reservatórios das hidrelétricas de forma a potencializar sua utilização para a finalidade produtiva, além de minimizar riscos e impactos na operação das usinas. (MME, 2025a)

Outro ponto que merece destaque é que a geração de energia renovável, de baixa emissão de GEE, permite que as UHEs se beneficiem de **instrumentos voltados para a descarbonização**.

Nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação às Mudanças Climáticas, no âmbito do Plano Clima 2024-2035, serão importantes para direcionar a implantação de medidas de reduções de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir da definição de metas para agentes setoriais.

A regulamentação de um mercado de carbono também se apresenta como um instrumento importante nessa temática, ao limitar a emissão de GEE e promover a comercialização de ativos referentes a emissão, redução ou remoção de GEE. Nesse contexto, em 2024 foi instituído pela Lei n. 15.042 o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), que ainda conta com desafios para sua implementação.

Há ainda mecanismos de caráter voluntário, como a emissão de certificados de energia renovável (RECs)²², opção para consumidores comprovarem que seu consumo de energia elétrica é proveniente de fonte renovável. Para o futuro é esperada demanda crescente por esse tipo de instrumento à medida que as empresas, de forma geral, apresentem metas voluntárias de redução de emissões.

No escopo do mercado de títulos e empréstimos verdes²³, outra oportunidade interessante para o setor é o programa internacional de certificação da *Climate Bonds Initiative* (CBI). O esquema define boas práticas de mercado relativas a ações climáticas ambiciosas, elaboração de relatórios e divulgação de dados. Os critérios de elegibilidade²⁴ para energia hidrelétrica foram definidos em 2021 (CBI, 2024).

O Quadro 5 resume as principais oportunidades socioambientais identificadas com relação à expansão de UHEs no PDE 2035 e os fatores conjunturais favoráveis a seu aproveitamento.

²¹ Como o Programa de Revitalização dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e Parnaíba, coordenado pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR).

²² Uma empresa que deseja emitir RECs passa por uma auditoria de um emissor local, em que cada REC emitido equivale a 1MWh de energia gerada.

²³ Os títulos verdes são títulos de renda fixa usados para financiar projetos ou portfólios que tenham atributos verdes (Forbes, 2020). Já o empréstimo verde é uma forma de financiamento que permite aos mutuários usarem os recursos para financiar exclusivamente projetos que fazem uma contribuição substancial para um objetivo ambiental (World Bank Group, 2021).

²⁴ The Hydropower Criteria for the Climate Bonds Standard & Certification Scheme (CBI, 2021).

Quadro 5 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica

Oportunidades	Conjuntura favorável
Otimização de recursos para a geração de energia (repotenciação/modernização e ampliação de UHEs existentes)	- Indicação de ações de repotenciação e modernização de UHEs na expansão apresentada nos últimos PDEs. - Previsão de um leilão de reserva de capacidade, na forma de potência, (LRCAP), considerando hidrelétricas existentes. - Cadastramento de 16 UHEs existentes para ampliação (6.076 MW) no LRCAP em 2025.
Investimento em projetos que revertam em benefícios socioambientais adicionais	- Medidas voluntárias empresariais. - Padrões de desempenho de sustentabilidade definidos por instituições financeiras, como as signatárias dos Princípios do Equador e a International Finance Corporation (IFC), e instituições do setor hidrelétrico, como a Hydropower Sustainability Alliance (HSA). - Tratados internacionais: Convenção sobre Diversidade Biológica, Agenda 2030 e Acordo de Paris. - Investimentos oriundos da Lei n. 14.182/2021 e ações do Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR) para revitalização e recuperação de bacias hidrográficas. - Acordo de Cooperação Técnica, entre MME e MPA, para o desenvolvimento sustentável da aquicultura e energia em reservatórios hidrelétricos.
Instrumentos voltados para a descarbonização	- Elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação às Mudanças Climáticas, no Plano Clima 2024-2035. - Publicação da Lei 15.042/24, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). - Certificados de energia renovável (RECs). - Programa de certificação da <i>Climate Bonds Initiative</i> (CBI) para emissão de títulos verdes.

Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica

Com o objetivo de representar os principais impactos e benefícios da expansão hidrelétrica do PDE 2035, foram avaliados os seguintes indicadores socioambientais²⁵: perda de vegetação nativa, transformação de ambiente lótico em lêntico, interferência em unidade de conservação, população afetada, interferência em terra indígena, interferência na infraestrutura, geração de empregos, incremento permanente na arrecadação municipal (compensação financeira) e incremento temporário na arrecadação municipal (ISS).

Destaca-se que os indicadores foram calculados apenas para a hidrelétrica contratada (UHE Estrela) e para os projetos previstos na expansão indicativa (UHEs Bem Querer e Telêmaco Borba). A parcela da expansão indicativa composta por modernização de hidrelétricas não foi considerada, uma vez que não se tem dados suficientes para cálculo dos indicadores.

Ressalta-se, ainda, que os indicadores apresentados na Tabela 4 não abordam todas as questões relativas a UHEs, mas buscam representar os principais impactos e benefícios de âmbito local que são frequentemente associados à implantação de projetos hidrelétricos.

²⁵ Os indicadores têm como base a metodologia da avaliação socioambiental de UHEs (EPE, 2012). Os indicadores foram selecionados considerando os principais impactos e benefícios associados à implantação de hidrelétricas, além de outros aspectos como sua mensuração e a existência e a qualidade de dados.

Tabela 4 – Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica

Indicadores Ambientais	
Área alagada (km²)	680
Área alagada por potência instalada (km²/MW)	0,83 (UHEs existentes: 0,44 km²/MW)
Perda de vegetação nativa (km²)	460
Perda de vegetação nativa por MW (km² /MW)	0,56
Transformação do ambiente lótico em lêntico (km)	250
N. de UHEs com interferência em UC de proteção integral	nenhuma das 3 UHEs
N. de UHEs com interferência em UC de uso sustentável	1 das 3 UHEs
Indicadores Socioeconômicos	
População diretamente afetada (hab.)	3.033
População diretamente afetada por MW (hab./MW)	3,72
Interferência na infraestrutura (população atraída/população dos municípios)	0,21
N. de UHEs que interferem em terras ou comunidades quilombolas	nenhuma das 3 UHEs
N. de UHEs que interferem diretamente em TI	nenhuma das 3 UHEs
N. de UHEs situadas até 40 km de TI na Amazônia Legal e 15 km nas demais regiões	1 das 3 UHEs
Empregos diretos gerados no pico das obras ⁽¹⁾	6.600
Empregos diretos gerados no pico das obras por MW (empregos/MW)	8,08
Compensação financeira (CF) em 2035 (R\$ milhões) ^{(2) (3)}	6,71 (0,3% da CF paga em 2024 por todas as UHEs em operação)
Compensação financeira para os estados no decênio (R\$ milhões) ⁽²⁾	4
Compensação financeira para os municípios no decênio (R\$ milhões) ⁽²⁾	10
ISS gerado nas obras no decênio (R\$ milhões)	203,57

Notas: (1). Esse dado considera apenas os empregos gerados no período de pico das obras para as três UHEs, ou seja, há empregos gerados ao longo do período que não estão sendo considerados. (2). Considera somente a geração das usinas cuja operação se inicia no horizonte deste PDE. Os montantes de compensação financeira foram calculados considerando a TAR 2024 (R\$ 94,45) para todo o horizonte decenal. (3). Montante de arrecadação, no ano de 2035, da compensação financeira definida pela Lei n.7.990/1.989 e suas modificações, considerando as parcelas destinadas aos estados, municípios e à União.

4.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas

Benefícios das PCHs e CGHs

- É fonte de energia elétrica **renovável** com **baixos custos operacionais**.
- Apresentam **emissões reduzidas de gases de efeito estufa (GEE)**, contribuindo para as metas de redução estabelecidas pela Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).
- Contribuem para a confiabilidade do sistema elétrico, graças à geração previsível, alto fator de capacidade e à flexibilidade proporcionada por reservatórios, além de outros serviços ao sistema.
- São usualmente instaladas em rios de pequeno e médio porte, **próximas aos centros de consumo**, o que diminui perdas e custos com transmissão, evitando a necessidade de longas linhas.
- A implantação desses projetos **impulsiona a economia local** e, por serem desenvolvidos com tecnologia, materiais e mão de obra nacionais, fomentam o **crescimento econômico e a geração de empregos** em toda a cadeia produtiva.
- Apresentam **vida útil elevada**, podendo ultrapassar um século sem demandar grandes reinvestimentos, o que reforça sua baixa pegada de carbono.
- Possuem reservatórios com áreas alagadas reduzidas, operando geralmente a fio d'água. Isso minimiza impactos socioambientais comuns a grandes reservatórios, como afetação de vegetação nativa e comunidades, além de possibilitar usos múltiplos da água.
- Por meio de programas ambientais, promovem o reflorestamento, a gestão da Área de Preservação Permanente (APP) do reservatório, a recuperação de nascentes e o monitoramento da qualidade da água e da fauna aquática.

Parque de PCHs e CGHs atual

A capacidade instalada de PCHs e CGHs no Brasil é de **6.821 MW** (ANEEL, 2025). Essa potência é proveniente de 428 PCHs e 690 CGHs, localizadas principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, como pode ser observado na figura ao lado.

Expansão de PCHs e CGHs nos próximos 10 anos

Para todo o horizonte decenal é prevista a **expansão de 4.314 MW** de potência instalada, o que representa avanço de 63% em relação ao parque atual. Na primeira metade do horizonte é considerada a entrada de **348 MW de potência, distribuídos em 27 PCHs e CGHs já contratadas**, que têm seu início de operação previsto para ocorrer entre 2026 e 2029. Já a partir de 2029, é estimada a entrada de outros **3.965 MW de potência instalada (expansão indicativa)** nos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Sul. Além desse montante poderá haver expansão de CGHs que se enquadram como geração distribuída nos termos da Resolução Normativa Aneel n. 1059/2023 (ANEEL, 2023).

Nota-se que, para todo o horizonte decenal, **a maior parte da expansão**, contratada e indicativa, ocorrerá **nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste** do país. No Norte a expansão é pouco expressiva e no Nordeste não há previsão de expansão da fonte. A Figura 10 indica a localização da expansão planejada.

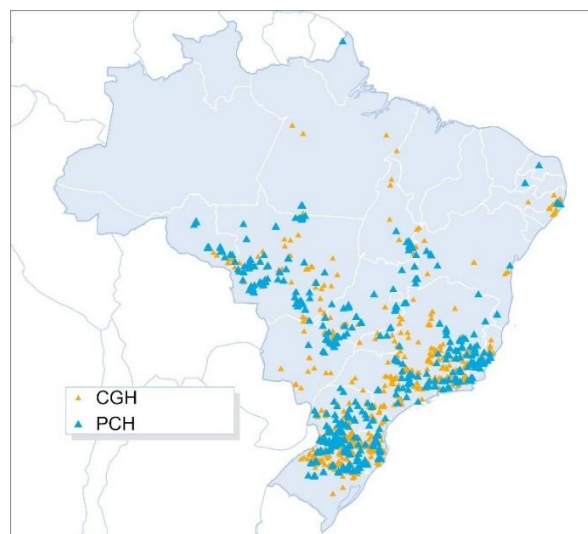




Figura 10 – Localização da expansão de PCHs e CGHs no PDE 2035

Embora o 39º Leilão de Energia Nova A-5, realizado em 2025, esteja fora da data de corte deste PDE, ele representa um marco importante para a fonte hidrelétrica no Brasil. Nesse certame, foram contratados 815 MW de capacidade instalada, dos quais 760 MW de novas PCHs e CGHs, distribuídos em 63 projetos, com início de suprimento previsto para 2030, sinalizando retomada significativa da participação das PCHs no setor elétrico.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

As principais interferências socioambientais da expansão da fonte no horizonte do Plano dizem respeito à **biodiversidade**, em função dos possíveis impactos dos projetos na vegetação nativa e na fauna aquática. Essas interferências estão relacionadas aos efeitos cumulativos e sinérgicos resultantes da concentração de projetos em um mesmo rio ou bacia hidrográfica e são particularmente importantes para as **regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste**, haja vista a expansão prevista e a grande quantidade de barragens já existentes.

Ainda que as áreas alagadas pela implantação dos projetos sejam relativamente pequenas, há interferência na vegetação marginal dos rios, ambientes que muitas vezes são os principais corredores de vegetação nativa da região e possuem grande importância ecológica. Acrescenta-se o alto nível de ameaça do bioma Mata Atlântica, presente em grande parte do Sul e Sudeste. Sobre o assunto, é importante ressaltar a necessidade de que os empreendimentos atendam à Lei da Mata Atlântica (Lei Federal n. 11.428/2006), que exige a compensação da vegetação suprimida no bioma Mata Atlântica em área equivalente àquela retirada e em condições ecológicas equivalentes. Também se pode citar a necessidade de instituição de Área de Proteção Permanente (APP) no entorno dos reservatórios, de forma que os projetos implantados contribuam para o aumento e conservação da vegetação na região.

No que diz respeito à fauna aquática, a implantação de PCHs e CGHs interfere localmente em função da formação de reservatórios e trechos de vazão reduzida (TVR). Considerando um conjunto de empreendimentos em uma mesma bacia hidrográfica, isso pode causar a fragmentação dos rios, na medida em que são construídas barreiras ao deslocamento dos peixes migradores. Pode haver também

alterações no fluxo hidrológico e no transporte de sedimentos. Os projetos, em geral, são implantados em rios de menor porte e regiões de cabeceira das bacias hidrográficas, áreas importantes para a fauna aquática por serem estratégicas para a reprodução de peixes. Para contornar essas interferências existe a possibilidade de se implantar Sistema de Transposição de Peixes (STP) nos rios em que ocorram espécies migradoras e manter uma vazão ecológica no TVR. No entanto, é frequente a instalação de usinas nas cabeceiras dos rios e em locais que se apresentam como barreira natural ao deslocamento de peixes, para os quais não são necessários/recomendados STPs. Durante as fases de construção e operação dos empreendimentos, é usualmente realizado o monitoramento das espécies da ictiofauna e, quando verificada a necessidade, são propostas ações de manejo.

Com base na análise apresentada acima, o tema socioambiental **biodiversidade** foi considerado relevante para a expansão das PCHs e CGHs no PDE 2035, conforme apresentado na Tabela 5. Já o Quadro 6 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2035. Além disso, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, são apresentados os temas e justificativas para escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as principais medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Tabela 5 – Síntese da análise socioambiental das PCHs e CGHs do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
PCHs e CGHs	 interferências inexpressivas	não há projetos planejados	 biodiversidade	 biodiversidade	 biodiversidade

Quadro 6 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Interferência em vegetação nativa (Mata Atlântica) e na fauna aquática (fragmentação dos rios)	biodiversidade 	S e SE: quantidade de projetos e a relevância ecológica dos remanescentes de Mata Atlântica ainda existentes, tendo em vista o grau de ameaça do bioma. S, SE e CO: concentração de empreendimentos planejados e existentes em uma mesma bacia, podendo gerar efeitos cumulativos e sinérgicos em função de projetos instalados em cascata.	- Compensação da vegetação suprimida no bioma Mata Atlântica, conforme legislação específica. Reposição florestal pela supressão de vegetação. - Instituição de APP no entorno do reservatório. - Possibilidade de implantação de Sistema de Transposição de Peixes (STP) nos rios em que ocorram espécies migradoras. Vale ressaltar, no entanto, a frequente instalação de usinas nas cabeceiras dos rios e locais que se apresentam como barreira natural ao deslocamento de peixes. - Monitoramento de espécies da ictiofauna e, quando necessário, indicação do manejo adequado.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs

O **processo de licenciamento ambiental** tem se apresentado como um dos desafios para ampliar a participação da fonte na matriz. De maneira geral, para a implantação de PCHs e CGHs é exigida a elaboração de complexos estudos ambientais, além da necessidade de emissão de certidões e autorizações diversas e manifestações de instituições envolvidas, como prefeituras, órgãos gestores de recursos hídricos, Funai, Iphan e Fundação Cultural Palmares. As diversas exigências implicam processos longos, complexos e, por vezes, imprevisíveis. Há também o fato de que cada unidade da federação tem uma legislação distinta, por vezes com exigências específicas, de modo que os procedimentos de licenciamento são heterogêneos. A ausência de uma norma geral tem trazido insegurança e judicialização.

Sobre o assunto, existem iniciativas que visam dar celeridade, transparência, objetividade e reduzir os custos envolvidos nos processos de licenciamento ambiental. Entre elas, podemos citar a modernização das normativas e dos processos por parte dos órgãos ambientais estaduais, a fim de aumentar a produtividade e celeridade dos processos de licenciamento ambiental de PCHs, como é o caso dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais e Goiás. Nesse sentido, há uma remodelação e informatização dos processos e normatização das análises.

Também com o objetivo de otimizar e, ainda, homogeneizar os procedimentos de licenciamento ambiental de PCHs nas unidades da federação, no âmbito do GT-Energia da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (Abema), que conta com a participação de representantes dos órgãos ambientais estaduais, MME, Aneel e ANA, foi concluída em 2022 uma proposta para readequação do processo de licenciamento ambiental para PCHs e CGHs e critérios para a enquadramento dos projetos em processos e estudos simplificados, quando possível.

Ressalta-se ainda o papel dos estudos de inventários hidrelétricos participativos, cujo objetivo é ampliar a participação de representantes das instituições relacionadas ao meio ambiente no processo de aprovação, pela Aneel, dos estudos para implantação de empreendimentos hidrelétricos. Essa iniciativa tem apresentado resultados positivos, uma vez que são antecipadas discussões de questões que podem vir a dificultar o processo de licenciamento ambiental, mitigando-as, quando possível, nas etapas iniciais de concepção do projeto, e culminando em maior segurança para os empreendedores e órgãos ambientais. Até 2023, foram concluídos os estudos do rio Pardo, em Mato Grosso do Sul, e do rio Itajaí do Norte, em Santa Catarina. Em 2024, por meio do Despacho 3187/2024, a Aneel definiu outros 11 estudos que são elegíveis a esse modelo.

Outro desafio diz respeito a **compatibilizar a conservação ambiental e a geração de energia**, sobretudo em regiões em que ocorre uma grande concentração de projetos. Para lidar com essa questão, algumas iniciativas têm sido desenvolvidas, como a elaboração de estudos mais abrangentes para a definição e avaliação dos locais onde serão implantados os projetos e que consideram a bacia hidrográfica, a exemplo da Avaliação Ambiental Integrada (AAI) e do Estudo Integrado de Bacia Hidrográfica (EIBH). Esses instrumentos visam avaliar a implantação de um conjunto de empreendimentos em uma mesma bacia hidrográfica, considerando os efeitos cumulativos e sinérgicos dos impactos socioambientais ocasionados pelos projetos hidrelétricos. Neles busca-se avaliar a região de maneira mais abrangente e não individualmente por projeto.

Pode-se ainda relacionar, no caso do Rio Grande do Sul, o zoneamento dos rios estaduais em aptos e inaptos para fins de licenciamento ambiental de PCHs e CGHs (Resolução Consema/RS n. 388/2018). A referida Resolução Consema é um importante normativo para o setor, ao dispor sobre os critérios e diretrizes gerais, a definição dos estudos ambientais e os procedimentos básicos a serem seguidos no licenciamento ambiental de PCHs e CGHs no Rio Grande do Sul.

O Quadro 7 resume os principais desafios relacionados à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 7 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs

Desafio	Iniciativas
Complexidades relacionadas ao processo de licenciamento ambiental	- Modernização das normativas e procedimentos de licenciamento ambiental, a exemplo das realizadas nos estados do RS, SC, PR, MG e GO. - Discussões no âmbito do GT-Energia da Abema para a otimização e homogeneização dos processos de licenciamento ambiental de PCHs e CGHs. - Estudos de Inventários Hidrelétricos participativos – Aneel e órgãos ambientais estaduais.

Desafio	Iniciativas
Compatibilizar a conservação ambiental e a geração de energia 	- Elaboração de estudos mais abrangentes para a avaliação do conjunto de projetos, a exemplo de AAI e EIBH. - Estabelecimento de rios não passíveis de processo de licenciamento ambiental para as PCHs e CGHs, caso do Rio Grande do Sul.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão de PCHs e CGHs

O aproveitamento de reservatórios construídos para outros fins, como o abastecimento de água, para a geração de energia, além da possível reativação ou repotenciação de empreendimentos existentes, se revela como uma oportunidade de otimização do uso dos recursos hídricos e de aumento da geração de energia. Como exemplo podemos citar os casos das PCHs Guaraú (SP), Cascata (SP), Manuel Alves (TO) e Armando Ribeiro (RN).

O fato de PCHs e CGHs serem fonte renovável e de baixa emissão de GEE já permite que elas se beneficiem de instrumentos financeiros para descarbonização, como os Certificados de Energia Renovável (REC). Uma empresa que deseja ser emitente de RECs passa por uma auditoria documental pelo emissor local e cada REC equivale a 1MWh de energia gerada (INSTITUTO TOTUM, 2025). Os RECs gerados são demandados por empresas que apresentem metas voluntárias de redução de emissões.

A implantação de PCHs e CGHs traz a oportunidade de recuperação ambiental da região em que os empreendimentos estão inseridos, especialmente as margens e cabeceiras dos rios. Essa recuperação pode estar associada a um programa de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA ou ainda ampliar os investimentos para geração de ICMS Ecológico. Destaca-se ainda que o monitoramento ambiental contínuo realizado pelos empreendimentos permite a promoção de ações de conservação do recurso hídrico e da biodiversidade.

O Quadro 8 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 8 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão de PCHs e CGHs

Oportunidades	Conjuntura favorável
Otimização do uso dos recursos hídricos por meio da instalação de projetos em reservatórios existentes, além da reativação e repotenciação de PCHs	- Viabilização de projetos que utilizam reservatórios construídos para outros fins
Instrumentos financeiros voltados para a descarbonização	- Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas e desenvolvimento do Mercado de Carbono - Demanda do mercado por Certificados de Energia Renovável (REC)
Recuperação da vegetação nativa no entorno dos empreendimentos, com benefícios socioambientais adicionais	- Possível implantação de programas de pagamento por serviços ambientais

Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

Para representar, ainda que de modo simplificado, as alterações decorrentes da implantação das PCHs e CGHs planejadas, são avaliados dois indicadores socioambientais (Tabela 6).

O primeiro é relativo à área dos reservatórios previstos e representa principalmente os impactos nos meios físico e biótico, tais como a perda de vegetação e as interferências sobre a biodiversidade local.

Foi adotada para a expansão prevista a relação da área alagada por potência instalada de 0,07 km²/MW, valor obtido a partir de dados de PCHs constantes nos PDEs mais recentes, com base em informações da Aneel (ANEEL, 2024). Para comparação, essa mesma relação para as UHEs é de 0,44 km²/MW.

O segundo indicador se refere aos empregos diretos gerados no pico das obras. Representam, em princípio, o aumento das oportunidades de trabalho e a dinamização da economia dos locais onde esses projetos se inserem. Ao longo do horizonte decenal é esperada a geração de cerca de 66 mil empregos diretos, considerando os trabalhadores no pico da obra de cada projeto. Esta estimativa considerou o valor de 20 empregos para cada MW instalado, valor médio obtido com base em informações de PCHs cadastradas em leilões de energia. Esse dado considera apenas os empregos gerados no período de pico das obras, ou seja, há empregos gerados ao longo do período que não estão sendo contabilizados.

Tabela 6 – Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

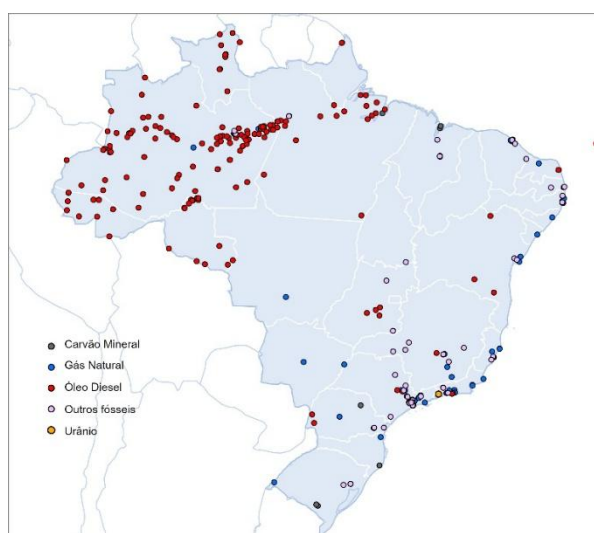
Indicadores Ambientais	
Área alagada (km²)	301,98
Área alagada por potência instalada (km²/MW)	0,07
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos gerados no pico das obras	86 mil
Empregos diretos gerados durante a operação (empregos/MW)	20

4.3 Termelétricas de fontes não renováveis

Benefícios das termelétricas de fontes não renováveis

- Apresentam características técnicas que trazem ganhos de confiabilidade ao sistema elétrico e aumentam a **segurança energética** do país.
- Possibilitam a **otimização dos recursos energéticos** no sistema interligado nacional (SIN), compensando as variabilidades e sazonalidades de outras fontes, além de assegurar a continuidade do fornecimento em horários de pico de demanda elétrica.
- Apesar da disponibilidade e transporte de combustível serem fatores relevantes para a localização das usinas, possuem **flexibilidade locacional**, podendo ser implantadas em áreas próximas aos centros de carga, reduzindo custos, perdas e impactos socioambientais inerentes a extensas linhas de transmissão.
- Necessitam de **áreas relativamente pequenas** quando comparadas a outras fontes de energia, fato que, associado à flexibilidade locacional, possibilita a seleção de locais com menor sensibilidade socioambiental e conflitos para sua implantação. Nesse sentido, é frequente a instalação desses empreendimentos dentro de complexos industriais ou portuários já estabelecidos.
- Existem benefícios econômicos e sociais associados à implantação e operação dos projetos termelétricos que contribuem para o dinamismo econômico da região e beneficiam a comunidade local como: **geração de empregos** diretos e indiretos, aumento da demanda por bens e serviços, aumento da arrecadação tributária e investimento em infraestrutura local.
- A depender do tipo de combustível utilizado, existem benefícios específicos adicionais. O **gás natural** se destaca entre os combustíveis fósseis por apresentar menor emissão de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa (GEE). A **termonuclear** não emite diretamente poluentes atmosféricos, nem GEE, já que o calor necessário para a geração de energia elétrica não provém da queima de combustíveis, e sim da fissão nuclear.

Parque termelétrico atual de fonte não renovável



De acordo com o Sistema de Informações da Geração da Aneel (ANEEL, 2025) a potência das usinas não renováveis outorgadas²⁶ em operação no país é de cerca de **18 GW para gás natural** (78 usinas), **3 GW para carvão mineral** (11 usinas), **2 GW para óleo diesel** (177 usinas), **5 GW para demais combustíveis fósseis** (53 usinas) e **2 GW para nuclear** (2 usinas). Observa-se no mapa grande concentração de UTEs a óleo diesel na região Norte. Essas usinas estão inseridas predominantemente nos sistemas isolados e em sua maioria possuem potência significativamente menor do que aquelas que fazem parte do SIN, à exceção daquelas localizadas em Roraima.

²⁶ Outorgas tipo autorização e concessão.

Expansão termelétrica nos próximos 10 anos

Neste decênio está prevista a entrada de cerca de **23 GW de novas usinas termelétricas não renováveis** (Figura 11). Na expansão de usinas novas contratadas estima-se a entrada de 4GW de potência, distribuídos em seis UTEs a gás natural (2.649 MW) e uma nuclear (1.405 MW). Já a expansão de usinas novas indicativas contempla aproximadamente 19 GW de usinas a gás natural, distribuídas em todos os subsistemas: 8,6 GW no Sudeste/Centro-Oeste, 7 GW no Sul, 1 GW no Nordeste, 2,5 GW no Norte, e 31 MW em Acre/Rondônia. A expansão contratada e indicativa abrange todas as regiões do país, com destaque para as maiores capacidades instaladas nas regiões Sudeste e Sul, onde se concentram os principais polos de demanda.

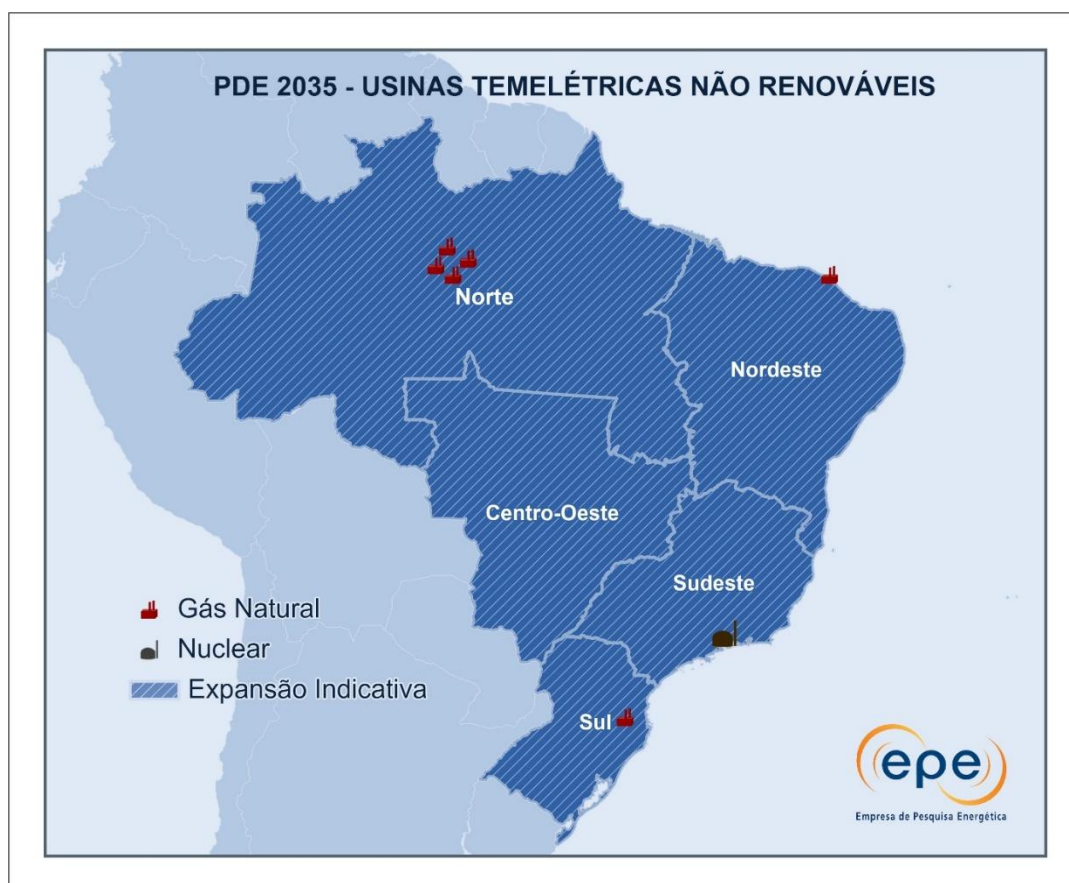


Figura 11 – Localização da expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2035

Adicionalmente, destaca-se que, ao longo do horizonte decenal, algumas usinas existentes podem sofrer alterações contratuais, e posteriormente retornar ao sistema. Estima-se que cerca de 10 GW proveniente de usinas não renováveis possam ser recontratadas nessas condições. Além disso, estima-se que cerca de 1,4 GW de usinas que atualmente operam a combustíveis fósseis poderão ser convertidas para utilização de biocombustíveis, reintegrando-se ao sistema.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

As principais interferências socioambientais de usinas termelétricas de fonte não renovável envolvem a emissão de poluentes atmosféricos e de GEE, alteração na disponibilidade de água e a geração de resíduos. Ainda que essas e outras interferências sejam mitigáveis, usualmente gerenciadas no âmbito dos projetos e no processo de licenciamento ambiental, vale destacar alguns temas socioambientais relevantes para a expansão prevista.

A primeira interferência destacada corresponde às **emissões de poluentes atmosféricos** oriundas da queima de combustíveis fósseis, que podem alterar a qualidade do ar local e impactar negativamente a saúde pública. Dentre as medidas mitigadoras frequentemente adotadas estão a seleção de local com

dispersão atmosférica favorável e afastado de núcleos populacionais, combinada com uso de tecnologias eficientes, equipamentos de abatimento de emissões e monitoramento adequado das emissões e da qualidade do ar em estações de monitoramento. Ressalta-se que essas medidas são definidas no licenciamento ambiental, considerando a legislação vigente²⁷ sobre limites de emissões e qualidade do ar, e pode incluir restrições adicionais a depender das especificidades locais. Neste sentido, o tema **qualidade do ar** foi considerado relevante para as regiões Sul e Sudeste, pois apesar do predomínio de usinas a gás natural, combustível menos poluente entre os fósseis, essas regiões apresentam grandes centros urbanos e industriais com qualidade do ar afetada.

Sobre as **emissões de GEE**, cujos impactos são em escala global, é importante que os empreendimentos realizem inventários de emissões e busquem soluções de redução e compensação. Dentre as medidas possíveis estão a substituição total ou parcial por combustíveis de baixa emissão, uso de equipamentos mais eficientes, uso de tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS)²⁸, e, como última alternativa na hierarquia de mitigação, a compensação das emissões como, por exemplo, pelo investimento em projetos de conservação e restauração florestal.

Em relação à **alteração na disponibilidade de água**, cabe ressaltar que a instalação de projetos em locais onde o balanço hídrico é desfavorável, seja pela baixa disponibilidade de água ou pela elevada demanda de outros usuários, pode ocasionar conflitos pelo seu uso. Para minimizar os conflitos é importante selecionar local com disponibilidade hídrica adequada, que as outorgas concedidas considerem os usos múltiplos, e que sejam aplicadas boas práticas que minimizem o consumo de água doce, tais como o uso de fontes alternativas (água do mar, por exemplo) e reúso da água, além do emprego de tecnologias de resfriamento que requeiram menos água, como sistemas a ar ou híbridos ar-água. Por este motivo, tendo em vista a magnitude da expansão projetada para o decênio, o tema **recursos hídricos** foi considerado relevante para as regiões Sudeste, Sul e Nordeste.

Por fim, considerando a entrada da usina nuclear Angra 3 na região Sudeste, é importante mencionar a interferência de **geração de resíduos radioativos**, pela sua elevada periculosidade. O acondicionamento e disposição das diferentes classes de resíduos radioativos são regidos por legislação específica e sujeitos a fiscalização; além disso, as medidas para o seu gerenciamento são tratadas e acompanhadas tanto no licenciamento ambiental pelo Ibama quanto da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), responsável pelo licenciamento de segurança nuclear das atividades. Cabe destacar que o Ibama renovou por mais seis anos a licença de instalação da usina nuclear de Angra 3, que passa a ter validade até 2028.

Em Angra 3, os combustíveis nucleares irradiados (alta atividade) serão armazenados inicialmente em piscina próxima ao reator, indo, em seguida, para armazenamento complementar, e, por fim, para a destinação final (armazenagem ou reprocessamento) (ELETRONUCLEAR, 2014). A estimativa de quantidade gerada durante toda sua vida útil (40 anos) é de 10.880 kg de urânio 235 e 12.640 kg de plutônio total (ELETRONUCLEAR, 2015). Os demais resíduos, de média e baixa atividade, são armazenados em depósitos locais. Dessa forma, ainda que haja gerenciamento e fiscalização do armazenamento e disposição dos resíduos radioativos, o tema **resíduos** foi considerado relevante para a expansão prevista no Sudeste, pela sua periculosidade.

De acordo com a análise ora apresentada, três temas socioambientais foram considerados relevantes no contexto do Plano, a saber: **qualidade do ar, recursos hídricos e resíduos**. Esses temas estão sintetizados na Tabela 7 conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE.

²⁷ Resoluções Conama n. 382/2006, n. 436/2011, n. 491/2018.

²⁸ Carbon Capture and Storage (CCS) e Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

Tabela 7 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas de fontes não renováveis do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
UTES fósseis	 interferências inexpressivas	 recursos hídricos	 qualidade do ar  recursos hídricos	 qualidade do ar  recursos hídricos	 interferências inexpressivas
UTE nuclear	não há projetos planejados	não há projetos planejados	não há projetos planejados	 resíduos	não há projetos planejados

O Quadro 9 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão termelétrica no PDE 2035; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 9 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Emissão de poluentes atmosféricos e emissão de GEE	qualidade do ar 	S e SE: magnitude da expansão em regiões com qualidade do ar já afetada	- Poluentes atmosféricos locais: seleção de local com dispersão atmosférica favorável e afastado de receptores importantes, combinado com uso de tecnologias eficientes, equipamentos de abatimento de emissões e monitoramento adequado. - Para a redução das emissões de GEE: substituição total ou parcial por combustíveis de baixa emissão, uso de equipamentos mais eficientes, uso de tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS), e compensação de emissões.
Alteração na disponibilidade de água	recursos hídricos 	S, SE e NE: magnitude da expansão em regiões com balanço hídrico desfavorável	- Seleção locacional, consideração dos usos múltiplos nas outorgas, adoção de boas práticas que minimizem o consumo de água doce, tais como o uso de fontes alternativas (água do mar, por exemplo) e reúso da água, além do emprego de tecnologias de resfriamento que requeiram menos água, como sistemas a ar ou híbridos ar-água.
Geração de resíduos radioativos	resíduos 	SE: elevada periculosidade do resíduo	- Acondicionamento e disposição das diferentes classes de resíduos radioativos segundo legislação específica e conforme estabelecido no licenciamento ambiental e nuclear.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis

Um dos principais desafios para as termelétricas que utilizam combustíveis fósseis é a **redução das emissões de GEE**. Na expansão prevista de UTEs não renováveis observa-se o aumento e predomínio da participação do gás natural, o que já é favorável pelo fato de ser o combustível fóssil com menor emissão de GEE. Nesse sentido, o Programa Gás para Empregar é uma iniciativa relevante para promover ações que integrem o gás natural à estratégia nacional de transição energética (BRASIL, 2023).

Ainda nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, que estão em elaboração no âmbito do Plano Clima 2024-2035, serão importantes para orientar a adoção de medidas de reduções de emissões de GEE, a partir da definição de metas setoriais. Além disso, o Sistema Brasileiro de

Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei n. 15.042/2024, representa uma estratégia nacional relevante para promover a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e estimular inovações tecnológicas de baixo carbono.

Ressalta-se também que a Lei do Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024, e o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, Lei n. 14.948/2024, são iniciativas que promovem a utilização de combustíveis de baixo carbono. A regulação das atividades de hidrogênio, combustíveis sintéticos e captura e estocagem geológica de dióxido de carbono foi delegada à ANP, que já iniciou estudos e ações sobre o tema (ANP, 2024a e 2024b). Adicionalmente, o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela Lei n. 15.103/2025, visa promover a geração e uso eficiente de energia de baixo carbono.

Para viabilizar a efetiva redução das emissões, é essencial que projetos considerem a adoção de tecnologias e medidas que aumentem a eficiência energética, a possibilidade de substituição completa ou parcial por combustíveis renováveis ou de baixa emissão, a implementação de tecnologias de captura e armazenamento e uso de carbono (CCS ou CCUS), e mecanismos de compensação das emissões. Dessa forma, será possível atender às exigências das políticas climáticas e mitigar possíveis riscos de conformidade e competitividade ao negócio.

A **redução da demanda de água** também é um desafio, especialmente para implantação de projetos que necessitem da captação de água doce em regiões que apresentam criticidade hídrica. Segundo a ANA (2025), entre 2020 e 2024, a água retirada média anual por termelétricas passou de 80 m³/s para 132,4 m³/s, aumento de 65%. Ainda que o volume represente 6% do total de retiradas em 2024, é fundamental que se busquem minimizar possíveis conflitos pelo uso da água doce, considerando que a demanda pelo uso de água no país é crescente, que existem regiões que apresentam baixos níveis de segurança hídrica e que a expansão termelétrica prevista é significativa. É importante observar a disponibilidade hídrica na região de implantação do empreendimento e que as tecnologias de baixo consumo de água continuem a ser desenvolvidas e implementadas, além da utilização de fontes alternativas de água, como água do mar, reuso e outras medidas citadas anteriormente.

Outro desafio para as UTEs não renováveis diz respeito à **aceitação da sociedade**. Para as usinas a combustíveis fósseis, em função do contexto atual de discussão de mudanças climáticas e transição energética, há questionamentos quanto à geração de energia por meio de fontes emissoras de GEE. Para a fonte nuclear, os questionamentos estão relacionados ao risco percebido com relação à fonte. Sendo assim, estratégias de comunicação para informar a sociedade sobre seus benefícios socioambientais e das medidas de mitigação dos riscos podem favorecer a sua aceitação.

Por fim, para as termonucleares, ainda existe o desafio da **destinação do material radioativos**. Sobre o gerenciamento de rejeitos radioativos, a CNEN tem a incumbência legal de construir o Repositório Nacional de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN). Sobre os rejeitos de alta atividade, combustíveis irradiados, a Eletronuclear construiu, no complexo nuclear de Angra, uma Unidade de Armazenamento a Seco (UAS) para receber parte do combustível irradiado que estava armazenado nas piscinas das usinas de Angra I e II. A solução já é adotada como sistema de armazenamento temporário em vários países. Segundo a Eletronuclear, a UAS tem capacidade para armazenamento temporário do combustível irradiado das usinas de Angra I e Angra II até 2045. Com relação ao longo prazo, Finlândia e Suécia devem ser os primeiros países a implementar uma solução definitiva para o armazenamento de rejeitos radioativos, por meio de depósitos geológicos profundos. A política brasileira ainda é de postergar a decisão sobre o reprocessamento, mantendo-os em estoque (CNEN, 2024). Sendo assim, é importante comunicar à sociedade sobre o andamento do processo de implantação do RBMN e das perspectivas sobre a disposição final ou reprocessamento do combustível irradiado.

O Quadro 10 resume os principais desafios relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 10 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Redução das emissões de GEE para minimizar mudanças climáticas 	- Plano Clima: Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas - Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) - Lei do Combustível do Futuro - Marco legal do Hidrogênio - Programa Gás para Empregar	- O planejamento e execução de projetos devem considerar a adoção de medidas e tecnologias de mitigação das emissões
Redução da demanda de água 		- Atentar sobre a disponibilidade hídrica na região de implantação do empreendimento. - Adotar medidas e tecnologias para a redução do consumo de água.
Aceitação da sociedade		- Implementar estratégias de comunicação para informar a sociedade sobre os benefícios socioambientais e as medidas de mitigação dos riscos.
Disposição final de resíduos radioativos 	- O CNEN tem a incumbência legal de construir o Repositório Nacional de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN). - A política brasileira sobre rejeitos de alta atividade é mantê-los em estoque.	- Informar a sociedade sobre o andamento do processo de implantação do RBMN e das perspectivas da disposição final ou reprocessamento.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão termelétrica de fontes não renováveis

A Lei n. 14.182/2021, que dispõe sobre a desestatização da Eletrobras, estipulou a contratação de UTEs a gás natural com alta inflexibilidade²⁹ em regiões que não contam com malha de gás. A instalação dessas novas usinas termelétricas pode trazer oportunidade de desenvolvimento socioeconômico nessas regiões pela implantação da infraestrutura de transporte e oferta de gás natural.

Adicionalmente, o Programa Gás para Empregar, que busca ampliar disponibilidade de gás natural para os setores produtivos (fertilizantes nitrogenados, petroquímicos e outros), tem potencial para promover a geração de empregos e aumento do PIB nacional, além de segurança energética e alimentar.

Outra oportunidade reside na integração de combustíveis de baixo carbono aos ativos e infraestrutura termelétrica de fontes não renováveis, favorecendo a transição energética justa e inclusiva. Um exemplo é o biometano, que por ser intercambiável ao gás natural, pode ser injetado na infraestrutura de gás e queimado nas turbinas para geração elétrica. Como mencionado anteriormente, a Lei do Combustível do Futuro, o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) representam mecanismos que favorecem uso de combustíveis de baixo carbono.

²⁹ As térmicas flexíveis são usinas com características especiais de partida, parada e rampeamento rápidos, e que são fundamentais para fazerem face à intermitência das renováveis. Já as inflexíveis, em geral, despacham o tempo todo ou em grande parte dele. (PIRES & VIEIRA FILHO, 2020).

A implementação dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa, citados anteriormente, também apresenta oportunidades socioambientais pela arrecadação de recursos e investimento em projetos, como de compensação de emissões de GEE. Ressalta-se que o desenvolvimento de projetos de compensação pode trazer vários co-benefícios além do carbono, tais como aumento da biodiversidade, redução de erosão, manutenção de recursos hídricos, geração de empregos, desenvolvimento da cadeia de bioeconomia, entre outras.

O Quadro 11 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 11 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis

Oportunidades	Conjuntura favorável
Desenvolvimento socioeconômico regional pela ampliação da oferta de gás natural	- A Lei n. 14.182/2021, que dispõe sobre a desestatização da Eletrobras, estipulou a contratação de UTEs a gás natural com alta inflexibilidade em regiões que não contam com malha de gás. - Programa Gás para Empregar, que busca ampliar disponibilidade de gás natural para os setores produtivos.
Favorecer a transição energética com a integração de combustíveis de baixo carbono aos ativos e infraestrutura	- Lei do Combustível do Futuro - Marco legal do Hidrogênio - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten)
Geração de benefícios socioambientais na arrecadação de recursos e investimentos em projetos, como de compensação de emissões de GEE	- Implementação dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

No presente plano são propostos três indicadores socioambientais para representar, ainda que de modo simplificado, as alterações decorrentes da implantação das termelétricas planejadas (Tabela 8).

O primeiro é relativo à média anual das emissões de gases de efeito estufa no Sistema Interligado Nacional no período de 2026-2035. O segundo reflete estimativa de captação e consumo de água em 2035. Já o terceiro indicador se refere aos empregos diretos gerados no pico das obras e durante a operação das usinas. Ressalta-se que os benefícios econômicos e sociais advindos da contratação de mão de obra poderão ser maximizados se forem priorizadas contratações locais ou regionais.

Tabela 8 - Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

Indicadores Ambientais	
Emissões de GEE no SIN (média anual, 2026-2035)	24,9 MtCO ₂ eq
Captação de água em 2035 (bilhões de L/ano) ⁽¹⁾	105
Consumo de água em 2035 (bilhões de L/ano) ⁽¹⁾	82
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos gerados no pico das obras ⁽²⁾	42 mil

Notas: (1) Cálculo com base nos fatores de consumo e captação por tipo de tecnologia e sistema de resfriamento de ANA (2019), considerando: (i) despacho das usinas em 60% do tempo; (ii) exclusão dos projetos que prevêem uso de água salgada e nuclear; e (iii) tecnologia de resfriamento por torres úmidas.

(2) Cálculo dos empregos baseado no somatório das previsões informadas nos estudos ambientais dos empreendimentos contratados complementado por estimativas a partir de valores médios informados no Sistema AEGE por tipo de UTE. (Obs.: O sistema AEGE, da EPE, tem por principal finalidade permitir aos empreendedores cadastrarem seus empreendimentos com vistas a participar dos leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração para o Sistema Interligado Nacional – SIN).

4.4 Termelétricas renováveis

Benefícios das termelétricas renováveis

- As UTEs renováveis contam com ampla **disponibilidade de recursos energéticos** em todas as regiões do país, inclusive próximo aos centros de carga e em sistemas isolados, o que garante **flexibilidade** na sua implantação.
- Permitem o aproveitamento de **resíduos como insumos energéticos**, contribuindo para a destinação adequada desses materiais e mitigando os impactos ambientais de uma disposição inadequada.
- A geração com bagaço de cana **otimiza o uso da infraestrutura existente**, aumenta a eficiência do processo e atua de forma complementar à geração hidrelétrica, especialmente no período seco.
- A variedade de substratos e combustíveis disponíveis confere **versatilidade** às UTEs, permitindo diferentes escalas de projeto e modelos de negócio para geração elétrica e energética.
- Contribuem para a **segurança energética** do sistema por possibilitarem geração contínua e geograficamente distribuída.
- Possuem potencial para **gerar emprego e renda** no interior do país, com destaque para zonas rurais e cadeias produtivas locais.
- Sendo fontes renováveis, apresentam **emissões muito baixas** ou nulas de gases de efeito estufa, favorecendo a transição para uma matriz energética de baixo carbono.

Parque termelétrico renovável atual

Atualmente no Brasil, a capacidade instalada de geração a partir de usinas termelétricas renováveis totaliza 17,4 GW (ANEEL, 2025) e 408 usinas. 71% dessa capacidade utiliza o bagaço de cana-de-açúcar como combustível. Termelétricas a licor negro respondem por 21%. O restante é composto por: UTEs a biomassa florestal (7%), que incluem lenha, resíduos florestais, carvão vegetal e gás de alto forno; UTEs a biogás de resíduos sólidos urbanos (1%); e UTEs que utilizam outros combustíveis renováveis, como resíduos animais e agrícolas (1%).

A capacidade instalada de usinas a biogás é de 192 MW, distribuídos em 12 usinas. Aproximadamente 84% dessa capacidade (10 usinas) advém de resíduos sólidos urbanos (RSU). O restante das UTEs a biogás utiliza resíduos agrícolas.

As UTEs renováveis localizam-se majoritariamente no estado de São Paulo e seu entorno, onde predomina a atividade sucroalcooleira.

Expansão termelétrica renovável nos próximos 10 anos

A expansão total estimada para o horizonte decenal é de **4.388 MW**. Desse total, nos anos de 2026 e 2027, **293 MW já estão contratados** e distribuídos em 9 UTEs novas (258 MW) e uma UTE existente que será ampliada (35 MW). A expansão indicativa, que começa em 2029, é de **4.095 MW, sendo 2.800 MW de UTEs a bagaço de cana**.

Os tipos de combustível utilizado nas UTEs contratadas estão discriminados na Tabela 9.

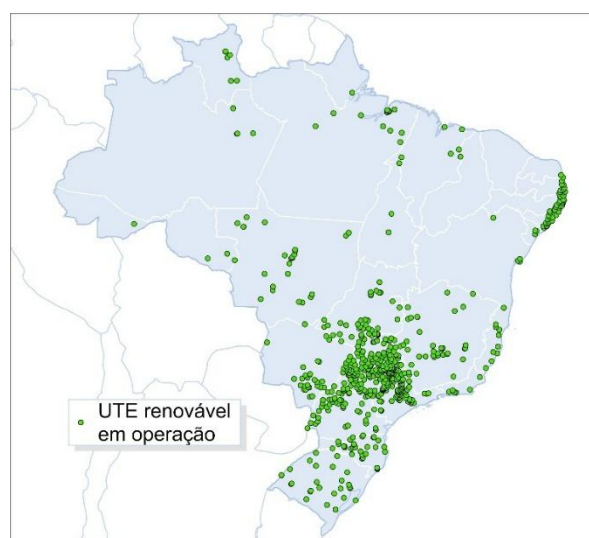


Tabela 9 - UTEs renováveis contratadas (2026-2027) por tipo de combustível e potência

Combustível	Potência (MW)	Nº UTEs	% Potência
Bagaço de cana ¹	146	4	50%
Casca de Arroz	12	1	4%
Cavaco/resíduos florestais	103	3	35%
Óleos vegetais	12	1	4%
Resíduos sólidos urbanos	20	1	7%
Total Geral	293	10	100%

Nota: ¹Uma UTE a bagaço representa ampliação de usina existente (35 MW de potência).

As 10 UTEs contratadas estão distribuídas nas regiões Sudeste: São Paulo (3) e Rio de Janeiro (1), Centro-Oeste: Goiás (1) e Mato Grosso do Sul (1), Sul: Rio Grande do Sul (1) e na região Norte, com 3 usinas em Roraima. A Figura 12 apresenta a localização da expansão.

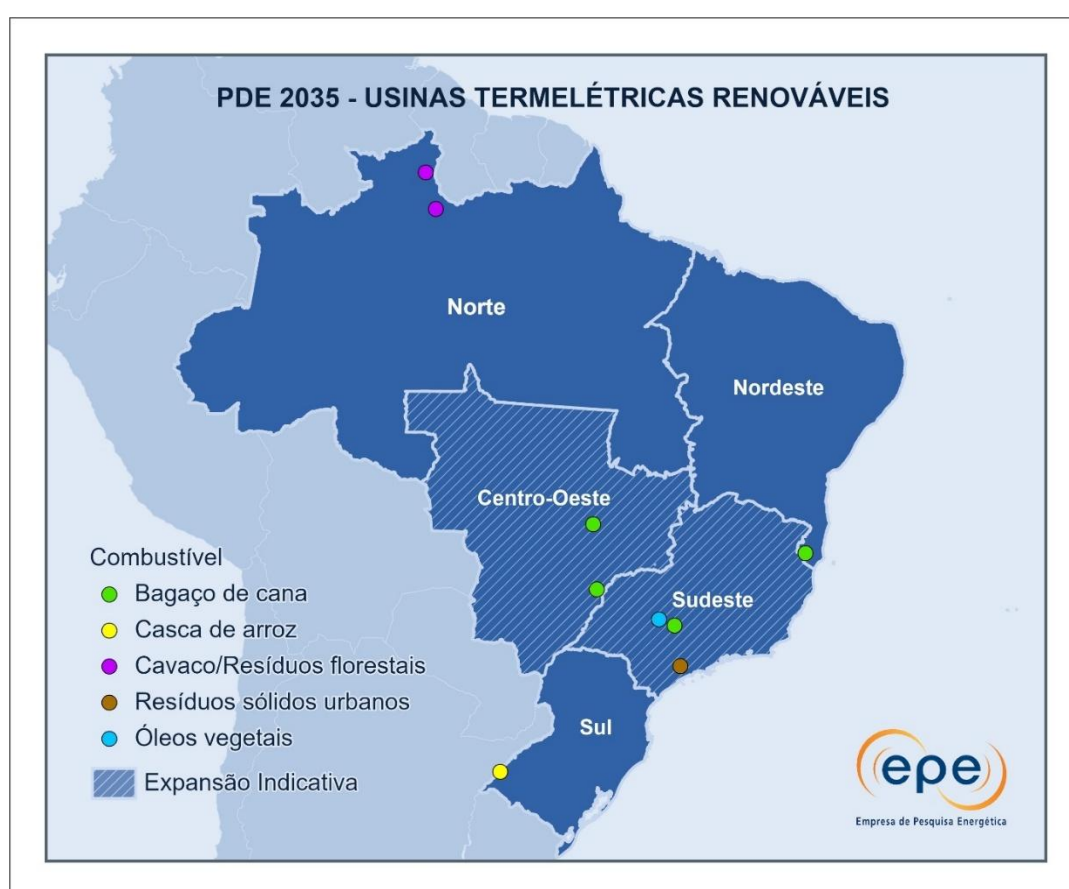


Figura 12 – Localização da expansão termelétrica renovável no PDE 2035

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica renovável

As interferências relativas à expansão de UTEs renováveis foram consideradas inexpressivas devido ao fato delas muitas vezes representarem justamente uma forma de mitigar e evitar possíveis problemas ambientais por conta de resíduos que, na maioria dos casos, seriam descartados de maneira inadequada.

Como o PDE 2035 não identificou a expansão de área para produção da biomassa com fins energéticos, estima-se que não ocorram conflitos pelo uso do solo, o que poderia ser uma interferência socioambiental significativa.

De qualquer forma, mesmo que as interferências não tenham sido consideradas relevantes, é necessário destacar alguns aspectos no contexto da expansão de termelétricas renováveis, tais como a emissão de poluentes atmosféricos, o consumo de água e a geração de resíduos e efluentes.

Sobre a **emissão de poluentes atmosféricos**, principalmente material particulado, este impacto é facilmente mitigado com o uso de equipamentos de controle, de forma a atender à legislação ambiental. Vale ressaltar que as usinas a biomassa normalmente se encontram em áreas rurais, onde geralmente não há problemas relacionados à qualidade do ar.

A **alteração da disponibilidade de água** é um tema geralmente importante para as usinas termelétricas. Dependendo da tecnologia de resfriamento adotada, caso haja consumo de água que impacte na disponibilidade para outros usos, sobretudo na região Sudeste, onde já há grande pressão sobre os recursos hídricos, podem ocorrer conflitos relacionados ao uso da água. Particularmente nas usinas a bagaço de cana, inseridas nas plantas de produção de açúcar e etanol, o consumo de água específico na unidade de cogeração é pequeno comparado ao consumo total da usina. Como a maioria das usinas têm buscado minimizar o consumo de água em seus processos, o quantitativo de recurso hídrico utilizado para geração elétrica a partir do bagaço não tem sido expressivo.

Quanto à **geração de resíduos e efluentes**, é importante destacar que grande parte desses biocombustíveis tem origem residual e seu aproveitamento energético promove melhor gestão de resíduos e efluentes, que são temas críticos no país. É fundamental que os empreendimentos sigam as legislações e normativas para uma adequada gestão durante sua instalação e operação. Dessa forma, as interferências socioambientais mencionadas são consideradas pouco expressivas no contexto regional, o que não significa que não mereçam atenção no nível local.

A Tabela 10 apresenta a síntese da análise socioambiental das termelétricas renováveis do PDE 2035. Como pode ser observado, as interferências dessa fonte foram consideradas inexpressivas no contexto das regiões onde está prevista a expansão.

Tabela 10 - Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas renováveis do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
UTES renováveis	 interferências inexpressivas	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados a termelétricas renováveis

De forma geral, não são observados desafios socioambientais expressivos para o aproveitamento energético de biomassa agrícola e florestal, tampouco para os resíduos dessas atividades. Efeitos das alterações climáticas podem interferir na dinâmica territorial e comercial de produtos agrícolas e, consequentemente, na produção de culturas, afetando a oferta de bioenergéticos e, indiretamente, até de resíduos, como o bagaço de cana. Eventos extremos como chuvas intensas, geadas, ventos, dentre outros podem interferir tanto nos plantios, quanto na própria usina termelétrica, causando danos e/ou redução na eficiência dos equipamentos e infraestruturas associados.

Todavia, na expansão de termelétricas que utilizam matéria-prima dessa natureza, frequentemente, os desafios estão mais relacionados a questões econômicas e logísticas. Nesse contexto, o aproveitamento energético do bagaço de cana é uma exceção, por estar apoiado num ramo industrial consolidado que é o sucroalcooleiro, e não à toa representa a maior parte do montante de energia da expansão das termelétricas renováveis. No entanto, outros resíduos da indústria sucroalcooleira, como a palha, a ponta e a vinhaça, ainda poderiam ser mais bem utilizados para geração de energia.

Diante dos pontos levantados acima, os principais desafios socioambientais para a expansão das termelétricas renováveis estão relacionados a reconhecer os benefícios associados ao aproveitamento dos resíduos e melhorar a **gestão dos resíduos** sólidos urbanos e dos efluentes domésticos.

Reconhecer os benefícios socioambientais e econômicos do aproveitamento de resíduos é o ponto de partida para promover seu uso, incorporando o conceito de economia circular, e tornando os projetos atrativos e viáveis. O aproveitamento energético dos resíduos pode contribuir para a valorização de subprodutos que seriam descartados, podendo gerar impactos ambientais. Melhor gerenciamento ambiental urbano, com foco na coleta e na destinação final adequada dos resíduos favoreceria um aproveitamento energético mais eficiente, tanto por meio da recuperação energética de resíduos (incineração) quanto por meio da produção de biogás a partir de biodigestores utilizando a fração orgânica dos resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei n. 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto n. 10.936/2022) é o principal instrumento para o gerenciamento de RSU e traz como diretriz o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Quanto ao tratamento dos esgotos, observa-se que, em 2022, 52% dos esgotos gerados no país foram tratados (MCID, 2023). Os dados demonstram o expressivo potencial que existe para gerar biogás a partir do lodo de estações de tratamento de esgoto. No documento em revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico³⁰ (Plansab), estão definidas ao menos duas estratégias voltadas para o aproveitamento energético do biogás, além de metas específicas para ampliar o aproveitamento energético do biogás e o tratamento e a recuperação energética dos rejeitos (MDR, 2019).

De forma resumida, pode-se concluir que, para viabilizar o aproveitamento energético de resíduos, há necessidade de superar importantes gargalos de infraestrutura existentes no país e promover uma gestão ambiental adequada, além de maior sensibilização sobre a relevância do tema. Além disso, a expansão energética a partir de resíduos é fortemente condicionada pela efetividade de políticas públicas e de controle. Outro ponto sempre apontado por agentes do setor, principalmente relacionados ao biogás, se refere ao acesso a recursos financeiros, o que pode se configurar como uma das barreiras mais relevantes para a difusão de tecnologias de biogás no país.

O Quadro 12 apresenta os principais desafios relacionados à expansão termelétrica renovável no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 12 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão termelétrica renovável

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Melhorar a gestão dos resíduos	- Política Nacional de Resíduos Sólidos - Política Nacional de Saneamento Básico	- Maior comprometimento público e privado com o saneamento e a gestão de resíduos - Maior sensibilização ambiental sobre a problemática de resíduos - Associar melhor gestão de resíduos à agenda climática - Maior compromisso dos agentes financeiros em facilitar o acesso à crédito
Reconhecer os benefícios do aproveitamento de resíduos	- Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC) - Política Nacional de Educação Ambiental	- Implantação da coleta seletiva e separação da fração orgânica dos resíduos

³⁰ O Plano consiste no planejamento integrado do saneamento básico considerando seus quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, e possui o horizonte de 20 anos (2014 a 2033). Foi aprovado pelo Decreto n° 8.141, de 20 de novembro de 2013, e pela Portaria Interministerial n° 571, de 05 de dezembro de 2013.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão termelétrica renovável

Foram identificadas duas oportunidades socioambientais relacionadas à expansão termelétrica renovável: a geração de energia a partir de RSU, efluentes domésticos, resíduos agropecuários e florestais; e os instrumentos de descarbonização.

A principal oportunidade socioambiental é a **geração de energia a partir de RSU e efluentes domésticos**, visto que seu desenvolvimento proporcionaria significativas melhorias socioambientais. Hoje, em muitas localidades do país, resíduos sólidos urbanos (RSU) e efluentes representam problemas socioambientais críticos. A utilização da fração orgânica dos RSU e demais substratos do setor agrossilvopastoril, para geração de biogás, podem ser consideradas soluções eficientes para transformá-los em recursos energéticos e ajudar na promoção do saneamento no país e na melhor gestão de resíduos.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares³¹ estima que 45% da composição gravimétrica dos RSU sejam de fração orgânica e praticamente toda a fração orgânica é encaminhada para aterros sanitários ou lixões. A fração orgânica dos resíduos sólidos não é considerada rejeito e não deveria ser aterrada. Caso esses resíduos orgânicos fossem destinados aos biodigestores para a produção de biogás, seria possível também reduzir as áreas necessárias para aterros sanitários e ampliar sua vida útil, mitigar as emissões de GEE e reduzir os custos de manutenção de tais unidades (MMA, 2022). Além disso, dependendo do substrato utilizado, haveria ainda a geração do digestato, um rico fertilizante, que poderia ser utilizado no setor agrícola brasileiro, que tem importado quantidades crescentes de fertilizantes (Brasil, 2025).

Atualmente, muitos projetos de geração a biogás em operação no país utiliza o gás metano captado em aterros sanitários para produção de energia. É importante ter projetos dessa natureza em aterros já existentes, porém é necessário estimular rotas tecnológicas levando-se em conta que a disposição em aterro sanitário deve ser a última opção na gestão de resíduos de acordo com a PNRS. Uma destinação mais eficiente permitiria que fossem escolhidas rotas de produção de energia mais adequadas.

Como o Brasil é um país agroexportador, destaca-se também o potencial e os cobenefícios socioambientais do **aproveitamento energético de resíduos agropecuários e florestais**. Há uma diversidade de resíduos agropecuários que poderiam ser direcionados para geração de energia a partir do biogás, por exemplo. Os processos produtivos sempre promoveram a geração de grande quantidade de resíduos, que podem deixar de ser um problema e se tornar uma solução ambiental, social e econômica e ainda gerar energia mais limpa e renovável.

Especificamente na indústria sucroenergética, onde se concentra o maior potencial de geração de biogás no país (EPE, 2018a), a vinhaça é um resíduo importante devido aos grandes volumes gerados e seu manejo adequado evita a contaminação do meio físico. Atualmente, grande parte da vinhaça é usada para fertirrigação. Entretanto, aproveitá-la por meio da biodigestão anaeróbica, para produção de biogás, se apresenta como uma oportunidade ambiental, econômica e social. A utilização do biogás nos processos também reduz a pegada de carbono dos produtos da indústria sucroalcooleira.

Há também um potencial energético significativo a partir de biomassa residual oriunda de florestas, gerada nas atividades de manejo e processamento de madeira. O aproveitamento desse tipo de resíduo pode ser especialmente interessante para a região Amazônica, onde está a maior parte dos sistemas isolados, que são basicamente atendidos por termelétricas a óleo diesel. Segundo a EPE (2018b), nessa região esse potencial atinge 2,5 GW. Além de substituir o combustível fóssil, há possibilidade de agregar valor e promover a atividade de manejo florestal sustentável.

Cabe citar ainda a importância e o ganho socioambiental da produção de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos utilizando biodigestores. Além de diminuir o envio desses componentes para aterros, é gerado o digestato, que é um rico biofertilizante. Seu uso como adubo pode reduzir ainda as emissões associadas à produção de fertilizantes fósseis, que hoje tem uso difundido no meio rural. De acordo com o BNDES (2017), há um déficit estrutural na demanda por macronutrientes no mercado brasileiro

³¹ O Planares foi aprovado pelo Decreto n. 11.043/2022. O Plano representa a estratégia nacional de longo prazo para operacionalizar as disposições legais, princípios, objetivos e diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

decorrente da expressividade do agronegócio e das restrições estruturais da indústria de produção de fertilizantes no país. Nesse sentido, o uso do digestato poderia ajudar a reduzir esse déficit e ainda ser mais uma fonte de receita dos modelos de negócio de produção de biogás a partir do uso de biodigestores.

O panorama de oportunidades para o aproveitamento de resíduos, sejam agrícolas ou urbanos, conta com uma conjuntura que inclui projetos, compromissos, planos e outros dispositivos legais voltados para o assunto. Além da PNRS e seus desdobramentos e do Novo Marco do Saneamento (Lei n. 14.026/2020), vale destacar outros recentes avanços no ambiente institucional.

O Plano ABC (Plano para Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) também incentiva projetos com biogás, mais diretamente por meio de ações relacionadas ao tratamento de dejetos animais. No ano de 2021, foi lançado o Programa ABC+, que estabelece metas de redução de emissões de GEE até 2030. O Programa consiste em uma linha de crédito dentro do Plano ABC com financiamentos via Plano Safra (MAPA, 2022).

Ainda é importante mencionar que o país se comprometeu, em 2021, com o Compromisso Global do Metano liderado pelos Estados Unidos e, com isso, terá que reduzir em 30% suas emissões de metano até 2030, tendo 2020 como linha de base (Global Methane Pledge, 2022). Com isso, esperam-se mais estímulos para projetos voltados para a captação de metano e a produção de biogás.

Como desdobramento do compromisso brasileiro, o Decreto n. 11.003/2022 instituiu a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano, que tem como objetivo incentivar programas e ações para reduzir as emissões de metano brasileiras, fomentar o uso do biogás e biometano como fontes renováveis de energia e combustível e contribuir para o cumprimento dos compromissos climáticos assumidos pelo país.

Recentemente, com o estabelecimento da Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), objetiva-se direcionar esforços do governo e de outros atores para uma matriz energética mais sustentável, com baixa emissão de carbono, contribuindo para a neutralidade de emissões líquidas de gases de efeito estufa no país. O biogás e o biometano são mencionados como setores estratégicos no Paten.

Em outra escala, destaca-se o Projeto GEF Biogás Brasil, que foi liderado pelo MCTI e teve o MME como parte de Comitê Diretor do Projeto. O Projeto, chamado Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira, busca promover a energia de biogás e o fortalecimento da cadeia nacional de valor da tecnologia de biogás no Brasil (GEF Biogás Brasil, 2024).

Em relação à segunda oportunidade, dada a sua natureza, os projetos de termelétricas renováveis são fortes candidatos para a emissão de créditos de carbono a partir de **instrumentos de descarbonização**. Nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas serão importantes para direcionar a implantação de medidas de redução de emissões de GEE.

O setor de energia elaborou o seu plano de mitigação no âmbito do processo do Plano Clima (2024-2035), instrumento que guiará a política climática brasileira com estratégias nas dimensões de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (MMA, 2024). O Plano Clima foi aprovado no final de 2025 pelo CIM.

A regulamentação de um mercado de carbono também se apresenta como um instrumento importante nessa temática, ao limitar a emissão de GEE³² e promover a comercialização de ativos referentes a emissão, redução de emissão ou remoção de GEE. Nesse contexto, em 2024 foi instituído pela Lei n. 15.042 o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), que ainda conta com desafios para sua implementação e poderá beneficiar termelétricas renováveis.

³² O mercado de carbono limita a emissão GEE ao estabelecer um teto máximo de emissões para empresas e indústrias. Empresas que ultrapassam esse limite devem comprar créditos de carbono de empresas que emitiram menos, incentivando assim a redução de emissões para evitar custos maiores.

Além disso, o uso de bioenergéticos possibilita arranjos tecnológicos interessantes, como os BECCS (Bioenergy with carbon capture and storage), que associam a energia da biomassa à captura e ao armazenamento de carbono. O uso dessa tecnologia pode ser importante para gerar emissões líquidas negativas e contribuir para a trajetória de mitigação brasileira, considerando ainda que o País conta com vantagens competitivas no desenvolvimento de projetos de BECCS.

Há ainda mecanismos de caráter voluntário, como a certificação de energia renovável, por exemplo, os I-RECs (International Renewable Energy Certificate), que são certificados que comprovam que a eletricidade consumida por uma empresa foi gerada a partir de fontes renováveis³³. O processo envolve geradores de energia renovável, que vendem os certificados, e consumidores daquela energia – empresas ou indivíduos que compram os certificados –, que buscam diminuir sua pegada de carbono.

É importante ressaltar o novo contrato para gestão de recursos do Fundo Clima, gerido pelo BDNES. No âmbito desse contrato, o BNDES atua como agente financeiro do fundo, recebendo os recursos transferidos pelo MMA e concedendo financiamentos reembolsáveis para projetos alinhados aos objetivos do fundo. Os contratos podem ser destinados a financiar, entre outros, projetos de energias renováveis e outras ações para uma economia de baixo carbono. Estão previstos investimentos em atividades como coprocessamento e conversão de biomassa e resíduos em energia, dentre outras (MMA, 2024b).

Para finalizar, vale destacar o papel relevante que as UTE renováveis podem desempenhar para uma transição energética justa e inclusiva ao fortalecer a geração de eletricidade descentralizada e a partir de resíduos, especialmente no meio rural, onde resíduos orgânicos são abundantes. Nessa linha, o Instituto Escolhas (2020) defende o biogás como solução energética para a região Amazônica, principalmente para as cidades do interior e para as comunidades isoladas. Além disso, o biogás poderia ser um aliado ao cooperativismo no país, promovendo a melhoria da qualidade da energia em diversas localidades rurais a partir de recursos que, caso não tratados, se tornam custo e passivo ambientais para os produtores rurais (CIBIÓGÁS, 2021).

O Quadro 13 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão termelétrica renovável no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 13 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica renovável

Oportunidades	Conjuntura favorável
Geração de energia a partir de resíduos	- Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Marco do Saneamento Básico – Lei n. 14.026/2020 - Plano ABC - Compromisso Global do Metano - Decreto n. 11.003/2022 - Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano. - Política Nacional de Transição Energética (PNTE) - Plano Nacional de Transição Energética (Plante) - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) - GEF Biogás Brasil

³³ O Instituto Totum é o órgão emissor oficial dos I-RECs no Brasil, credenciado pela I-REC Standard Foundation. O Instituto audita e certifica usinas geradoras de energia renovável, valida e registra os dados na plataforma I-REC e emite os certificados.

Oportunidades	Conjuntura favorável
Instrumentos de descarbonização	- Plano Clima - BECCS - Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) - Certificados de energia renovável (I-REC) - Fundo Clima

Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável

Do ponto de vista socioeconômico, deve-se observar a geração de emprego e renda com crescimento da economia local, especialmente quando os empreendimentos são instalados em regiões pouco desenvolvidas, como no meio rural. Com a expansão prevista no decênio, estima-se a geração de aproximadamente 23.695 empregos diretos na construção de UTEs renováveis. A Tabela 11 apresenta os principais indicadores socioambientais da expansão de termelétricas renováveis.

Tabela 11 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável

Indicadores Socioeconômicos	
Média de empregos diretos gerados na construção por potência (emprego/MW)	5,4
Total de empregos diretos gerados na construção	23.695

Nota: Cálculo dos empregos baseado nas previsões informadas no cadastramento dos empreendimentos participantes dos Leilões de Energia Elétrica do Ambiente de Contratação Regulada – ACR. O conjunto considerado foi dos empreendimentos contratados e da expansão indicativa do horizonte decenal do PDE 2035.

4.5 Eólicas

Benefícios das eólicas

- A energia eólica é **renovável**.
- **Não emite gases poluentes ou de efeito estufa** em seu processo de geração de energia elétrica¹.
- **Permite que os terrenos dos parques eólicos tenham outros usos**, tais como a agricultura e a pecuária.
- Gera **empregos diretos e indiretos**², especialmente durante a construção. A geração de empregos foi 26,8% maior em municípios com empreendimentos eólicos, principalmente nos setores de construção e indústria. O crescimento dos empregos, em termos relativos, foi maior para os de nível médio e superior, o que ilustra a contribuição do setor para a formação de capital humano³.
- Em 2022, a implementação de parques eólicos gerou um aumento de 25% no PIB per capita nos municípios com parques em funcionamento no Brasil, mas o impacto foi maior (cerca de 29%) para municípios da região nordeste.⁴ Além disso, houve um incremento significativo, de cerca de 20%, no IDH-M (entre 2000 e 2010) nos municípios com parques eólicos em relação a municípios sem parques do mesmo estado, ou seja, **as condições de saúde, educação e renda são aprimoradas** na presença dos parques⁵.
- As usinas eólicas, em especial aquelas localizadas na região Nordeste, proporcionam **complementariedade com a geração hidráulica**, devido às condições favoráveis de geração de energia no período considerado seco para o SIN. Sua contribuição para o Subsistema Nordeste é relevante; por exemplo, entre setembro e dezembro de 2024 foi maior que 90% da carga em pelo menos 40% do tempo e maior que 60% pelo menos em cerca de 75% do tempo⁶.

¹ Para o ano de 2024, o montante de emissões evitadas com a geração de energia eólica no Brasil chegou a 40,2 milhões de toneladas de CO₂ (ABEEólica, 2025a).

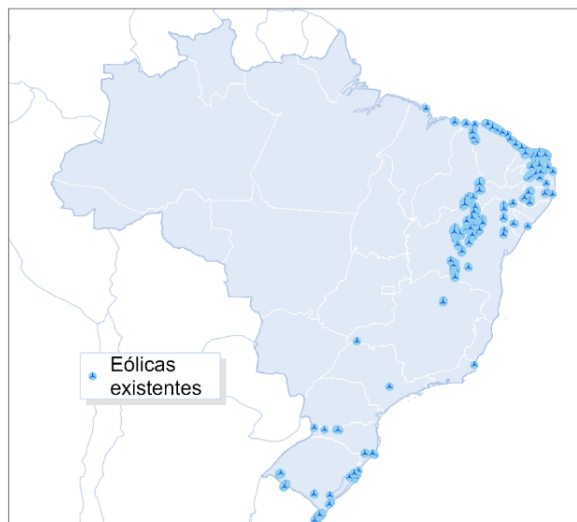
² Os empregos da cadeia eólica estão em sua maioria na região Nordeste e nessa região poderão alcançar, até 2034, 82% da manutenção e 61% da fabricação nacionais. Nota-se um perfil técnico dos empregados da cadeia, com 60% com nível médio de formação, o que demonstra a importância do ensino técnico. As mulheres representam pelo menos 20% dos empregos da cadeia eólica, com participação crescente (Cognitio/GIZ, 2023). Também se observa aumento da massa salarial nos setores de construção, transporte e logística (Rodrigues *et al.*, 2019).

³ Botassio *et al.* (2022) ⁴ Sampaio *et al.* (2023)

⁵ GO Associados (2020). ⁶ ONS (2025).

Parque eólico atual

Trata-se da fonte renovável que mais tem crescido no Brasil, mantendo o patamar de segunda maior fonte geradora de energia na matriz elétrica brasileira (EPE, 2025a). Esse crescimento reflete a participação da fonte em 25 leilões de energia entre os anos de 2009 e 2024. Atualmente o país dispõe de 1.114 parques eólicos em operação, distribuídos em 144 municípios, localizados predominantemente nas regiões Nordeste (87%) e Sul (11%) do país, totalizando **33.364 MW de potência instalada** (ANEEL, 2025).



Expansão eólica nos próximos 10 anos

A expansão eólica no PDE 2035 é relativa somente a projetos *onshore* e prevê-se a **inserção de 14.487 MW** adicionais de potência, havendo expansão contratada até o ano de 2029. Para o primeiro ciclo do horizonte decenal, está prevista a instalação de **16 novos parques eólicos**, que adicionarão 887 MW ao sistema. Destaca-se que todos os parques previstos se localizam na região Nordeste. Entre 2028 e 2035 está prevista ainda **expansão indicativa de 13.600 MW também no subsistema Nordeste**. A Figura 13 apresenta a localização dos parques eólicos contratados no horizonte decenal, assim como a representação da área com previsão da expansão indicativa.



Figura 13 – Localização da expansão eólica no PDE 2035

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica

As principais questões ambientais associadas a projetos eólicos estão normatizadas pela Resolução Conama n. 462/2014, que estabelece a realização de EIA/RIMA para parques eólicos localizados em ambientes sensíveis³⁴, de modo a orientar, de forma mais robusta, o dimensionamento dos impactos e, consequentemente, a proposição de medidas de controle, mitigação e compensação. A Resolução estabelece também que, para parques situados a pequena distância de residências isoladas ou comunidades, deve ser elaborado estudo de ruído. Portanto, recomenda-se que essa resolução seja continuamente observada.

Apresentam-se a seguir as principais interferências associadas à fonte eólica e as medidas mitigadoras adotadas. O levantamento das medidas mitigadoras praticadas no Brasil foi realizado com base nas condicionantes de licenças ambientais emitidas por órgãos ambientais estaduais da região Nordeste para parques eólicos cadastrados nos leilões de energia em 2019, 2020, 2021 e 2022, uma vez

³⁴ Nesses casos o licenciamento não poderá seguir o rito simplificado previsto na Resolução.

que os 16 parques previstos no horizonte decenal são para essa região, onde já está localizada a maioria dos parques existentes.

As interferências sobre aves e morcegos estão entre as principais preocupações ambientais associadas a parques eólicos. O ICMBio (2020), em suas orientações para avaliação e monitoramento de impactos de eólicas sobre esses grupos de organismos, recomendou evitar: (i) áreas de alta relevância ecológica (por exemplo, áreas úmidas e habitats críticos para espécies ameaçadas), (ii) elementos naturais da paisagem que potencializem impactos e risco de colisão (por exemplo, cumeadas e linhas de costa) e (iii) principais rotas migratórias de aves ou morcegos. O Instituto recomenda ainda o *micrositing* (posicionamento estratégico) de aerogeradores, vias de acesso e outros componentes do empreendimento, para evitar sítios sensíveis como abrigos, ninhais e dormitórios.

Já o Relatório de Áreas de Concentração de Aves Migratórias no Brasil (ICMBIO, 2022) descreve os impactos diretos e indiretos sobre essas espécies e lista uma série de medidas mitigadoras para cada um desses impactos e por fase do empreendimento, reforçando que o planejamento da locação do parque e da disposição dos aerogeradores é fundamental para reduzi-los, especialmente com o aumento das dimensões dos aerogeradores. Alguns estudos testaram a pintura diferenciada de pás como medida mitigadora e encontraram redução na ocorrência de colisões (MCISAAC, 2001; MAY et al., 2020), no entanto, há necessidade de realização de mais testes para demonstrar sua robustez. Os padrões de risco de colisão de aves com aerogeradores resultam de uma interação entre as características das espécies (THAXTER et al., 2017), do local e do parque eólico (GARVIN et al., 2024) e, por isso, a melhor opção para mitigação deve envolver mais de uma medida (MARQUES et al., 2014). Ou seja, são necessários estudos locais para entender melhor os padrões e estabelecer medidas mitigatórias mais eficazes. Por exemplo, Falavigna et al. (2017) propuseram um índice de risco de colisão para a assembleia de aves que ocorrem na região de um complexo eólico no Sul do Brasil.

A incidência de morte de morcegos por barotrauma³⁵ ou colisão com as pás também é um impacto comumente relatado em parques eólicos, particularmente sobre as espécies migratórias e insetívoras, que capturam seu alimento durante o voo (BARROS, 2019; AGUDELO et al., 2021). O desligamento das turbinas sob demanda (VOIGT et al., 2022; WHITBY et al., 2024), bem como evitar o funcionamento das turbinas a baixa velocidade (CONSERVATION EVIDENCE, 2020) são medidas mitigadoras que já se mostraram eficazes. No Brasil, têm sido utilizados equipamentos acústicos e sensores de ultrassom para detecção da presença de morcegos no entorno dos aerogeradores e subsídio a medidas mitigadoras (VESTAS, 2022). Voigt et al. (2024) ressaltaram a importância de combinar várias ações e atores em prol da efetividade da mitigação de impactos de eólicas sobre morcegos: adotar medidas mitigadoras e compensatórias, guias de boas práticas, regulamentação governamental, orientações por instituições internacionais de conservação e referências de conformidade por instituições financeiras.

Devido à **interferência na fauna**, o tema **Biodiversidade** foi destacado para a expansão eólica na região Nordeste. Pode-se observar que os órgãos ambientais brasileiros, em geral, solicitam que sejam realizados programas de monitoramento e resgate de fauna durante a operação dos parques eólicos. Alguns órgãos solicitam ainda que sejam feitos levantamentos de espécies previamente à instalação, além de indicar maior distanciamento entre os aerogeradores e destes em relação aos locais de relevância para a fauna.

A supressão de vegetação nativa é uma questão importante quando se trata de projetos eólicos, especialmente por conta da necessidade de abertura de estradas para acesso aos parques, assim como para a construção de vias de acesso entre os aerogeradores. Na região Nordeste, esta questão se torna ainda mais delicada devido à quantidade de parques eólicos e suas interferências diretas sobre as diferentes fisionomias vegetais encontradas na região. As condicionantes das licenças ambientais frequentemente exigem o resgate de flora, o controle do desmatamento durante a instalação (buscando respeitar as áreas de preservação permanente) e a condução de programas de recuperação de áreas

³⁵ Trauma interno devido à alteração de pressão causada pela rotação das lâminas dos aerogeradores.

degradadas e de reposição florestal. Nas edições 2024 e 2025 do Brazil Windpower, foram apresentadas ações voluntárias desenvolvidas por empreendedores na região Nordeste que visaram à restauração socioecológica. Foram promovidas práticas direcionadas a recuperar o ambiente e, ao mesmo tempo, fortalecer as comunidades locais, por meio da sua participação na produção e plantio de mudas. A perda de habitat para espécies da fauna com a supressão da vegetação é abordada pelas condicionantes de licenças com propostas de planos de conservação direcionados a espécies raras, endêmicas, ameaçadas ou de interesse cultural (como *Zenaida auriculata*, avoante, no Nordeste).

Observa-se que a expansão eólica ocorrerá em locais predominantemente formados por vegetação xerófila típica da Caatinga, bioma rico em biodiversidade e ameaçado pelo desmatamento (MMA, 2024). Como parte dos parques eólicos existentes se sobrepõem a Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (APCBs) na Caatinga – de muito alta e extremamente alta prioridades de ação (NERI *et al.* 2019) – deve-se considerar essas áreas na alocação dos aerogeradores dos parques planejados, de forma a minimizar os efeitos cumulativos. Também em relação aos impactos de eólicas sobre a biodiversidade desse bioma, o Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga (ICMBio, 2025) possui ações que buscam indicar áreas que devem ser evitadas para implantação de empreendimentos eólicos e de linhas de transmissão de energia elétrica, com vistas à conservação das aves, em especial da arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*), espécie criticamente ameaçada de extinção.

Onças também sofrem interferência de parques eólicos, com alterações nas suas áreas e condições de vida causadas pela perda e fragmentação de hábitat (diminuição das fontes de água), pelo efeito barreira ocasionado pelos aerogeradores (aumento do gasto energético, num caminho mais longo para contornar o parque) e por distúrbios durante a construção (afugentadas para áreas com gado, são mortas por pecuaristas) (ESTEVEZ, 2024). Portanto, também destaca-se a interferência **perda e alteração de hábitat**.

O guia para desenvolvedores de projetos eólicos e solares da União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (BENNUN *et. al.*, 2021) propôs medidas mitigadoras de impactos sobre a biodiversidade para as fases de projeto (layout do parque), construção, operação e descomissionamento, indicando que a prevenção da instalação em locais de alta sensibilidade deve ser guiada por um planejamento territorial que, por sua vez, pode ser informado por um processo de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE). De maneira geral, a escolha da locação do parque e de seus componentes (turbinas, acessos etc.) foi indicada como medida mais efetiva na mitigação de impactos sobre a biodiversidade. De fato, na hierarquia da mitigação, as medidas preventivas são as mais eficazes. Segundo Sáanchez (2020), “Evitar impactos requer adaptar o projeto às condições do ambiente, ao invés de adaptar o ambiente às necessidades do projeto”.

Impactos sobre a paisagem são comumente descritos nos estudos ambientais de empreendimentos eólicos; no entanto, encontram-se diferentes percepções quanto à sua natureza (positiva ou negativa) (ESPÉCIE *et al.*, 2018). Condicionantes associadas à mitigação desse impacto foram pouco frequentes nas licenças pesquisadas. Nos casos verificados, foi estabelecida vedação de instalação dos aerogeradores e demais obras de infraestrutura, sobre dunas, em banhados, nas proximidades de praias e em outras áreas consideradas de interesse. O **impacto visual** sobre o tema **Paisagem** foi considerado relevante para o Nordeste numa perspectiva de cumulatividade com os parques existentes.

Nos últimos anos, vêm sendo levantadas preocupações com as interferências da implantação dos empreendimentos eólicos nos **modos de vida de comunidades locais**, especialmente as comunidades integrantes de grupos sociais vulnerabilizados, como povos indígenas, quilombolas e povos e comunidades tradicionais. Dentre as situações que merecem destaque está a do impedimento do acesso e uso de áreas que, antes da implantação dos parques, eram utilizadas pelas comunidades para atividades econômicas, sociais e culturais.

No interior do Nordeste já havia conflitos antes da chegada dos parques eólicos, sobretudo com relação à disputa por terras e regularização fundiária. Com a implantação de parques eólicos em terras devolutas do norte da Bahia, houve registro do surgimento de novos conflitos por terra, uma vez que algumas áreas passaram a ser ocupadas e cercadas, em alguns casos, por grileiros visando ao seu posterior arrendamento (BASTOS, 2017). Tal ocorrência tem causado o impedimento do acesso dos moradores da

região às áreas antes utilizadas para a atividade agropastoril, coleta de frutos e lenha, além do acesso à água. Conforme o Relatório de Conflitos Socioambientais e Violações de Direitos Humanos em Comunidades Tradicionais Pesqueiras no Brasil (CPP, 2024), no Rio Grande do Norte, as comunidades passam, por vezes, por situações de ameaças e problemas psicológicos em decorrência dos conflitos e restrições de uso dos territórios a partir de empreendimentos não somente eólicos, mas também turísticos e de especulação imobiliária. Na Paraíba, a mesma publicação identificou conflitos relativos à construção de portos e indústria naval, petrolífera e petroquímica e a privatização de áreas e territórios. Além desses, na Bahia também se observam conflitos relacionados à mineração.

Cabe destacar que, além dos passivos socioambientais já sentidos pelas comunidades, observa-se insuficiência no acesso a informações qualificadas sobre a fonte eólica e uma variedade de problemas no licenciamento ambiental estadual, o que aumenta expectativas negativas em torno dos empreendimentos e do planejamento energético. Portanto, uma vez que os conflitos sociais relacionados à fonte eólica são potencializados por outros conflitos pré-existentes e que há falta de acesso a informação qualificada, a gestão de conflitos e as estratégias de comunicação requerem atenção tanto do poder público quanto da iniciativa privada.

Brannstrom *et al.* (2017) alertam que impactos diretos e de restrição de acesso a ambientes ou recursos naturais utilizados por comunidades locais tendem a criar conflitos que podem se transformar em desafio político mais amplo para o desenvolvimento contínuo da energia eólica. Dentre os 16 projetos eólicos que fazem parte da expansão contratada no PDE 2035, a maior parte será instalada em municípios do interior do Rio Grande do Norte (7 parques) e da Paraíba (5 parques). Além desses, na Bahia foi contratado um parque eólico e três parques terão parte dos aerogeradores instalados no estado da Paraíba e outra no estado do Rio Grande do Norte. Esses estados já possuem parques eólicos em operação, alguns deles em locais onde já houve registro de conflitos como os citados nos parágrafos anteriores.

Devido a possíveis interferências na dinâmica territorial e nos modos de vida de populações locais, o tema **Organização Territorial** também foi considerado relevante para a expansão eólica neste ciclo, para a região Nordeste. Para mitigação dos impactos nos aspectos socioeconômicos, as condicionantes de licença prévia no Nordeste exigem a execução de vários programas, como os Programas de Comunicação Social e de Educação Ambiental. Adicionalmente, são solicitadas ações de capacitação de mão-de-obra local, a garantia de acesso a locais relevantes para as comunidades, além de apoio a arranjos produtivos locais e parcerias público-privadas que visem à preparação da infraestrutura social dos municípios para lidar com a chegada dos novos projetos. Outras ações de responsabilidade social também são desenvolvidas por iniciativa das empresas. No Brazil Windpower 2025, foram apresentados projetos sociais adequados à realidade local, como o incentivo ao empreendedorismo (boleiras, plantação de batata, rendeiras, dentre outras), fornecimento de água potável (dessalinização) e a implantação de escolas de futebol e de música, além do acompanhamento da efetividade dos projetos por meio do monitoramento de indicadores.

Durante o Brazil Windpower 2024 (Arena O&M), foram apresentados aprimoramentos nos processos de licenciamento ambiental dos estados: (i) Pernambuco estabeleceu enquadramento dos empreendimentos e determinou que a distância mínima para residências deverá ser definida pelos estudos de ruído e sombreamento intermitente (ver discussão a seguir); (ii) a Bahia criou comissão de acompanhamento dos empreendimentos, para promover o diálogo mais efetivo com as comunidades; e (iii) a Paraíba está trabalhando para instituir compensação socioambiental, revisando o *checklist* dos estudos necessários para o licenciamento e comparando com outros estados. Já no Brazil Windpower 2025, foram apresentados aprimoramentos adicionais: (iv) a Bahia tem evoluído na integração das diferentes políticas ambientais estaduais; (v) o Rio Grande do Norte realizou recentemente o primeiro concurso público para o órgão ambiental; e (vi) o Rio Grande do Sul afirmou que investe em processos bem instruídos e transparentes e em plano de carreira para os profissionais do órgão, o que, aliados a uma legislação clara e zoneamento consolidado conferem robustez às licenças emitidas.

A geração de ruído (durante as obras e na operação) e o sombreamento intermitente (também conhecido como efeito estroboscópico) são interferências abordadas por alguns órgãos ambientais por meio

da solicitação de distanciamento entre os aerogeradores e residências ou de edificações de permanência prolongada (unidades de saúde e escolas) e de programas de controle e monitoramento de ruído. A poluição sonora continua sendo apontada como um dos impactos locais dessa tipologia de empreendimento (ACTIONAID et al, 2024), apesar da evolução observada na tecnologia e *design* dos motores ao longo do tempo (DESHMUKH et al, 2019). Com o atendimento à Resolução Conama n. 462/2014, tende-se a evitar ou minimizar essa interferência, posto que essa resolução estabelece e detalha os índices de ruído para empreendimentos instalados a menos de 400 metros de distância de residências. Ainda assim, o setor deve continuar buscando novas estratégias para a mitigação desse impacto, visando estabelecer o conforto acústico das comunidades localizadas no entorno de parques eólicos, já que quanto maior a turbina, mais distantes elas devem estar das residências (RODRIGUEZ, 2019). Na edição de 2024 do Brazil Windpower, uma empresa apresentou sua experiência de reforma e reconstrução de residências nas proximidades de parques eólicos em Caetés/PE. As melhorias visavam conforto acústico e térmico e foram implementadas em resposta a reclamações de exposição a ruído e distúrbios do sono, em acordo com o Ministério Público, a Defensoria Pública e o órgão licenciador estadual (CPRH). Já na edição de 2025 do Brazil Windpower, outras duas empresas apresentaram ações de mitigação à poluição sonora. Uma delas, com base em mapas de ruído, alterou o layout do projeto em cinco versões, reduzindo o número de famílias impactadas de mais de 200 para 20. Outra empresa realizou diagnóstico das famílias do entorno para subsidiar a relocação por motivo de ruído e segurança, e procedeu à relocação e indenização de forma assistida, implementando programas sociais, como quintais produtivos, construção de banheiros e cisternas, além de apoio na obtenção de documentos pessoais.

Visando ao contínuo aprimoramento tecnológico, foi instituída a Comissão de Estudo Especial de Energia Eólica da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que inclui a normalização de sistemas de controle e segurança e aspectos ambientais (ABNT, 2024). Durante o Brazil Windpower 2024, membro da Comissão mencionou análises que estão sendo realizadas para subsidiar ações de mitigação do ruído, a saber: (i) estudo sobre as características dos diferentes comprimentos de onda sonora produzidos pelas turbinas; e (ii) avaliação da eventual adoção de normas IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional). No Brazil Windpower 2025, representante da ABNT mencionou que em breve uma nova normativa sobre o assunto será colocada em consulta pública.

Um estudo de revisão recente (MCKENNA et al, 2025) confirma as tendências observadas sobre as principais interferências socioambientais associadas a parques eólicos e as respectivas medidas mitigadoras. Os principais impactos sobre a biodiversidade levantados foram colisões de aves e morcegos e alteração de habitat de mamíferos terrestres e as medidas foram o desligamento sob demanda, a gestão da velocidade de desligamento e a pintura diferenciada das pás. Dentre os impactos socioeconômicos, foram destacados aqueles relacionados a questões fundiárias³⁶, impactos negativos ou positivos no turismo, interferência na paisagem, ruído e sombreamento intermitente. Entre as medidas mitigadoras, estão a demarcação de terras tradicionais, a criação de cobenefícios e o estabelecimento de processos participativos. Para todos esses impactos socioambientais foi destacado o planejamento espacial como importante forma de mitigação.

De acordo com a análise apresentada, três temas socioambientais foram considerados relevantes no contexto da expansão das eólicas neste PDE 2035, a saber: **biodiversidade, organização territorial e paisagem**. Esses temas estão sintetizados na Tabela 12, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE.

³⁶ Os autores citam, em nível internacional (o que não exclui o Brasil), a apropriação privada de terras públicas para garantir o acesso à produção de energia e, particularmente no caso brasileiro, questões relacionadas ao arrendamento de terras historicamente ocupadas por populações tradicionais.

Tabela 12 - Síntese da análise socioambiental das usinas eólicas do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Eólica	não há projetos planejados	 biodiversidade  org. territorial  paisagem	não há projetos planejados	não há projetos planejados	não há projetos planejados

O Quadro 14 resume as principais interferências relacionadas à expansão eólica no PDE 2035, os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, a justificativa pela inserção da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas. Para esta fonte, as medidas mitigadoras listadas foram baseadas nas condicionantes de licenças ambientais emitidas para parques eólicos cadastrados nos leilões de energia realizados em 2019, 2020, 2021 e 2022.

Quadro 14 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Interferência na fauna, perda e alteração de habitat	biodiversidade 	NE: interferência sobre a fauna e vegetação nativa	- Programas de Monitoramento - Programas de Recuperação de Áreas Degradadas e de Reposição Florestal
Impacto na paisagem	paisagem 	NE: interferência cumulativa com os projetos existentes	- Conservação de áreas de interesse
Alteração do modo de vida das comunidades locais	organização territorial 	NE: restrição de acesso a ambientes ou a recursos naturais. Conflitos com a comunidade local	- Comunicação social e educação ambiental - Manutenção de acessos pré-existentes - Programas socioambientais - Critérios para distanciamento dos empreendimentos de residências - Melhorias nas residências visando ao conforto acústico

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica

A Nota Técnica Análise Socioambiental das Fontes Energéticas do PDE 2034 (EPE, 2024) apresentou como um dos desafios à fonte eólica **compatibilizar a geração de energia com a conservação da biodiversidade**. Há preocupação com a conservação do bioma Caatinga (OVERBECK *et al.*, 2015; TEIXEIRA *et al.*, 2021) e com efeitos cumulativos sobre a fauna (SANTOS e MILLER, 2018). É recomendável aprimorar os estudos no âmbito do licenciamento para que não se negligencie o atributo “cumulatividade” na avaliação de impacto ambiental (ESPÉCIE *et al.*, 2018) e a elaboração de estudos regionais que avaliem as eventuais cumulatividades e sinergias entre os projetos.

Dentre as estratégias adotadas internacionalmente para evitar colisões de aves com aerogeradores, têm-se o mapeamento de sensibilidades para apoiar a alocação de novos parques e a mitigação de impactos dos parques existentes (AVISTEP, 2022; GAULD *et al.*, 2022); além da instalação de sensores óticos (BIOSECO, 2025) ou de radar para rastreamento de bandos de aves migratórias com paradas programadas dos aerogeradores (STRIX, 2022; IDENTIFLIGHT, 2024). Também no contexto internacional, existem iniciativas para disponibilização de bases de referências bibliográficas, discussões, rede de colaboração entre especialistas e metanálises sobre efeitos ambientais de eólicas (WREN, 2025). No

contexto nacional, observam-se esforços dos órgãos ambientais para otimizar o processo de licenciamento ambiental (AGUIAR, 2022; WANDERLEY, 2023), especificar procedimentos no âmbito do licenciamento ambiental de projetos eólicos (PERNAMBUCO, 2024) e aprimorar suas práticas de gestão ambiental (SOARES, 2023).

A necessidade de **aprimoramento do diálogo com a sociedade e gestão de conflitos** pode ser considerada outro desafio que se impõe ao setor. O item relativo à fonte eólica da Nota Técnica do PDE 2034 mencionou reportagens e relatórios dos últimos três anos que trouxeram à tona conflitos entre empreendimentos eólicos e comunidades locais, além de propostas para mitigá-los. Esses conflitos têm continuado e, em algumas regiões do País, movimentos sociais contrários à fonte reforçam impactos e expectativas negativas, principalmente de comunidades próximas a parques eólicos.

Pode ser destacado o relatório Salvaguardas Socioambientais para a Energia Renovável, elaborado por comunidades afetadas por empreendimentos eólicos e linhas de transmissão da região Nordeste, suas assessorias e pesquisadores do tema (ACTIONAID et al. 2024). As salvaguardas refletem demandas das comunidades locais e propostas para soluções de problemas vivenciados: ordenamento territorial; informação, comunicação e participação das comunidades em todas as fases dos projetos; insatisfação com o licenciamento ambiental; preocupação com impactos ambientais e medidas mitigadoras; contratos de arrendamento mais justos; conformidade socioambiental dos projetos como condição para recebimento de outorgas pela Aneel; e prevenção e tratamento de casos de assédio e violência.

Outro documento que traz as preocupações das comunidades tradicionais com relação aos processos de implementação da fonte eólica no país é o “Conflitos Socioambientais e Violações de Direitos Humanos em Comunidades Tradicionais Pesqueiras no Brasil”, publicado em 2024 pelo Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras – CPP. Segundo esse relatório, 10,2% dos conflitos com as comunidades pesqueiras no País são oriundos de projetos de usinas eólicas. Além disso, a interferência nos modos de vida de comunidades quilombolas e demais comunidades tradicionais exacerba os conflitos. Somada às restrições de acesso a áreas utilizadas pelas comunidades e impactos em suas atividades econômicas e sociais, a falta de infraestrutura de energia em suas localidades resulta em percepções negativas pelas comunidades (CPP, 2024). Por vezes, algumas comunidades são contestadas judicialmente em seus direitos de posse à terra, já que muitos não possuem documentos oficiais, apesar de lá habitarem há gerações.

Além do CPP, o Movimento dos Atingidos pelas Renováveis – MAR, criado em 2023, também pondera questões que evidenciam as preocupações com os efeitos da energia eólica sobre as populações locais. Recentemente foi realizado o 1º Encontro do Movimento dos Atingidos pelas Renováveis, em Lagoa Seca, na Paraíba, que contou com a presença de representantes de comunidades tradicionais – quilombolas, indígenas, pescadoras e pescadores artesanais, extrativistas – e organizações sociais, pesquisadores, sindicatos e pastorais dos nove estados do Nordeste (BRASIL DE FATO, 2025). O objetivo do encontro foi “denunciar as violações causadas pelo atual modelo de expansão das energias renováveis, que impactam a vida nas comunidades, provocando degradação ambiental, doenças causadas pelo ruído das torres eólicas – como a chamada síndrome da turbina eólica – e até a saída das pessoas dos territórios.” A pauta do MAR demanda que a política energética nacional seja inclusiva, “respeitando o meio ambiente e as pessoas que vivem nos territórios”. Um dos entendimentos do movimento é o de que as energias renováveis, apesar de serem conhecidas como energia limpa, trazem impactos socioambientais que não devem ser desconsiderados e carecem de uma ampla estratégia de participação social desde as etapas de planejamento dos projetos.

Em resposta às demandas da sociedade por uma melhor comunicação com o poder público sobre impactos e conflitos associados aos empreendimentos de energia renovável no Nordeste, o Governo Federal estabeleceu Mesa de Diálogo e promoveu discussões e oficinas interinstitucionais em busca de aprimoramentos nas políticas públicas.

O setor eólico, por sua vez, lançou seu Guia de Boas Práticas Socioambientais para o Setor Eólico (GAJA e ABEEÓLICA 2024). O guia parte de algumas premissas para indicar as recomendações para cada questão levantada, a saber: i. para boas práticas sociais: mapeamento de oportunidades e fragilidades, melhores fluxos e ferramentas de comunicação social e investimento social privado; ii. para boas práticas

ambientais: aplicação da hierarquia de mitigação de impactos (prevenção, mitigação e compensação); e iii. para boas práticas para processos fundiários: realizar diagnóstico da situação fundiária do território de implantação de projeto eólico e boa fé no processo de contratação. As recomendações estão organizadas por fase dos projetos (desenvolvimento, implantação, operação e descomissionamento).

Ao observar as boas práticas indicadas, conclui-se que, caso sejam disseminadas entre as empresas, parte das demandas das comunidades locais estarão atendidas, especialmente em relação a: informação, comunicação e participação das comunidades em todas as fases dos projetos, mitigação de impactos ambientais e contratos pelo uso da terra mais justos.

Além das iniciativas na escala de projeto, a elaboração de estudos estratégicos em escala regional e iniciativas coordenadas entre empreendedores que atuem na mesma região podem otimizar os processos de diálogo com as comunidades locais, geralmente pulverizados no âmbito de cada empreendimento.

Segundo o Global Wind Report (GWEC, 2025), dentre os cinco desafios que se impõem à energia eólica está “aceitação social e desinformação”. A aceitação social, segundo o relatório, é frequentemente moldada por uma combinação de preocupações reais sobre uso da terra, impactos ambientais, engajamento, envolvimento e benefícios para a comunidade, bem como desinformação, que distorce fatos e pode levar à oposição direta. Para combater a desinformação, o GWEC recomenda esforços e estratégias diversificadas, como: engajamento proativo das comunidades, fortalecimento da transparência no planejamento do projeto, contraposição à desinformação com fatos e formação de coalisões contra a desinformação (colaboração com líderes locais, jornalistas e organizações não governamentais).

Visando investigar fatores que influenciam a aceitação social de parques eólicos, foi realizado na Irlanda um estudo no qual foram feitas e analisadas entrevistas com 1.109 moradores que vivem a menos de 10 km de parques eólicos naquele país. Os resultados da pesquisa e recomendações concernentes foram consolidados num artigo (LE MAITRE et al., 2024) que destaca que a aceitação a longo prazo depende da confiança nas informações fornecidas pelo desenvolvedor no momento em que um novo parque eólico é proposto. Os desenvolvedores devem compreender e abordar as preocupações dos moradores locais como ponto de partida nos procedimentos de desenvolvimento do parque, tendo em vista que o primeiro contato com a comunidade local pode determinar atitudes duradouras em relação ao parque eólico. Segundo o artigo, são necessários esforços para construir relações de trabalho entre os desenvolvedores e as partes interessadas locais muitas vezes ao longo de um período mais longo e além de campanhas pontuais de compensação e comunicação.

A aceitação social dos parques eólicos no Brasil tem sido maior quando os impactos negativos não recaem sobre os modos de vida das comunidades e quando estas percebem benefícios econômicos relacionados às atividades de subsistência (como pesca e agricultura), obtêm segurança da posse da terra e identificam que há transparência no processo de implantação do empreendimento (BRANNSTROM et al, 2022).

No que diz respeito ao tema da Consulta Livre, Prévia e Informada – CLPI nos moldes da Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho – OIT, algumas iniciativas buscam determinar procedimentos para sua operacionalização. Esse é o caso do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (Idema/RN), que criou instrumentos e equipes específicas para o tratamento do tema no licenciamento ambiental de escopo estadual (IDEMA, 2024a). O órgão publicou, inclusive, cartilha com orientações para a realização da CLPI (IDEMA, 2024b). Apesar dessas iniciativas, permanece a falta de regulamentação dos procedimentos de consulta e uma série de interpretações divergentes por parte do Estado brasileiro, organizações da sociedade civil e setor produtivo.

A interferência na paisagem, em especial os efeitos cumulativos de vários empreendimentos numa mesma região, é uma questão pouco abordada pelos órgãos ambientais e nas discussões das questões socioambientais que permeiam o setor. Para lidar com essa questão, é recomendada a elaboração de estudos que contemplem o impacto que a inserção de empreendimentos eólicos possa gerar sobre o turismo e sobre o valor cultural dos elementos da paisagem, para subsidiar o melhor layout para cada

empreendimento e para o conjunto de parques eólicos em uma região, bem como para subsidiar medidas mitigadoras ou compensatórias, de modo a **minimizar efeitos cumulativos sobre a paisagem**.

Com relação à **gestão de resíduos**, o setor eólico possui um desafio associado à destinação das pás descomissionadas, cujo destino mais frequente, pela dificuldade técnica com a reciclagem, são os aterros sanitários (EPE, 2021). Diante desse desafio, grandes fabricantes de turbinas têm investido no aprimoramento da reciclagem das pás (IBERDROLA, 2023; GOLDWIND, 2025), na fabricação de pás recicláveis (MINGYANG, 2023; SIEMENS-GAMESA, 2025) e em estratégia de descarte zero (VESTAS, 2020). Iniciativas realizadas no Brasil são a destinação de pás para coprocessamento na indústria de cimento (informação verbal)³⁷, testes químicos para a reciclagem do núcleo estrutural das pás (LUCENA, 2023) e testes para reaproveitamento na produção de tijolos (LUCENA, 2024).

Outro desafio que se apresenta é o de **capacitar a mão de obra local para que possa ocupar funções mais especializadas na cadeia eólica**. Nesse sentido, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) tem promovido iniciativas de capacitação no setor eólico, notadamente nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará (SENAI, 2025 a e b).

Por último, vale ressaltar o desafio de **adaptação da infraestrutura de geração eólica às mudanças climáticas**. No âmbito do conjunto de estudos denominado Roadmap para Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas, a EPE publicou o *fact sheet* Geração Eólica e Mudanças Climáticas, que apresenta um diagnóstico com relação ao tema, e aponta algumas possíveis medidas de adaptação e mitigação (EPE, 2025b). Com relação às tendências para o clima no Brasil, a publicação apresentou resultados das projeções realizadas pelo IPCC para vento na superfície, assim como para aumento da temperatura. Também foram trazidas conclusões do Plano Clima³⁸ apontando para aumento dos ventos severos nas regiões Nordeste e Sul, onde se encontram os parques eólicos brasileiros.

Como possíveis alterações advindas das mudanças climáticas e possíveis impactos resultantes na geração eólica, foram elencados na referida publicação da EPE, entre outros: (i) alteração nos padrões de ventos, podendo provocar: aumento ou diminuição da geração; desligamento de aerogeradores a partir de velocidades limite (máxima e mínima); e danos às estruturas; (ii) aumento da temperatura, podendo causar redução da eficiência dos aerogeradores e equipamentos e desligamento dos equipamentos em temperaturas extremamente altas; e (iii) aumento da frequência e duração das secas, com possível redução da eficiência dos aerogeradores e deposição de poeira nas hélices devido à baixa umidade do ar.

Como possíveis medidas de adaptação e mitigação, o *fact sheet* da EPE listou, entre outras: investir em tecnologias para monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos; fomentar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e materiais; aprimorar mecanismos de controle das turbinas para rápida resposta a mudanças de vento; considerar os impactos das mudanças climáticas nas projeções para o recurso eólico nos estudos de planejamento; considerar condições climáticas extremas no dimensionamento e nos materiais dos aerogeradores; e promover a elaboração de planos de adaptação e emergência para eventos extremos.

Uma iniciativa estratégica que pode ser mencionada é o lançamento da plataforma Ventos da Transformação (ABEEÓLICA, 2025b). A plataforma tem por objetivo apresentar iniciativas desenvolvidas por empresas associadas em prol das comunidades vizinhas a parques eólicos e está organizada em quatro eixos: Educação e Cultura; Saúde; Geração de Renda; Infraestrutura e Conservação Ambiental.

O Quadro 15 resume os principais desafios relacionados à expansão eólica no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

³⁷ Fornecida por Ômega Geração, em 18 out. 2023.

³⁸ O Plano Clima é o instrumento da Política Nacional de Mudança do Clima que traz a estratégia da política climática brasileira (<https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima>).

Quadro 15 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Compatibilização da geração de energia com a conservação da biodiversidade 	- Rastreamento de bandos por radar e paradas programadas; uso de ultrassom para afastar morcegos da área do parque; redução da velocidade das turbinas nos horários de maior atividade de morcegos; levantamento da avifauna no entorno do parque e classificação das espécies quanto ao risco de colisão; minimizar supressão de vegetação na instalação	- Aprimorar os estudos de licenciamento para que não negligenciem a cumulatividade de impactos; elaboração de estudos regionais que avaliem as eventuais cumulatividades e sinergias entre os projetos
Aprimoramento do diálogo com a sociedade e gestão de conflitos	- Mesa de Diálogo e Oficina Institucional (Governo Federal) - Guia de Boas Práticas Socioambientais para o Setor Eólico (ABEEólica)	- Elaborar estudos estratégicos em escala regional e promover iniciativas coordenadas entre empreendedores que atuem na mesma região para otimizar o processo de diálogo com as comunidades locais
Minimização dos efeitos cumulativos sobre a paisagem 		- Estudos ambientais que contemplem o impacto sobre o turismo e sobre o valor cultural dos elementos da paisagem, para subsidiar o melhor layout para cada empreendimento e para o conjunto de parques eólicos em uma região
Gestão de resíduos	- Grandes fabricantes de turbinas têm investido no aprimoramento da reciclagem das pás, na fabricação de pás recicláveis e em estratégia de descarte zero - Aproveitamento dos resíduos das pás na indústria de cimento	
Capacitação da mão de obra local para que possa ocupar funções mais especializadas	- Iniciativas de capacitação do Senai	
Adaptação da infraestrutura de geração eólica às mudanças climáticas		- Investir em pesquisa e inovação; aprimorar mecanismos de controle das turbinas para rápida resposta a mudanças de vento; considerar os impactos das mudanças climáticas nos estudos de planejamento; considerar condições climáticas extremas no dimensionamento e materiais dos aerogeradores

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica

Foram vislumbradas cinco oportunidades socioambientais associadas à expansão eólica prevista para o decênio: **geração de empregos na gestão de resíduos, emissão de certificados de energia renovável, mercado de créditos de carbono e a realização de programas de reflorestamento coordenados.**

A manutenção preventiva e corretiva, com troca de peças, componentes e fluidos, leva à geração de resíduos, que necessita de gestão adequada. Apesar de haver um desafio associado aos resíduos

gerados, principalmente no que concerne às pás dos aerogeradores, a gestão de resíduos se configura como um nicho de mercado que poderá ser ampliado, com **geração de empregos**.

O fato de a geração eólica não emitir gases de efeito estufa na operação a habilita a participar de mecanismos financeiros que permitem o reconhecimento desse benefício. A **emissão de certificados de energia renovável** é um desses mecanismos. O I-REC (International Renewable Energy Certificate) é um certificado que comprova que a eletricidade consumida por uma empresa foi gerada a partir de fontes renováveis, como a solar, eólica ou hidrelétrica³⁹. O processo envolve geradores de energia renovável, que vendem os certificados, e consumidores daquela energia – empresas ou indivíduos que compram os certificados –, que buscam diminuir sua pegada de carbono.

O Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei n. 15.042/2024, estabelece o **mercado regulado de créditos de carbono** no Brasil. Tal sistema prevê a emissão de Certificados de Redução ou Remoção Verificada de Emissões (CRVEs) que serão gerados por projetos que seguirão metodologias credenciadas e passarão pelo registro do SBCE, podendo beneficiar os projetos de energias renováveis. Os CRVEs contribuirão para o cumprimento da NDC⁴⁰ do país, mas também poderão ser vendidos para o cumprimento da NDC de outros países, por meio da conversão em ITMOs⁴¹. Dessa forma, além do benefício da geração renovável não ficar restrita ao Brasil, ele poderá gerar uma oportunidade de retorno financeiro adicional para os projetos por meio da venda de créditos, tanto no Brasil quanto no exterior.

Programas de reflorestamento coordenados entre empreendimentos na mesma região trariam ganho de escala financeira (custos de implementação) e ambiental (criar corredores ou remanescentes maiores de vegetação nativa).

O Quadro 16 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão eólica no PDE 2035 e à conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 16 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica

Oportunidades	Conjuntura favorável
Geração de empregos na gestão e aproveitamento dos resíduos gerados na manutenção de parques	- Política Nacional dos Resíduos Sólidos - Nota técnica “Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: Situação Atual e Alternativas Futuras” (EPE, 2021), com recomendações para a destinação adequada de resíduos - Decreto n. 12.106/2024
Certificados de energia renovável	- Sistema de emissão de certificados de energia renovável (RECs)
Mercado de créditos de carbono	- Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa, regulamentado pela Lei n. 15.042/2024
Programas de reflorestamento integrados entre empreendimentos na mesma região	- Resolução Conama 462/2014, Anexo 1, item 7, indica que a avaliação dos impactos sinérgicos e cumulativos deverá considerar os usos socioeconômicos existentes nas áreas de influência direta e indireta, de forma a possibilitar o planejamento e integração efetiva das medidas mitigadoras - Há condicionantes de licenças ambientais que trazem a preocupação com a conectividade na paisagem ecológica - Melhores práticas ambientais para a supressão vegetal do Guia de Boas Práticas para o Setor Eólico (ABEEólica)

³⁹ O Instituto Totum é o órgão emissor oficial dos I-RECs no Brasil, credenciado pela I-REC Standard Foundation. O Instituto audita e certifica usinas geradoras de energia renovável, valida e registra os dados na plataforma I-REC e emite os certificados.

⁴⁰ Contribuição Nacionalmente Determinada para a redução de emissões de gases de efeito estufa, no âmbito do Acordo de Paris.

⁴¹ ITMO: Resultado de Mitigação Transferido Internacionalmente (do inglês, Internationally Transferred Mitigation Outcome).

Indicadores socioambientais da expansão eólica

Os principais indicadores socioambientais da geração eólica selecionados foram: área ocupada pelos parques eólicos, sobreposição com áreas legalmente protegidas e número de vagas de empregos diretos gerados (Tabela 13). Para a área ocupada, foi utilizado o cálculo proposto por GO Associados (2020): $[0,064 \times (\text{potência instalada} \times 8,3)]$ hectares, para aerogeradores com 1,5 MW de potência ou valor superior.

Quanto à interferência em áreas legalmente protegidas, não há previsão de que algum dos 16 parques eólicos se sobreponha a Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI) ou Terras Quilombolas (TQ). Além disso, não há previsão de interferências em projetos de assentamento.

Para estimar o total de empregos gerados, foram obtidos os números de empregos a serem gerados na fase de construção declarados nos estudos ambientais dos complexos eólicos vencedores de leilões de energia entre 2009 e 2021. A partir desse levantamento, chegou-se ao índice médio de 6,57 empregos/MW de potência planejada. Estima-se que, com isso, serão gerados cerca de 102 mil empregos diretos no horizonte decenal. Os indicadores socioambientais estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Indicadores socioambientais da expansão eólica

Indicadores Ambientais	
Área total dos parques eólicos (km ²)	77
Número de parques eólicos com interferência em UC de uso sustentável*	Nenhum dentre os 16 parques eólicos
Número de parques eólicos com interferência em UC de proteção integral*	Nenhum dentre os 16 parques eólicos
Indicadores Socioeconômicos	
Número de parques eólicos com interferência direta em TI ou TQ ou Projetos de Assentamento*	Nenhum dentre os 16 parques eólicos
Empregos diretos (empregados/MW)	6,57
Empregos diretos gerados na construção	95 mil

Nota: *Indicadores referentes aos parques que compõem a expansão contratada, calculados com base em: MMA (2025), Funai (2025) e Incra (2025).

BOX 1 – EÓLICA OFFSHORE

Neste PDE 2035, mais uma vez, a fonte eólica offshore foi candidata à expansão da matriz elétrica, mas não foi selecionada devido aos seus custos ainda elevados. No entanto, observa-se movimentação do setor energético na direção de investir nessa fonte, que pode, inclusive, consorciar-se com a produção de hidrogênio de baixa emissão produzido por eletrólise da água. O potencial eólico no mar brasileiro é alto, conforme indicado pelo Roadmap Eólica Offshore Brasil (EPE, 2020), que apontou potencial de cerca de 700 GW. Outro estudo, mais recente, analisa três cenários de ritmos de implantação da fonte no Brasil, com o objetivo de considerar, de forma quantitativa, os efeitos de escala sobre o custo, aspectos socioambientais e benefícios econômicos, além de outros fatores. O cenário de referência desse estudo indicou a instalação de 4 GW até 2035 e 16 GW até 2050 (DNV e BANCO MUNDIAL, 2024).

No que concerne à regulamentação da fonte, uma iniciativa importante no âmbito do governo federal foi a criação em 2024 e oficialização em 2025 do Grupo de Trabalho (GT) Eólicas Offshore pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que inclui outros nove ministérios, quatro agências nacionais e mais sete instituições do executivo federal. O GT possui o objetivo de “estruturar as iniciativas técnicas para ações em nível federal voltadas para o desenvolvimento da fonte eólica offshore no Brasil” (MME, 2025). Por sua vez, o marco regulatório para o desenvolvimento da geração de energia elétrica offshore no Brasil foi sancionado em janeiro de 2025, pela Lei n. 15.097, que estabelece os procedimentos de oferta permanente e planejada para a cessão de áreas, observando a harmonização das políticas públicas e as diretrizes do Planejamento Espacial Marinho ou instrumento equivalente.

Para contribuir com o planejamento da fonte, a EPE elaborou metodologia para a seleção de áreas a serem ofertadas para eólicas offshore, que foi submetida a consulta pública, finalizada em setembro de 2025. A metodologia é composta de três etapas, sendo que nas duas primeiras são aplicados critérios de exclusão, a saber: (i) áreas com restrições tecnológicas e econômicas e áreas com impedimento legal (Etapa I); e (ii) critérios tecnológicos e econômicos refinados e áreas com sensibilidade socioambiental extrema (Etapa II); na Etapa III, são aplicados critérios tecnológicos, econômicos e de sensibilidade socioambiental para priorizar as áreas a serem ofertadas em cada rodada de oferta. Destaca-se que a aplicação dos critérios de sensibilidade socioambiental nas Etapas II e III da metodologia se dá por meio de mapeamento de sensibilidades ambientais e socioeconômicas para as macrorregiões de potencial no Brasil (Nordeste, Sudeste e Sul) a ser elaborado por empresa de consultoria contratada pelo Banco Mundial. O apoio técnico que vem sendo dado pelo Banco Mundial é fruto de acordo de cooperação com o MME e abrange também a elaboração, sob supervisão técnica do MME e da EPE, de um plano de engajamento de partes interessadas, a ser aplicado ao longo das etapas de planejamento e implantação das eólicas offshore.

No setor privado, destaca-se a iniciativa do Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis (ISI-ER) de implantar uma planta-piloto de geração eólica offshore no Rio Grande do Norte, com o objetivo de ser “um sítio de testes, em condições reais de operação, para futuros aerogeradores que serão implantados no mar do Brasil” (ISI-ER SENAI, 2024). A planta, que já obteve licença prévia do Ibama, terá dois aerogeradores com capacidade total de 24,5 MW e será instalada a 20 km da costa, em local com profundidade entre 7 e 8 metros. Sua implantação prevê dois anos de estudos, dois anos de construção e 25 anos de operação (SENAI ISI-ER, 2025). Outros dois projetos pilotos estão sendo desenvolvidos para o litoral do Rio de Janeiro (PETROBRAS, 2025) e para o litoral do Rio Grande do Sul (PORTOS RS, 2025).

4.6 Usinas Solares Fotovoltaicas

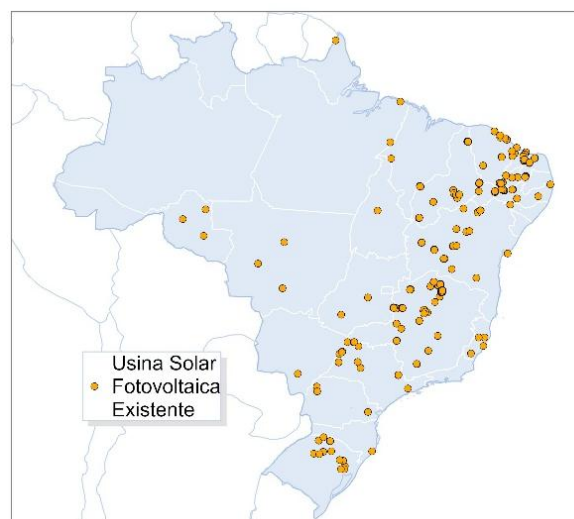
Benefícios das usinas solares fotovoltaicas

- A radiação solar, fonte de energia **renovável, abundante e gratuita**, é convertida diretamente em eletricidade. Assim, são evitados custos e impactos socioambientais relacionados à obtenção de combustíveis (gás, por exemplo), não sendo necessário o gerenciamento de recursos energéticos (podem ser escassos).
- A **flexibilidade locacional e a facilidade de construção** permitem a seleção de áreas com menor sensibilidade socioambiental, como locais antropizados ou degradados e áreas com menor custo fundiário.
- Utilizam **tecnologia modular**, sendo possível a construção de usinas com arranjos diferenciados, como por exemplo instalações flutuantes ou híbridas (fotovoltaicas com eólicas, térmicas ou hidrelétricas). Projetos adaptados às infraestruturas existentes e ao contexto local podem favorecer a minimização de interferências socioambientais.
- Podem ter papel relevante nos sistemas isolados por meio da **complementariedade com outras fontes** de geração de energia elétrica, reduzindo emissões e outros impactos socioambientais relacionados à logística de combustíveis.
- Não emitem gases de efeito estufa (GEE) nem poluentes atmosféricos em sua operação. Embora haja emissões associadas à fabricação, a tecnologia solar é considerada uma das principais soluções para a **redução de emissões no setor elétrico**, especialmente quando comparada às fontes de energia não renováveis.
- Demandam **tempo reduzido de instalação**, contribuindo para que as interferências socioambientais decorrentes das obras civis sejam minimizadas.
- Potencializam oportunidades nos setores da indústria e serviços nacionais promovendo **geração de empregos e renda**.

Parque solar fotovoltaico de geração centralizada atual

O parque solar fotovoltaico existente é composto por 613 Usinas Solares Fotovoltaicas (UFVs)⁴² totalizando cerca de **21,1 GW de potência outorgada**.

A maior parte das UFVs existentes (cerca de 54%) situa-se na região Nordeste do país, sendo a região Sudeste a segunda com maior concentração (45%, aproximadamente). Cabe destaque a grande quantidade (195) de empreendimentos localizados nas mesorregiões norte e noroeste de Minas Gerais, estado que contempla cerca de 40% da potência nacional. Nas regiões Centro-Oeste, Sul e Norte, são observadas 7, 20 e 7 UFVs, respectivamente.



⁴² Não considera micro e minigeração distribuída (potência menor que 3 MW) e se refere às Usinas Fotovoltaicas em fase de operação, de acordo com base de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2025), consultada em 01/05/25. Além disso, incorpora UFVs contratadas com previsão de entrada em operação no ano de 2024.

Expansão fotovoltaica de geração centralizada nos próximos 10 anos

Para este decênio é previsto incremento (em capacidade instalada) de **8.947 MW de usinas fotovoltaicas**. Na expansão contratada (2026-2030), prevê-se a entrada de cerca de **3.341 MW** de potência, distribuídos em **74** empreendimentos. Já para a expansão indicativa (2031-2035), estão previstos **5.607 MW**, com usinas localizadas no subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

As unidades previstas para a primeira metade do decênio (UFVs contratadas) estão localizadas principalmente no Nordeste do Brasil, enquanto o restante situa-se no Centro-Oeste e Sudeste (Figura 14). Em relação à potência incremental prevista para as usinas contratadas, o Nordeste responde por cerca de 63%. Os empreendimentos se localizam majoritariamente na região do semiárido brasileiro (cerca de 81% da potência) e em locais afastados dos grandes núcleos urbanos. A média de população dos municípios onde serão construídas as UFVs contratadas é de cerca de 54 mil habitantes⁴³, sendo que as instalações se situam no meio rural, próximo a cidades de pequeno porte.

De acordo com o MapBiomas (2025), instalações de médio a grande porte de energia solar fotovoltaica representavam uma área de 822 hectares ocupados em 2016 no país e em 2024 essa área já era de 35,3 mil hectares (aproximadamente 1/3 da área do município do Rio de Janeiro). Quase dois terços (62%, ou 21,8 mil hectares) estão na Caatinga; cerca de um terço (32%, ou 11,2 mil hectares) no Cerrado; e 6% (2,1 mil hectares) na Mata Atlântica. É importante destacar que esses valores contemplam os ambientes de contratação livre e regulado, enquanto as análises e indicadores ora apresentados consideram somente o ambiente de contratação regulado.



Figura 14 – Localização da expansão solar fotovoltaica no PDE 2035

⁴³ Valor calculado a partir de dados disponibilizados no portal IBGE Cidades (IBGE, 2025).

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão solar fotovoltaica centralizada

A principal interferência socioambiental de usinas fotovoltaicas envolve a supressão de vegetação nativa, que pode ocasionar perda de biodiversidade local. Ainda que esta e outras interferências possam ser evitadas ou mitigadas no âmbito dos projetos, elas podem ter magnitudes diferentes de acordo com a sensibilidade da região de implantação e por isso vale destacar os aspectos socioambientais mais relevantes associados aos novos empreendimentos.

A **perda de biodiversidade** é considerada tema relevante para a expansão da fonte na região Nordeste (Tabela 14), conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE 2035. Em comparação com outras fontes, as usinas fotovoltaicas possuem a maior relação área ocupada/MW, de forma que são necessárias extensas áreas para produção centralizada de energia elétrica. Com base em um banco de informações organizado pela EPE, que reúne dados dos estudos ambientais de todas as usinas solares fotovoltaicas contratadas em leilões já realizados, observa-se que os locais dos projetos das usinas contratadas para essa região frequentemente estavam sobrepostos com remanescentes de vegetação nativa de Caatinga⁴⁴. Ainda, é possível visualizar, por meio de imagens de satélite, o desmatamento ocasionado por usinas já instaladas neste bioma. A Caatinga está em avançado processo de desmatamento e é o bioma menos protegido do país – menos de 2% de seu território é delimitado por unidades de conservação do grupo de Proteção Integral (FUNDAJ, 2019).

Um estudo recente publicado pelo MAPBiomas (2025), que identificou a área ocupada por usinas fotovoltaicas no país, indicou que quase metade da área convertida para usinas fotovoltaicas era ocupada por vegetação nativa com formações savânicas⁴⁵.

A atração locacional para áreas com vegetação nativa pode ser parcialmente atribuída a um menor custo de arrendamento ou venda desses terrenos. Um estudo recente analisou Autorizações de Supressão de Vegetação (ASV) concedidas pelo órgão ambiental do Ceará e identificou o desmatamento de aproximadamente 2 mil hectares para a implantação de 27 usinas fotovoltaicas, revelando a necessidade de uma avaliação mais criteriosa da expansão da fonte (FERREIRA et al., 2024).

Recentemente, identificou-se a judicialização de um processo de licenciamento no Nordeste, com a solicitação da suspensão das Licenças de Instalação (LI) e das ASV, já concedidas pelo órgão ambiental. Ambas visavam à implementação de empreendimento de produção de energia eólica e solar, e a judicialização ocorreu com a justificativa de que haveria a promoção de desmatamento de vegetação nativa em grande escala, assim como ameaças a espécies críticas da fauna e da flora raras e endêmicas. Tal fato reforça a necessidade de atenção às interferências sobre a biodiversidade.

A biodiversidade também pode ser afetada pela perda e fragmentação de habitats e, ainda, pelo uso de herbicidas⁴⁶, quando estes são aplicados no solo para impossibilitar eventual interferência da vegetação rasteira sobre os painéis. Além disso, conforme dados do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2016), mais de 70% da área da região Nordeste é suscetível à desertificação, e mais de 4% já se encontra fortemente degradada. A remoção expressiva de vegetação nativa, conforme já verificado na instalação de algumas UFVs, pode agravar essa dinâmica. De acordo com Hamed & Alshare (2022), produtos químicos como herbicidas, supressores de poeira e inibidores de ferrugem, comumente utilizados durante a operação, podem contaminar o solo e a água, gerando consequências negativas para a biodiversidade local e regional, além de impactos sobre as comunidades do entorno.

Outro aspecto da supressão de vegetação na caatinga é sua relação com a retração da superfície de água observada nas últimas décadas⁴⁷, o que agrava a situação da seca na região.

⁴⁴ Fato evidenciado por meio de inspeção visual de imagens de satélite, delimitação da área dos empreendimentos apresentada nos estudos ambientais e análise de dados de uso do solo disponibilizados pelo MapBiomas (MAPBIOMAS, 2019).

⁴⁵ Esta formação se caracteriza pela vegetação com espécies arbóreas distribuídas de forma mais esparsa e em meio à vegetação herbácea-arbustiva contínua, sendo a segunda classe de floresta natural mais representativa em área no Brasil (MAPBIOMAS, 2026).

⁴⁶ Já há linhas de herbicidas específicos para serem usadas em plantas solares fotovoltaicas ofertadas por grandes empresas, sendo necessário atenção sobre impactos ambientais do uso de tais produtos.

⁴⁷ https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/MapBiomas_Caatinga_2022_10.10.pdf.

Tabela 14 – Síntese da análise socioambiental das usinas fotovoltaicas do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
UFVs	não há projetos planejados	 biodiversidade	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas

Para evitar ou minimizar esses impactos, deve-se priorizar a utilização de áreas já antropizadas (inclusive levando-se em conta impactos da construção das linhas de transmissão), de modo que a retirada da vegetação nativa ocorra somente quando estritamente necessário, mediante autorização concedida pelos órgãos ambientais e obedecendo às legislações aplicáveis. Adicionalmente, devem ser realizadas ações de restauração, conservação e manutenção de reservas legais e Áreas de Preservação Permanente (APPs), preferencialmente mantendo conectividade entre os fragmentos de vegetação. Durante a fase de construção das usinas, podem ser feitos ajustes no cronograma das atividades para evitar distúrbios em períodos sensíveis para a fauna, além de programas de afugentamento, resgate e soltura de fauna (BENNUN et al, 2021). Há possibilidade do plantio de espécies da flora nativa, atendendo às exigências legais de reposição vegetal, como medida compensatória ou recomposição da vegetação após o descomissionamento das usinas.

Há duas interferências que ainda não se configuram como relevantes, mas que demandam atenção e acompanhamento. A primeira está relacionada com o histórico de **baixa disponibilidade hídrica** na região do semiárido brasileiro, onde há mais usinas e já existem restrições e conflitos pelo uso da água. Em um cenário de escassez hídrica (ANA, 2024), a necessidade de uso da água para a limpeza dos painéis durante a operação das usinas pode se tornar mais uma pressão. Em janeiro de 2025, o secretário nacional de Proteção e Defesa Civil⁴⁸ reconheceu emergência em 10 municípios nordestinos dos estados do Piauí, Bahia, Ceará e Paraíba, por estiagem e seca. Nesse sentido, é importante avaliar previamente a disponibilidade dos recursos hídricos locais, ainda na fase de planejamento da usina, e elaborar um plano de manejo adequado para garantir o seu uso sustentável.

Considera-se que em regiões de expansão da geração solar fotovoltaica no semiárido, a perda de biodiversidade aliada à baixa disponibilidade hídrica pode agravar a situação de vulnerabilidade socioambiental e econômica da população local em geral, e especialmente das que tradicionalmente ocupam essas áreas, tais como as comunidades de fundo e fecho de pasto⁴⁹. Klingler et al. (2024) destacam que a expansão das energias renováveis, como as usinas solares fotovoltaicas, por vezes está associada ao uso de terras públicas, o que pode levar à perda de terras comuns e ameaçar os direitos de uso coletivo dessas terras. Além disso, os autores enfatizam a necessidade de melhorar a governança fundiária.

A segunda interferência que ainda não se mostra relevante, mas que demanda atenção, diz respeito à **destinação de resíduos**. Mundialmente, pouca atenção tem sido dada aos potenciais impactos socioambientais por conta do gerenciamento inadequado de sistemas fotovoltaicos em final de vida útil (SALIM et al., 2019) e, no contexto brasileiro, a gestão de resíduos ainda é incipiente e necessita de aprimoramentos.

Os módulos fotovoltaicos atualmente são projetados para durar cerca de 30 anos (IRENA, 2016). Porém, o descarte de módulos não ocorre exclusivamente ao final de sua vida útil, pois outros fatores podem promover seu desuso precoce, como, por exemplo, avarias durante o transporte (entre importadoras, distribuidoras e integradoras), acidentes na instalação/operação, eventos climáticos, como chuva e vento extremos, além de substituição por módulos mais eficientes.

⁴⁸ <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-221-de-24-de-janeiro-de-2025-608919447>; <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-223-de-24-de-janeiro-de-2025-608939318>; <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-224-de-24-de-janeiro-de-2025-608943581>

⁴⁹ São comunidades localizadas no oeste da Bahia, conhecidas pela criação de animais em áreas de uso comum. Sua identidade passa pelo vasto conhecimento dos biomas onde vivem – cerrado e caatinga. Além de criarem os animais soltos em terras coletivas, coletam frutos e plantam roças. <https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/acesso-a-alimentos-e-a-agua/articulacao-de-politicas-publicas-de-san-para-povos-e-comunidades-tradicionais/comunidades-de-fundos-e-fechos-de-pasto>.

Essa questão requer atenção por conta das fragilidades na implementação das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305/2010 e pode se tornar ainda mais preocupante, por exemplo, em regiões isoladas ou remotas na região Norte. Portanto, deficiências na estrutura regulatória, econômica e logística dificultam a gestão adequada dos componentes descartados pelas usinas, principalmente painéis fotovoltaicos danificados ou ao final da vida útil.

A análise dos estudos ambientais de usinas vencedoras dos leilões de energia elétrica do ambiente regulado identificou que apenas 13% dos estudos ambientais de UFVs contratadas em leilões (período de 2014 a 2018) abordaram a fase de descomissionamento na avaliação de impactos (SILVA et al., 2019). Para a correta adoção de medidas de mitigação frente aos impactos, destaca-se a importância de uma abordagem antecipada, incorporando a perspectiva da economia circular desde o *design*, da produção e da possibilidade de reúso das placas e demais componentes, até ações para o descarte correto dos resíduos eletroeletrônicos gerados na instalação, operação e descomissionamento das UFVs.

Podem-se mencionar ainda outros impactos socioambientais da geração fotovoltaica centralizada, relacionados principalmente às interferências típicas de obras civis de empreendimentos de grande porte. Como exemplo, podem ser citados: intensificação de processos erosivos, assoreamento de cursos de água, aumento de residentes temporários no período de instalação, geração de expectativas na população, interferências na mobilidade da população local do entorno das usinas, efeitos negativos sobre a fauna, poluição sonora e alteração na qualidade do ar e do solo. Podem ser mencionadas também alterações das condições de conforto térmico o efeito de ilha de calor, impacto visual no caso de usinas de grande porte próximas a áreas de beleza natural e a radiação refletida pela superfície dos módulos fotovoltaicos (HAMED & ALSHARE, 2022).

Cumprе ressaltar ainda que as interferências socioambientais são diretamente influenciadas pelo contexto local e o arranjo técnico dos empreendimentos. UFVs flutuantes em reservatórios, por exemplo, podem causar modificações no ecossistema aquático devido ao sombreamento ocasionado pela disposição dos painéis sobre o corpo d'água (EPE, 2020), além de comprometimento de seus usos sociais (ALMEIDA et al., 2022). Os Projetos Básicos Ambientais (PBAs) e as experiências na construção e funcionamento dos parques poderão fornecer informações importantes para avaliações mais criteriosas e detalhadas sobre as interferências socioambientais.

O Quadro 17 resume a principal interferência socioambiental relacionada à expansão das usinas fotovoltaicas no PDE 2035. Além disso, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, é apresentado o tema relacionado a essa interferência, a principal região de ocorrência e respectiva justificativa e, por fim, as medidas mitigadoras.

Quadro 17 – Principal interferência, medidas mitigadoras e tema socioambiental da expansão fotovoltaica centralizada

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Supressão de vegetação nativa	Biodiversidade 	NE: região que abriga mais da metade da expansão contratada, onde usualmente UFVs se sobrepõem a remanescentes de vegetação nativa da caatinga.	- Retirada da vegetação somente quando estritamente necessário. - Priorização de áreas antropizadas. - Recuperação, conservação e manutenção de reservas legais e Áreas de Preservação Permanente exigidas por lei. - Plantio de espécies da flora nativa como medida compensatória.

BOX 2 – ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) em 2024 apresentou aumento de quase 36,6% em relação a 2023 na geração de energia, sendo que a energia solar fotovoltaica representou 97,0% da MMGD em 2023. Este adicional de capacidade instalada de MMGD se concentrou no Centro-Sul do país (EPE, 2025). Do ponto de vista socioambiental, destaca-se o aproveitamento de edificações e equipamentos urbanos já construídos (prédios, casas, estacionamentos etc.), evitando implicações fundiárias e minimizando impactos de obras. Em áreas rurais ou periurbanas, as instalações podem ser implantadas em terrenos de menor sensibilidade socioambiental, tais como áreas degradadas ou pastagens. A geração de energia solar agrofotovoltaica desponta como uma nova alternativa no país e já apresenta projetos piloto, possibilitando a otimização de espaços (sinergia entre geração de energia e aproveitamento agrícola). A MMGD permite ainda a ampliação do acesso à eletricidade em regiões remotas, sem a necessidade de extensas linhas de transmissão, com potencial de promover a inclusão socioeconômica.

Destaca-se o Programa Luz para Todos que, entre seus objetivos, visa incentivar a descarbonização energética da Amazônia Legal, por meio da utilização de fontes de energia limpa e renovável para a geração de energia elétrica, e neste sentido, a geração solar fotovoltaica tem assumido papel relevante nos sistemas remotos.

Há outros benefícios econômicos e sociais, tais como aumento da arrecadação tributária e da demanda por bens e serviços, bem como a geração de empregos diretos e indiretos, que, segundo estimativas, estão distribuídos atualmente por mais de 46 mil empresas integradoras fotovoltaicas. A participação feminina média permanece em 21%, sendo que 33% dessas empresas não contavam com nenhuma colaboradora mulher (GREENER, 2025).

A expansão da MMGD está acelerando as transformações estruturais no setor elétrico, atuando em linha com a transição energética e a descentralização do acesso à geração de eletricidade. Porém, os impactos socioambientais associados, sejam positivos ou negativos, ainda não estão totalmente dimensionados. Nota-se que a destinação correta de resíduos, gerados ao final da vida útil das placas ou por avarias e substituições precoces, representa um grande desafio que demanda soluções de economia circular, incentivos, regulação e fiscalização. Em comparação às usinas fotovoltaicas, a gestão desses resíduos é mais complexa porque as unidades de geração estão geograficamente dispersas e o país possui grande extensão territorial.

O acordo setorial de resíduos eletroeletrônicos de 2019, firmado no âmbito da PNRS, que abrange os módulos fotovoltaicos no uso doméstico, já representa um marco inicial para a formação da cadeia de gestão desse tipo de resíduo. A relevância desse tema pode ser ilustrada pela constatação de que 36% das integradoras optaram por acumular os módulos em seus estoques (sem destino final definido) e somente 5% escolheram empresas especializadas na gestão desse resíduo (GREENER, 2025). Portanto, avanços ainda são necessários, como aperfeiçoamentos regulatórios, mecanismos regionalizados, fiscalização, práticas de reúso e criação de infraestrutura industrial nacional específica para a reciclagem de painéis fotovoltaicos, entre outros.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada

A **conservação de remanescentes de vegetação nativa** é um desafio importante na expansão das usinas solares fotovoltaicas, principalmente no bioma Caatinga. Como agravante temos o fato de as usinas solares fotovoltaicas demandarem uso extensivo de área devido à baixa densidade energética da fonte⁵⁰. O Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB), com ações

⁵⁰ A densidade energética é a relação entre a energia armazenada em um sistema e a sua massa ou volume; ela indica a quantidade de energia que pode ser obtida de um determinado combustível ou recurso energético.

e parcerias em diversos estados do Nordeste é uma iniciativa relevante para a conservação da vegetação (PAB BRASIL, 2024). Para além dele, algumas ações podem ser recomendadas, tais como: monitoramento e avaliação do desmatamento; aprimoramento da gestão territorial na região visando à conservação dos remanescentes de vegetação nativa, com atenção aos processos de licenciamento ambiental; ampliação da extensão de áreas protegidas por meio de novas unidades de conservação; criação de legislação específica para proteção da vegetação nativa no bioma Caatinga; e, por fim, a elaboração de políticas públicas específicas para priorizar a localização de usinas fotovoltaicas em áreas antropizadas⁵¹, evitando a supressão de vegetação.

A **gestão do consumo de água** na limpeza dos painéis fotovoltaicos, especialmente nos locais com histórico de déficit hídrico, merece atenção. Nesse sentido, caso a opção para a limpeza das placas solares da usina solar fotovoltaica não seja água, há alternativas tecnológicas disponíveis. Existem pesquisas em andamento sobre produtos que proporcionam a redução do acúmulo de sujeira sobre os painéis, além de outras iniciativas voltadas ao desenvolvimento de equipamentos e processos que dispensam água para limpeza, tais como, autolimpeza mecânica, autolimpeza eletrostática e utilização de ar pressurizado (CHITEKA, 2020 e SARAVANAN, 2018).

É importante mencionar também a relevância da elaboração e revisão contínua de instrumentos de planejamento socioambiental e de recursos hídricos, como o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), os planos estaduais de recursos hídricos e os planos de bacia hidrográfica. A partir da identificação das potencialidades e limitações de recursos hídricos, esses instrumentos podem buscar a construção de normativas e procedimentos específicos que orientem a implantação das usinas de forma mais sustentável quanto à utilização da água. Adicionalmente, recomenda-se especial atenção dos agentes do setor e órgãos ambientais, em regiões de déficit hídrico, visando impedir o agravamento de questões relacionadas ao tema diante do aumento da intensidade de eventos climáticos extremos, como as secas prolongadas.

Conforme mencionado, a **gestão de resíduos eletroeletrônicos** provenientes dos sistemas fotovoltaicos para geração de energia também demanda atenção dentro do horizonte decenal. As usinas solares, os sistemas de Micro e Minigeração Distribuída, além dos Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI) já enfrentam o desafio de destinar corretamente os equipamentos danificados, pois no país ainda não há uma cadeia estruturada para reciclagem desses materiais.

De acordo com Irena (2016), as estimativas de descarte de placas fotovoltaicas no Brasil apontam para 18.000 toneladas em 2040 no cenário moderado, podendo chegar a 160.000 toneladas num cenário mais agressivo. Destaca-se que essas estimativas não contemplam as substituições precoces de placas⁵², que poderão ser incentivadas por fatores como o aumento da eficiência das placas, os ganhos financeiros na venda de energia para a rede, incentivos no financiamento e queda nos preços dos sistemas (ATASU, 2021). Na região Norte do país esse desafio torna-se mais difícil devido, principalmente, à precariedade da gestão de resíduos em geral e aos custos altos de logística. Estimativas indicam que até 15 milhões de módulos fotovoltaicos, baterias e inversores seriam necessários para atender à demanda de universalização do Programa Luz para Todos, com a geração entre 58 e 234 mil toneladas de lixo eletrônico ao longo de 33 anos (SILVA, 2024).

Portanto, é importante o estabelecimento de políticas públicas para a criação de uma cadeia de reciclagem específica para resíduos dos sistemas fotovoltaicos, de abrangência nacional, mas que também contemple as peculiaridades regionais e locais, e o aperfeiçoamento da PNRS para responsabilização clara de todas as partes envolvidas. Nesse sentido, pode-se destacar o Projeto de Lei 3.784/2023 do Senado Federal, aguardando a realização de audiência pública, que propõe alterar a Lei 12.305/2010 para agregar maior clareza e estabilidade normativa ao obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis solares fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa.

⁵¹ A extensão territorial de áreas de pastagens degradadas no Nordeste brasileiro é da ordem de quatro milhões de hectares (IBGE, 2017), os quais poderiam ser utilizados para o estabelecimento de empreendimentos fotovoltaicos (NOBRE et al., 2019).

⁵² O fenômeno das substituições precoces de painéis fotovoltaicos já ocorre nos EUA (ATASU, 2021) e na Austrália (MATHUR et al., 2021).

Há também os projetos de Lei 998/2024, em tramitação na Câmara dos Deputados, que visa instituir a Política de Incentivo ao Desenvolvimento da Logística Reversa de Painéis Fotovoltaicos, e o mais recente projeto de Lei 391/25, em análise na Câmara dos Deputados, que obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis fotovoltaicos e seus componentes a adotar a logística reversa para as usinas solares fotovoltaicas. Neste contexto, destacam-se as atividades de uma recicladora de resíduos da geração fotovoltaica, de pequeno porte, instalada no estado de São Paulo em 2020, que já estabeleceu parceria estratégica com empresa internacional importante na cadeia de gestão de resíduos, agregando mais qualidade ao processo de reciclagem.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), de 2022, foi elaborado principalmente para estruturar o diagnóstico e definir estratégias de longo prazo que viabilizem a implementação da PNRS, assim como o Programa Nacional de Logística Reversa, também de 2022, cujos objetivos principais são otimizar a implementação e a operacionalização da infraestrutura física e logística.

Um avanço regulatório significativo foi o Decreto 10.240/2020, que estabelece normas para a implementação de sistema de logística reversa obrigatória de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. Porém, não incorporou os resíduos da geração centralizada, que congregam um volume bastante expressivo de placas solares e permanecem sem uma norma específica.

Ao mesmo tempo, verifica-se que a gestão de resíduos eletroeletrônicos da cadeia solar fotovoltaica constitui uma nova oportunidade de mercado no país, levando-se em conta os princípios da economia circular, que priorizam a não geração e a reutilização de resíduos⁵³. Vidro e alumínio compõem quase 90% dos módulos, mas eles contêm também uma pequena parcela de metais mais nobres como prata e cobre, bem como chumbo e polímeros, que podem ser poluentes. Materiais raros, como rutênio, gálio, índio e telúrio são componentes essenciais em painéis fotovoltaicos e uma estratégia de economia circular poderia não apenas prevenir e mitigar problemas ambientais, mas também reduzir a demanda por materiais de terras raras. Neste sentido, é importante que haja o fomento de um setor de reciclagem especializado no país, contribuindo também para geração de empregos e renda. De acordo com Goe e Gaustad (2016), as instalações de reciclagem localizadas perto de empreendimentos fotovoltaicos representariam uma boa solução em termos ambientais e tecnológicos.

Na Europa, onde esse desafio já está mais acentuado, a União Europeia (UE) estabeleceu, em 2012, a diretiva *Waste Electrical and Electronic Equipment* (EC, 2020), a qual exige que todos os produtores que fornecem painéis fotovoltaicos para o mercado da UE financiem os custos de coleta e reciclagem no final da vida útil de painéis fotovoltaicos comercializados no mercado na Europa, abrangendo inclusive produtores localizados fora da UE. Nesse sentido, uma planta industrial voltada exclusivamente para a reciclagem de painéis fotovoltaicos foi inaugurada na França em 2018. Outra iniciativa europeia é a Photorama, que é financiada pela UE e tem como objetivo aprimorar os processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e a recuperação de matérias-primas. O projeto tem como propósito desenvolver tecnologias pioneiras para a implementação de um sistema robusto e confiável de reciclagem de painéis fotovoltaicos, promover a circularidade ao reintegrar materiais raros secundários em cadeias de valor intersetoriais e impulsionar a adoção das tecnologias que serão introduzidas no mercado. Nos Estados Unidos, em 2022, o Departamento de Energia instituiu um Plano de Ação para tratar dessa questão, intitulado *Solar Energy Technologies Office Photovoltaics End-of-Life Action Plan* (United States, 2022). As iniciativas de reciclagem estabelecidas na Europa e Estados Unidos conseguem promover a recuperação significativa de materiais dos painéis fotovoltaicos de silício cristalino; mesmo assim, o desafio da gestão de resíduos fotovoltaicos ainda permanece. A China, apesar de ser líder global do mercado fotovoltaico, não possui normas específicas nem infraestrutura robusta de reciclagem de módulos fotovoltaicos. O mesmo acontece com Japão e Coreia do Sul (IEMA, 2023).

Atualmente, há vários grupos de pesquisa no mundo buscando alternativas mais eficientes de reciclagem. No Brasil, o projeto RECUPER3, desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e contratado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), está mapeando novos caminhos na ges-

⁵³ Segundo Irena (2016), o índice de recuperação dos painéis possui rendimentos maiores que 85% da massa total.

tão de resíduos eletroeletrônicos com objetivo de identificar e avaliar o potencial das rotas de circularidade na recuperação de materiais secundários provenientes da mineração urbana⁵⁴ desses resíduos⁵⁵. Também há iniciativas internacionais de pesquisa em novas tecnologias, voltadas para o aumento da durabilidade, da eficiência e da vida útil, além de melhorias no *design* dos equipamentos e sistemas fotovoltaicos (IRENA, 2019), as quais poderão promover a redução do volume de resíduos e a ampliação da reutilização e reciclagem dos componentes.

Vale também destacar a possibilidade de placas solares serem ainda passíveis de reuso mesmo após o período de uso indicado pelos fabricantes, como destaca Pivatto et al (2025). Esses módulos poderiam ser reutilizados, por exemplo, para gerar energia em instalações como hospitais, escolas públicas, residências de baixa renda e iluminação pública, promovendo uma solução circular que reduziria o desperdício e, ao mesmo tempo, ajudaria no enfrentamento dos desafios de acesso à energia apoiando uma transição energética justa e inclusiva.

Um ponto que vem ganhando cada vez mais relevância, por conta da emergência climática atual, refere-se às **emissões do ciclo de vida relacionadas aos sistemas fotovoltaicos**. Assim, é importante avaliar a origem dos painéis fotovoltaicos, a fim de evitar a importação indireta de quantidades significativas de carbono embutido nos sistemas. Nesse sentido, Constantino et al. (2018) ressaltam a importância de se avaliar a matriz energética do país de origem dos sistemas fotovoltaicos e destacam que a estratégia de alguns fabricantes de painéis fotovoltaicos de abrir fábricas em países que apresentam uma matriz elétrica de baixo fator de emissão pode contribuir significativamente para a mitigação de emissões de GEE do setor.

Um outro tema relevante são os **aprimoramentos no licenciamento e na legislação ambiental** necessários num contexto de expansão acentuada. De acordo com Eletrobras e EPE (2021), até o presente momento não existem normas específicas de abrangência nacional para empreendimentos de geração de energia por fonte solar. No entanto, nos âmbitos estadual, distrital e municipal, diversas normas específicas têm sido editadas e apresentam grande diversidade dos critérios de enquadramento, tanto em relação ao porte e potência da UFV, quanto aos procedimentos adotados no licenciamento ambiental. Uma normativa nacional para a fonte solar poderia padronizar conceitos e critérios para exigências ambientais, agregar eficiência aos procedimentos realizados pelos órgãos licenciadores, além de possibilitar maior segurança jurídica e administrativa aos empreendedores dos projetos solares (Eletrobras e EPE, 2021).

Há ainda outros pontos que requerem atenção relacionados à fonte, tais como a gestão de impactos cumulativos e sinérgicos nas usinas híbridas, a garantia da qualidade dos estudos ambientais e PBAs e a capacitação aliada à promoção da diversidade da mão-de-obra. Sobre a diversidade, por exemplo, o setor fotovoltaico brasileiro tem participação majoritária do gênero masculino em suas operações (GIZ, 2021), demonstrando a necessidade de esforços para ampliar a participação feminina para uma transição energética justa e inclusiva. Por fim, cabe destacar a iniciativa recente da sociedade civil organizada referente à publicação das "Salvaguardas Socioambientais para energia solar fotovoltaica centralizada" que pode contribuir na gestão dos desafios elencados nessa seção, pois deverá promover o estabelecimento de garantias, controles e orientações para prevenção e mitigação de riscos em diversas áreas. Entende-se que essa publicação apresenta "recomendações e princípios destinados à proteção de direitos humanos e ambientais" podendo ser utilizada na orientação do poder público, comunidades, agentes financiadores e organizações da sociedade civil (NORDESTE POTÊNCIA, 2025).

O Quadro 18 a seguir resume os principais desafios relacionados à expansão da fonte solar fotovoltaica centralizada no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

⁵⁴ Refere-se à recuperação de materiais com alto valor econômico presentes nos resíduos sólidos urbanos.

⁵⁵ <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/noticias/projeto-recuper3-explora-novos-horizontes-na-gestao-de-residuos-eletroeletronicos>. Acesso em 23/05/2025.

Quadro 18 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Conservação dos remanescentes de vegetação nativa 	- Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB)⁵⁶.	- Monitorar e avaliar a ocorrência de desmatamento na fase de construção das usinas. - Aumentar a extensão de áreas protegidas por meio da criação de unidades de conservação. - Criar legislações específicas para proteção da vegetação nativa nos biomas cerrado e caatinga. - Elaborar zoneamento ecológico-econômico e outras políticas públicas, com atenção ao processo de licenciamento ambiental, que incentivem a implantação das usinas em áreas antropizadas e/ou degradadas.
Gestão do consumo de água na limpeza dos painéis fotovoltaicos 	- Pesquisas com aplicação de produtos químicos sobre os painéis para redução do acúmulo de sujeira. - Pesquisas com equipamentos que não utilizam água para limpeza dos painéis (mecanismos automatizados, funcionamento por ar pressurizado e outros).	- Elaborar o Zoneamento Ecológico-Econômico, considerando disponibilidade hídrica. - Criar políticas públicas específicas que reforcem a importância do tema junto aos agentes do setor. - Criar normativas mais restritivas para proteger as regiões com histórico de déficit hídrico.
Gestão de resíduos eletroeletrônicos 	- Licenças ambientais contendo condicionantes específicas. - Pesquisas com tecnologias voltadas ao aumento da durabilidade, eficiência, vida útil e melhorias em design. - Iniciativa privada de pequeno porte oferecendo soluções de logística reversa ao setor fotovoltaico. - Projetos de lei para obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. - Projeto RECUPER3 (CETEM/MCTI).	- Consolidar a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. - Ampliar a fiscalização sobre a disposição final correta. - Promover a criação de arranjos institucionais para viabilizar a implementação de uma cadeia de reciclagem/reutilização dos sistemas fotovoltaicos. - Garantir que os estudos ambientais no âmbito dos licenciamentos estabeleçam Planos de Gestão de Resíduos. - Promover iniciativas de cooperação internacional. - Fomentar pesquisas sobre reciclagem de painéis fotovoltaicos. - Elaborar arcabouço legal específico.
Licenciamento Ambiental	- Normas estaduais e municipais definindo critérios para enquadramento das usinas por meio do porte e potência.	- Normativa nacional específica para a fonte solar que traga padronização de conceitos, critérios e segurança jurídica.
Emissões do ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos	- Não identificado até o momento.	- Incentivos à fabricação de sistemas fotovoltaicos cujo processo utilize fontes de energia renovável.

⁵⁶ O PAB é uma iniciativa conjunta do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em colaboração e parceria com a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), apoio da Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e do Ministério da Educação.

Principais oportunidades socioambientais e conjuntura relacionadas à expansão da geração fotovoltaica centralizada

A **hibridização das fontes** é uma oportunidade especial para a fonte solar, que apresenta sinergias construtivas e operativas com outras fontes (EPE, 2019). Como exemplos, destacam-se a usina híbrida eólica e solar em Tacaratu (PE) e a usina solar flutuante no reservatório de Sobradinho (BA). Nesse contexto, impactos socioambientais poderiam ser reduzidos a partir da minimização de infraestrutura e área construída.

Outra oportunidade da expansão solar é utilizar a fonte como um meio para **prover energia renovável em áreas isoladas**, promovendo uma transição energética justa e inclusiva ao contribuir para o desenvolvimento socioeconômico de regiões vulneráveis, reduzir a pobreza energética⁵⁷ e a dependência por combustíveis fósseis nessas localidades, bem como as emissões de gases de efeito estufa associadas. Cabe destacar as oportunidades para a utilização da geração fotovoltaica no âmbito do Programa Energias da Amazônia⁵⁸, o qual contempla a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no rol das suas ações e projetos elegíveis.

Já a emissão de **Certificados de Energia Renovável** pelas usinas fotovoltaicas representa uma oportunidade para geração de receitas e incentivo aos investimentos em renováveis. Também permitem a rastreabilidade da energia consumida e facilitam a contabilidade de carbono de acordo com padrões internacionais. O I-REC (International Renewable Energy Certificate) é um certificado que comprova que a eletricidade consumida por uma empresa foi gerada a partir de fontes renováveis, como a solar, eólica ou hidrelétrica⁵⁹. O processo envolve geradores de energia renovável, que vendem os certificados, e consumidores daquela energia – empresas ou indivíduos que comprem os certificados –, que buscam diminuir sua pegada de carbono.

Adicionalmente, a energia fotovoltaica pode gerar **créditos de carbono** e promover novas oportunidades de negócios para mitigação e inovação tecnológica no setor de renováveis, fortalecendo a trajetória de baixo carbono da economia brasileira.

O Quadro 19 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão de UFVs no PDE 2035 e os fatores conjunturais favoráveis a essas oportunidades.

Quadro 19 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão fotovoltaica centralizada

Oportunidades	Conjuntura favorável
Hibridização	- Existência de usinas e parques instalados que geram energia a partir de outras fontes (hídrica e eólica, por exemplo) e que poderiam agregar produção de energia fotovoltaica, com possibilidade de otimização no uso dos recursos.
Atendimento de áreas isoladas	- O atendimento de áreas isoladas com fontes renováveis se torna importante com o crescente comprometimento na redução de emissões de gases de efeito estufa e combate à pobreza energética.
Emissão de Certificados de Energia Renovável e créditos de carbono	- Certificação de renováveis em fase de ascensão ⁶⁰ . - Solar em destaque no mercado de crédito de carbono.

⁵⁷ Os indivíduos energeticamente pobres são aqueles que, em geral não acessam serviços de energia de acordo com as suas reais necessidades sociais e materiais básicas para a manutenção da sua qualidade de vida e bem-estar.

⁵⁸ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11648.htm.

⁵⁹ O Instituto Totum é o órgão emissor oficial dos I-RECs no Brasil, credenciado pela I-REC Standard Foundation. O Instituto audita e certifica usinas geradoras de energia renovável, valida e registra os dados na plataforma I-REC e emite os certificados.

⁶⁰ <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/ccee-lanca-plataforma-brasileira-para-a-certificacao-de-energia-renovavel>. Acesso em maio/2025.

Indicadores socioambientais da expansão da geração fotovoltaica centralizada

Os indicadores socioambientais considerados têm como base o citado banco de informações, organizado pela EPE, que reúne dados dos estudos ambientais de todas as usinas solares fotovoltaicas contratadas em leilões já realizados. Um dos indicadores é o índice de área ocupada por potência instalada. O resultado aponta que a área média necessária para a produção de 1 MW é aproximadamente 0,03 km², ou 3 hectares (Tabela 15). O segundo indicador se refere à área total das plantas fotovoltaicas do horizonte decenal, que é calculado a partir da multiplicação do primeiro indicador pela expansão prevista no horizonte decenal (13.147 MW). Assim, estima-se que as usinas fotovoltaicas ocuparão aproximadamente 369 km² no período considerado.

No caso do indicador de empregos, é considerado apenas o número de empregos diretos gerados no pico das obras. Este indicador é resultado da multiplicação da média de empregos diretos gerados por potência dos empreendimentos já contratados através dos leilões de geração (2,8/MW), e que mencionaram esses valores nos respectivos estudos ambientais, pela expansão prevista no PDE 2035.

Tabela 15 – Indicadores socioambientais da expansão solar fotovoltaica

Indicadores Ambientais	
Área média necessária para a produção de 1 MW	0,03 km ² ou 3 ha
Área ocupada pela expansão de usinas fotovoltaicas no decênio	369 km ²
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos gerados no pico das obras	37.008

Nota: A base de cálculo são as informações declaradas nos estudos ambientais de todas as usinas vencedoras dos Leilões de Energia Elétrica do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e a expansão indicativa.

4.7 Transmissão de Energia Elétrica

Benefícios da transmissão de energia elétrica

- O Sistema Interligado Nacional (SIN) é formado por uma extensa malha de linhas de transmissão (LT) que atuam em tensão igual ou superior a 230 kV, denominada Rede Básica, com a função de conectar as fontes geradoras de energia aos centros de consumo. A interligação das usinas hidrelétricas possibilita a otimização dessa geração a partir do aproveitamento da sazonalidade dos regimes hidrológicos das bacias hidrográficas, que se complementam ao longo do ano, contribuindo para a estabilidade do sistema. Portanto, um sistema de transmissão interligado garante a **gestão do despacho de geração**, que considera o armazenamento de água no conjunto dos reservatórios das usinas hidrelétricas, proporcionando ganhos significativos na geração de energia para o país.
- Com o aumento da participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, a expansão do sistema de transmissão possibilita o **aproveitamento do potencial de geração eólica e solar** localizado longe dos centros de carga. Toda essa expansão configura um cenário que demanda soluções robustas e eficientes na Rede Básica para o escoamento dessa produção.
- As LTs proveem **confiabilidade** ao SIN, possibilitando que pequenas perturbações sejam superadas sem corte de carga, e **resiliência**, evitando ou reduzindo o impacto de eventos extremos no atendimento à carga, inclusive em casos de perda de elementos da Rede Básica.
- Devido à abrangência nacional, a expansão da transmissão tem o benefício da geração de empregos diretos e indiretos em diversos estados, aumento da demanda por bens e serviços e da arrecadação tributária, gerando impactos sociais e econômicos positivos.

Sistema de transmissão de energia elétrica atual

O Brasil possui atualmente **190.608 km de linhas de transmissão**, considerando as linhas em operação da Rede Básica, conexões de usinas e interligações internacionais (MME, 2025). Desse total, destacam-se as classes de tensão de 230 kV e de 500/525 kV como as mais representativas em termos quantitativos, e as classes de tensão de 600 kV e 800 kV, em corrente contínua, como mais extensas.

A maior parte do Sistema Elétrico Brasileiro está conectada ao SIN, responsável por quase todo o suprimento elétrico do país, integrando diferentes fontes de geração de energia aos centros de carga. O restante faz parte dos sistemas isolados, que estão localizados majoritariamente na região Norte, principalmente nos estados do Amazonas e Roraima. Os sistemas isolados, que atualmente correspondem a menos de 1% da carga total do SIN, vêm reduzindo sua participação no atendimento às cargas devido ao aumento de interligações de localidades isoladas ao SIN e ao atendimento às comunidades via Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz Para Todos. Segundo dados do Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados (EPE, 2024), o número de localidades isoladas teve uma redução de 9 % de 2023 para 2024.

Segundo dados do ONS (2025a), cerca de 44% da capacidade instalada de geração do SIN são provenientes de usinas hidrelétricas, sendo que nos últimos anos as fontes alternativas vêm ganhando importância, com destaque às usinas eólicas (14%), que apresentaram forte crescimento, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, e que atualmente representam o segundo lugar em participação na matriz elétrica brasileira.



BOX 3 – A INTERLIGAÇÃO MANAUS - BOA VISTA

A Interligação Manaus – Boa Vista foi licitada em 2011 e seu traçado atravessa a terra indígena Waimiri – Atroari ao longo da BR-174, única rodovia existente na região. O desvio da terra indígena implicaria a construção da LT em áreas muito remotas, demandando a abertura de novos acessos que gerariam vetores de desmatamento, e foi considerada uma alternativa de traçado de maior impacto ambiental pelo órgão ambiental licenciador. Ocorre que o trâmite da questão indígena provocou um grande atraso no licenciamento dessa LT, inicialmente prevista para entrar em operação no ano de 2016.

Essa interligação é considerada estratégica por permitir que o estado de Roraima receba energia do Sistema Interligado Nacional (SIN), uma vez que a capital Boa Vista é atualmente atendida pela energia de usinas termelétricas a óleo diesel. Com a integração, Roraima passa a ter maior segurança energética e confiabilidade no suprimento de energia. A substituição gradual dessas usinas por energia limpa e renovável do SIN representa uma economia superior a R\$ 500 milhões anuais em custos com combustíveis fósseis e a redução de mais de 1 milhão de toneladas de CO₂ em emissões de gases de efeito estufa por ano. Além disso, deixarão de atravessar a TI diversos caminhões-tanque por dia transportando óleo para as térmicas.

O Ibama emitiu a licença de instalação da LT Manaus – Boa Vista em setembro de 2021 mas, posteriormente, as obras na terra indígena foram interrompidas em função de ações civis públicas. Por fim, em setembro de 2022, chegou-se a uma proposta final de indenização, consolidada num acordo judicial entre empreendedor, Governo Federal, Ministério Público e associação indígena. A entrada em operação ocorreu em setembro de 2025.

Expansão da transmissão nos próximos 10 anos

Levando em conta as incertezas inerentes ao processo de planejamento, os estudos elétricos consideraram três cenários para a expansão do sistema de transmissão. A diferença entre eles se dá pela hipótese de implantação ou não de empreendimentos ainda não licitados ou autorizados (sem outorga), mantendo-se a previsão dos empreendimentos já outorgados. Sendo assim, o cenário otimista considera a implantação de todos os empreendimentos, com ou sem outorga, de acordo com a data de necessidade original prevista nos estudos de planejamento. O cenário de referência, utilizado neste PDE, é uma variação do cenário otimista, considerando uma reavaliação da data de necessidade dos empreendimentos. Por fim, o cenário pessimista desconsidera os empreendimentos sem outorga.

A expansão da rede básica de transmissão de energia elétrica, baseada no cenário de referência, prevê a implantação de **28.781 km** entre os anos de 2026 e 2035, ou seja, uma expansão de 15% na extensão do sistema. Desse total, 26.857 km (aproximadamente 93%) estão previstos para entrar em operação até 2030, no primeiro quinquênio do horizonte decenal.

O conjunto de LTs planejadas apresenta empreendimentos em diferentes etapas de planejamento, muitos dos quais ainda nas fases iniciais dos estudos, não possuindo uma configuração locacional precisa. Contudo, ressalta-se que na etapa de planejamento desses empreendimentos procura-se desviar das áreas mais complexas do ponto de vista socioambiental, evitando-se, dessa forma, impactos socioambientais significativos. No conjunto de empreendimentos planejados, cerca de 80% estão na etapa de Relatório R3 (Definição da Diretriz de Traçado e Análise Socioambiental), que ocorre antes do leilão, ou de DUP (Declaração de Utilidade Pública), quando o empreendimento já está outorgado.

A análise socioambiental da expansão da transmissão neste PDE 2035 busca antecipar as principais questões socioambientais do conjunto de LTs da Rede Básica planejado nos estudos da expansão da transmissão, conforme as especificidades de cada região. As premissas consideradas na análise socioambiental, em razão da escala de análise, não contemplaram os seccionamentos planejados nas proximidades das subestações, tampouco os projetos de reconstrução, recapacitação e recondutoramento. Para as LTs em circuito duplo e os bipolos de corrente contínua contabilizou-se apenas um único circuito ou polo. Além

disso, há empreendimentos nos cinco últimos anos do horizonte deste PDE (horizonte indicativo) cujos estudos de planejamento ainda não foram iniciados, não se dispoñdo, portanto, de sua representação espacial. Por esse motivo essas LTs não foram consideradas. Partindo dessas premissas, **o universo considerado nesta análise socioambiental corresponde a 212 linhas (21.889 km de extensão).**

A Figura 15 apresenta a configuração de referência para o sistema de transmissão planejado e sua distribuição nas diferentes regiões do território nacional, bem como a localização das terras indígenas e das unidades de conservação.

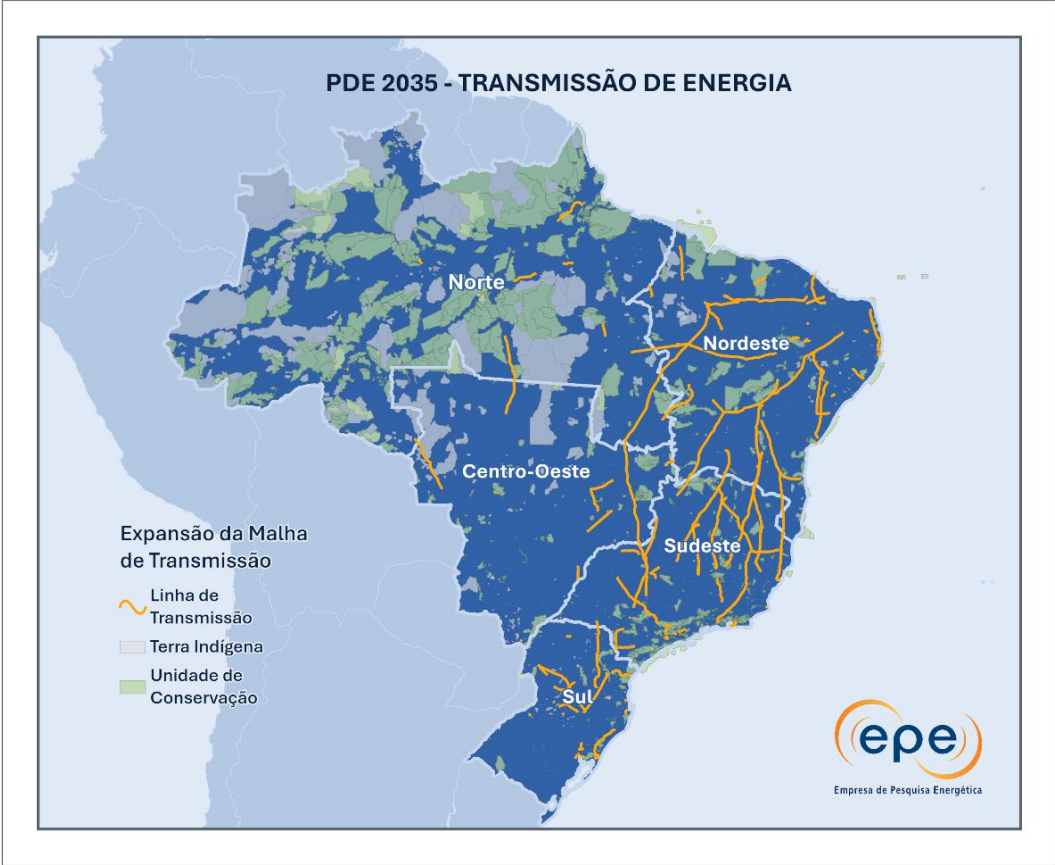


Figura 15 - Linhas de transmissão planejadas no PDE 2035 e áreas legalmente protegidas

A Tabela 16 mostra a distribuição das LTs planejadas no PDE 2035 considerando a extensão por região geográfica.

Tabela 16 - Extensão das linhas de transmissão planejadas por região

Extensão das LTs por região (km)					Total (km)
Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
1.482	8.691	1.762	7.992	1.962	21.889

Nesse cenário, observamos a expansão da Rede Básica ocorrendo na região Norte com o estudo para estabelecer reforços para resiliência no sistema de transmissão Acre e Rondônia em resposta às mudanças climáticas (AC e RO), atendimento à região metropolitana de Manaus (AM) e reforço à região de Novo Progresso (PA) e à capital Macapá (AP).

No Nordeste do país, a expansão da rede de transmissão é planejada, sobretudo, para o escoamento do potencial de energia eólica, térmica e fotovoltaica, atendimento às regiões metropolitanas de Fortaleza, João Pessoa, Salvador e Recife, regiões de Milagres e Crato, no Ceará, suprimento às cargas do extremo oeste da Bahia, do leste e sul do Maranhão e Centro-Norte Piauiense.

No Centro-Oeste, destacam-se as obras de reforço das interligações entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste e da região de Novo Progresso (MT), e para atendimento à região central de Mato Grosso e reforço ao sistema elétrico de Goiás.

No Sudeste, as linhas destinam-se principalmente ao escoamento do potencial solar do norte de Minas Gerais, novo epicentro da energia solar no Brasil; reforço do subsistema para atendimento às regiões de Niterói, Magé e São Gonçalo, no Rio de Janeiro, de Capão Bonito e à região industrial de Mairiporã, Jaguari e São José dos Campos, em São Paulo; suprimento das cargas da Regional Leste, nas regiões de Bragança Paulista e do sul de Minas Gerais; atendimento às cargas da geração elétrica da região do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba; e expansão do sistema nas regiões norte de Minas Gerais e do Espírito Santo para atendimento da expansão de geração renovável, em especial das fontes solar e eólica, prevista para ocorrer na região Nordeste nos próximos anos.

Na região Sul têm destaque as LTs para escoamento da energia gerada em parques eólicos, atendimento às regiões serrana e noroeste do Rio Grande do Sul, às regiões norte, oeste e Vale do Itajaí em Santa Catarina e às regiões metropolitanas de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão

As principais interferências socioambientais da implantação de linhas de transmissão variam entre as regiões, em função da diversidade de ambientes atravessados e das distintas características de cada bioma. Diante dessas diferenças regionais, a análise socioambiental considerou, além das áreas protegidas (unidades de conservação, terras indígenas e terras quilombolas), os assentamentos do Incra, que apresentam limites bem definidos para a estimativa das interferências, e o uso e ocupação do solo. Essas interferências podem ocorrer em áreas sensíveis como, por exemplo, áreas cobertas com vegetação nativa e áreas urbanas e periurbanas, que demandam medidas para mitigação dos possíveis impactos socioambientais na construção e operação do empreendimento.

As informações relativas à extensão das LTs planejadas no horizonte decenal que incidem em unidade de conservação (UC), terra indígena (TI), terra quilombola (TQ) e assentamento do Incra, por região geográfica, são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Extensão das linhas de transmissão planejadas em áreas com restrição socioambiental

Tipo de área atravessada	Extensão das LTs por região (km)					Total (km)
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
UC de proteção integral	0	9	0	1	0	10
UC de uso sustentável	80	429	1	212	36	758
Terra indígena	0	0	0	0	0	0
Terra quilombola	0	0	0	0	0	0
Assentamento do Incra	134	228	78	71	19	530

Nota: Interferências estimadas a partir de: FUNAI, 2025; Incra, 2025a; INCRA 2025b; MMA, 2025.

No Nordeste, a biodiversidade é um tema relevante, tendo em vista o atual estágio de antropização e fragmentação dos biomas Caatinga e Mata Atlântica, onde ocorre parte da expansão da transmissão de energia associada às regiões metropolitanas e ao escoamento da geração dos parques eólicos e da geração fotovoltaica nas demais áreas. Nesse sentido, o Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga (ICMBio, 2025) estabelece ações voltadas à indicação de áreas que devem ser evitadas para a implantação de empreendimentos eólicos e de linhas de transmissão de energia elétrica, com vistas à conservação da avifauna, em particular da arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*), espécie criticamente ameaçada de extinção.

Na região Sudeste, destaca-se o tema biodiversidade, particularmente a interferência da expansão da transmissão em remanescentes de Mata Atlântica. Esse tema foi considerado importante na região, diante das ameaças ao bioma, que de forma geral apresenta paisagem fragmentada, com poucas áreas cobertas por vegetação nativa. Nesse contexto, vale citar que, devido à sua importância, os remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica são protegidos por legislação específica (Lei nº 11.428/2006, regulamentada pelo Decreto nº 6.660/2008). Adicionalmente, devido à presença de relevo montanhoso na região Sudeste, ressalta-se a interferência para abertura de acessos em encostas e topos de morro, onde a vegetação é fundamental para a retenção de água e a estabilização do solo.

Outro tema com destaque na região Sudeste é a **interferência das LTs planejadas na paisagem**, tanto em áreas de beleza cênica natural, em especial nas regiões serranas, quanto em áreas urbanas e de expansão urbana. Cabe mencionar que, desde sua concepção, as LTs são planejadas para desviar de áreas turísticas e de áreas urbanas para mitigar interferências na paisagem. Quando não é possível o desvio de regiões adensadas, é indicado o uso de torres e subestações compactas ou LTs subterrâneas, no caso dos grandes centros, de forma a minimizar esse tipo de impacto. As LTs subterrâneas também minimizam o impacto no uso do solo urbano, pois geralmente são implantadas em vias públicas.

Na região Sul, destaca-se o tema biodiversidade, com a expansão das linhas de transmissão que se estendem por remanescentes bem preservados, principalmente de Mata Atlântica, particularmente importantes diante das constantes ameaças ao bioma. Se por um lado medidas como alteamento de torres amenizam o impacto das linhas nessas áreas, por outro, há necessidade de supressão de vegetação para abertura de acessos, diante da precária acessibilidade, sobretudo em regiões serranas.

No Centro-Oeste, devido à posição geográfica centralizada da região, passarão os empreendimentos de transmissão planejados para reforço do intercâmbio elétrico entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, além daqueles para atendimento ao estado de Goiás e às regiões de Novo Progresso (no Pará). No horizonte decenal, as LTs planejadas na região não sobrepõem TIs, TQs e UCs de proteção integral ou de uso sustentável. Não obstante a extensão de LTs planejadas atravessando áreas de agricultura e de pastagem no Centro-Oeste, considera-se, na presente análise da expansão decenal, que as interferências socioambientais são inexpressivas no contexto geral da região.

Além dos temas citados, cabe mencionar a sobreposição em assentamentos do Incra, considerada não relevante devido à possibilidade de coexistência com as LTs, visto que em muitos casos é possível conciliar o uso da faixa de servidão com pequenos cultivos ou criação de rebanhos, guardadas as normas de segurança. Na região Norte, os assentamentos são inevitavelmente atravessados pelas LTs, pois geralmente estão próximos a acessos viários e ainda formam aglomerados intercalados por áreas protegidas e áreas com vegetação nativa, que são prioritariamente evitadas.

Com relação ao tema biodiversidade, cabe mencionar que, ainda que haja interferências em UCs, a maior parte delas ocorre em APAs, categoria de uso sustentável que visa disciplinar o processo de ocupação territorial e que, em geral, já possuem algum grau de antropização. Foram observados ainda casos pontuais de sobreposição em UCs de proteção integral. Em dois deles, o planejamento da LT se deu antes da criação das unidades, havendo a previsão da existência da LT no decreto de criação de uma delas e a possibilidade de desvio em fases futuras de implantação para a outra. Sem minimizar a importância do impacto local dessas sobreposições, considerando a expansão da transmissão como um todo, essas interferências são consideradas inexpressivas.

Resumidamente, no âmbito deste PDE, destacam-se as interferências das linhas de transmissão na **biodiversidade** nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. As interferências em **paisagens** têm maior importância na região Sudeste, devido à incidência de LTs em áreas urbanizadas e em regiões de beleza cênica.

A Tabela 18 apresenta a síntese da análise socioambiental integrada do PDE 2035 para a transmissão de energia elétrica. Nela estão dispostos, por região, os temas socioambientais considerados relevantes para a expansão planejada.

Tabela 18 – Síntese da análise socioambiental das linhas de transmissão do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Transmis- são	 interferências inexpressivas	 biodiversidade	 Biodiversidade	 paisagem  biodiversidade	 interferências inexpressivas

Notas: (1) A expressão “Interferências inexpressivas” significa que, apesar dos impactos existirem, não são tão expressivos diante da expansão e das sensibilidades regionais, não sendo identificados temas socioambientais relevantes.

O Quadro 20 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão da transmissão no PDE 2035, os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão, e por último as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 20 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Impacto visual na paisagem 	paisagem	SE: expansão em áreas de beleza cênica natural e em áreas urbanas e de expansão urbana.	Afastar o eixo do empreendimento de áreas turísticas, de forma a minimizar o impacto visual sobre a atividade. Uso de subestações e torres compactas, que ocupam menor área, ou recomendação de LTs subterrâneas em áreas urbanas.
Perda e alteração de habitat 	biodiversidade	NE: expansão da transmissão sobre remanescentes de vegetação nativa da Caatinga e Mata Atlântica, biomas já fragmentados e antropizados, com potencial interferência sobre áreas destinadas à conservação da avifauna. SE e S: expansão da transmissão em remanescentes de Mata Atlântica, que já se encontra fragmentada, e abertura de acesso em regiões de relevo acidentado.	Planejamento criterioso de alternativas de rotas de LTs, buscando o desvio de áreas com vegetação nativa e proximidade com acessos e a malha viária existente. Supressão da vegetação apenas nas praças de torres e na faixa de serviço para o lançamento dos cabos. Evitar instalação de torres e abertura de acessos nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) ou reduzir a largura da faixa de serviço nessas áreas. Evitar instalação de torres estaiadas em fragmentos florestais. Alteamento de torres nos locais em que a LT intercepta fragmentos florestais ou APPs, de modo a manter a distância de segurança entre os cabos e a vegetação. Uso de helicóptero ou drone para lançamento de cabos em vãos situados sobre fragmentos de vegetação nativa florestal, e na manutenção e monitoramento de LTs.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão

A expansão do sistema para atender ao aumento da carga em áreas metropolitanas traz o desafio da ampliação da rede em áreas urbanas e periurbanas, onde a disponibilidade de espaço para inserção de novos empreendimentos é, muitas vezes, limitada. Adicionam-se a isso as alterações na paisagem provocadas pelas torres, podendo levar a maior resistência por parte das populações locais. Nesse cenário, o desafio é **conciliar a expansão das LTs com a preservação da paisagem**, seja ela em áreas urbanizadas ou de interesse turístico.

Outro desafio da transmissão é a **conservação da biodiversidade**, devido à supressão de vegetação nativa, principalmente em regiões de difícil acesso, seja em áreas com cobertura vegetal densa, como na região Norte, ou em áreas de relevo acidentado, onde a vegetação cumpre importante papel na estabilidade das APPs, a exemplo das regiões serranas do Sudeste e do Sul. Nesses casos, a abertura de acessos para implantação do empreendimento é muitas vezes inevitável, e deve ser feita com a mínima interferência possível.

As iniciativas que se destacam no âmbito da expansão da transmissão têm relação com mais de um dentre os desafios apontados anteriormente. Uma delas, a intensificação da **articulação entre as instituições envolvidas no planejamento, licenciamento ambiental, regulação e operação**, pode auxiliar no diagnóstico de questões relevantes para o planejamento e operação das linhas de transmissão e somar forças e conhecimento na definição de soluções robustas e eficazes. Nesse sentido, nos últimos anos a EPE e o Ibama têm se aproximado, visando à integração entre o planejamento da transmissão e o licenciamento ambiental federal. Nesse contexto, foram realizados dois workshops de integração e conhecimento sobre planejamento, regulação setorial e licenciamento ambiental de sistemas de transmissão de energia, envolvendo o Ibama, EPE, MME, Aneel e ONS. Além disso, ao longo dos últimos anos, diversas interações foram realizadas para consultas ao Ibama durante a elaboração de estudos específicos de planejamento, e troca de experiência entre a EPE e aquele órgão.

Com o objetivo de institucionalizar a integração das instituições, em janeiro de 2025 a EPE e o Ibama assinaram um acordo de cooperação técnica no âmbito do qual são realizadas consultas da EPE ao Ibama na etapa de planejamento de linhas de transmissão, especialmente em estudos de elevada complexidade socioambiental e com possibilidade de licenciamento federal. O acordo prevê também a realização de reuniões periódicas para promover o intercâmbio de experiências e conhecimento técnico das duas instituições nas questões envolvidas na transmissão.

A EPE também já interagiu, em estudos de planejamento da transmissão, com órgãos licenciadores ambientais estaduais e municipais como Cetesb/SP, Inea/RJ, Instituto Ambiental do Paraná – IAP (atual Instituto Água e Terra – IAT), Fepam/RS, Fatma/SC (atual Instituto do Meio Ambiente – IMA) e Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – Semmas (Manaus), bem como com órgãos intervenientes no licenciamento ambiental, como ICMBio e Instituto Florestal/SP. Nessas interações, as posições da EPE foram corroboradas, ou novas alternativas foram apontadas pelos órgãos consultados, o que, em ambos os casos, contribuiu para minimizar riscos no licenciamento e na implantação dos empreendimentos.

Uma medida para reduzir a interferência em vegetação nativa e propriedades rurais foi a elaboração, pela EPE e ONS, de uma nota técnica com critérios para definição de linhas de transmissão em circuito duplo ou duas LTs em circuitos simples, interligando as mesmas subestações, bem como critérios para eventual afastamento entre duas LTs em circuito simples, tema recorrente no planejamento e no licenciamento ambiental da transmissão (EPE/ONS, 2020). A adoção de circuitos duplos como premissa geral reduz consideravelmente as interferências causadas pelas LTs, em especial aquelas relacionadas à paisagem e à supressão de vegetação nativa. A adoção de duas LTs de circuitos simples passa a ser considerada exceção, mediante as devidas justificativas técnicas e socioambientais, caso a caso.

Um importante desafio está associado às **mudanças climáticas e seus efeitos sobre o sistema de transmissão** atual, bem como para o planejamento de instalações futuras. O aumento da temperatura

média global pode afetar as linhas, reduzindo sua capacidade de transmissão ou mesmo levando à operação do sistema interligado acima da capacidade para a qual foi projetado, implicando aumento dos riscos de desligamentos ou dos custos, pela redução da vida útil dos equipamentos. A **maior incidência de eventos extremos**, como chuvas intensas e inundações, incêndios florestais, ventos e descargas atmosféricas, tendem a aumentar as ocorrências de desligamentos das linhas e subestações, causando prejuízos econômicos e sociais.

Nos anos de 2023 e 2024, o Brasil enfrentou dois eventos marcantes de chuvas extremas com diversas consequências. Em 2023, a região do Litoral Norte de São Paulo e o Rio Grande do Sul passaram por períodos de chuvas intensas, que provocaram alagamentos e deslizamentos, com a consequente destruição de infraestruturas e interrupção de serviços essenciais, entre eles o fornecimento de energia elétrica. Em 2024, o Rio Grande do Sul foi novamente atingido por temporais ainda mais intensos, que alagaram municípios inteiros e afetaram diversas infraestruturas, sendo que algumas subestações ficaram submersas e tiveram sua operação paralisada para evitar maiores danos e riscos à segurança do sistema. Eventos desse tipo são de difícil previsão, tornando complexo o planejamento de ações de prevenção, mitigação e contingência.

Segundo dados do ONS (2022b), as principais causas de perturbações em linhas de transmissão da rede básica foram em decorrência das condições meteorológicas adversas (descarga atmosférica, chuva/temporal, vento forte etc.), representando cerca de 30% dos desligamentos em 2021.

No âmbito do conjunto de estudos denominado Roadmap para Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas, a EPE (2025) publicou o *fact sheet* Transmissão e Mudanças Climáticas, que apresenta um diagnóstico com relação ao tema, e aponta algumas possíveis medidas de adaptação e mitigação. Entre elas, pode-se destacar:

- Fomentar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para a transmissão (por exemplo, sistemas de transmissão flexíveis e novos condutores para linhas de transmissão) e redes inteligentes;
- Realizar pesquisas e aprimoramento de tecnologias para monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos;
- Reavaliar critérios de confiabilidade do sistema frente aos novos cenários climáticos
- Reforçar as estruturas;
- Desenvolver planos de resposta a situações emergenciais.

Como resposta ao desafio de adaptação da transmissão às mudanças do clima, merece destaque também o evento “Resiliência de redes frente a fenômenos climáticos de elevada severidade”, realizado pela Aneel em 2024 e que contou com a participação de atores ligados à pesquisa espacial e meteorologia, além de concessionárias de transmissão e distribuição. No evento, os painelistas tiveram a oportunidade de compartilhar suas experiências com as transformações do clima no contexto brasileiro, suas práticas com eventos extremos e as respectivas estratégias e planos de contingência. Nesse mesmo sentido, a Aneel publicou a Tomada de Subsídios 002/2024, cujo objetivo foi “obter subsídios para avaliar a necessidade de intervenção regulatória associada ao aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos.”

A Aneel divulga anualmente, por meio de seminários, as principais informações do Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT), tais como a situação de limpeza das faixas de segurança das linhas de transmissão com mais riscos de desligamentos por queimadas, diagnóstico de desligamentos das linhas de transmissão, tecnologias utilizadas para reduzir queimadas em faixas de linhas de transmissão, sistemas de monitoramento por satélite no apoio à manutenção dos ativos de transmissão, entre outros (Aneel, 2024). O Sistema GGT monitora 102 linhas de transmissão, que totalizam cerca de 43 mil quilômetros e mais de 86 mil vãos, em diferentes regiões do Brasil.

O Quadro 21 resume os principais desafios relacionados à expansão da transmissão no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 21 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Conciliar a expansão das LTs com a menor interferência possível na paisagem em áreas urbanas e periurbanas ou em áreas turísticas 	(a) Fortalecimento da articulação entre instituições de planejamento, licenciamento ambiental, regulação e operação de sistemas de transmissão na fase de planejamento. Acordo de cooperação entre EPE e o Ibama. (b) Elaboração, pela EPE e ONS, de nota técnica de critérios para definição de linhas de transmissão em circuito duplo ou em dois circuitos simples.	
Conservação da biodiversidade por meio da redução de supressão da vegetação nativa 	Itens (a) e (b) acima.	
Planejamento e operação do sistema de transmissão sob o risco das mudanças climáticas e seus efeitos	(c) Workshop “Resiliência de redes frente a fenômenos climáticos de elevada severidade” para compartilhamento de experiências com relação a eventos extremos (Aneel). (d) Roadmap Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas e <i>fact sheet</i> Transmissão e Mudanças Climáticas (EPE) (e) Tomada de Subsídios 002/2024, da Aneel, para avaliar a necessidade de intervenção regulatória para aumento de resiliência dos sistemas de transmissão frente a eventos extremos (f) Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT), publicado pela Aneel, com monitoramento de LTs, situação de limpeza das faixas de servidão, diagnóstico de desligamentos etc.	- Considerar o risco das mudanças climáticas e seus efeitos no âmbito do planejamento da transmissão. - Fomentar eventos entre as instituições do setor elétrico para troca de experiências em relação aos eventos extremos. - Realizar pesquisas e aprimoramento de tecnologias para monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos - Desenvolver planos de resposta a situações emergenciais.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da transmissão

A transição energética tem ganhado destaque no debate público, com o governo brasileiro implementando políticas para promover uma matriz elétrica sustentável e de baixo carbono. Entre as principais iniciativas estão a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten – Lei nº 15.103/2025), que buscam consolidar uma matriz mais limpa e eficiente.

O Programa de Transição Energética (CEBRI, 2023), desenvolvido em parceria pelo Centro Brasileiro de Relações Internacionais (CEBRI), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Centro de Economia Energética e Ambiental (CENERGIA), apresenta três cenários para o setor elétrico brasileiro, todos apontando para o crescimento da geração eólica e solar. Esse

aumento de geração é acompanhado por uma consequente expansão das linhas de transmissão do SIN, tanto para reforçar os subsistemas quanto para ampliar o intercâmbio de energia entre regiões.

Nesse contexto, a expansão da rede de transmissão se mostra como uma oportunidade para a integração de fontes renováveis ao SIN, garantindo acesso à energia de qualidade, menor custo e baixa emissão de carbono, especialmente nos sistemas isolados – localidades ainda não conectadas à rede nacional. De acordo com a Nota Técnica Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados – Ciclo 2024 (EPE, 2024b), o Brasil possui 175 localidades isoladas, concentradas principalmente na Região Norte (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima) e na Ilha de Fernando de Noronha (PE). Nos últimos anos, houve uma redução de 9% no número dessas localidades, graças a interligações como Parintins e Itacoatiara (AM), Feijó e Tarauacá (AC) e Pacaranã (RO), e a universalização do acesso em 16 comunidades de Roraima via Programa Luz para Todos.

A geração de energia nesses locais depende principalmente de termelétricas a diesel, o que eleva custos devido ao preço do combustível e de seu transporte, e gera impactos ambientais, como altas emissões de GEE, poluição atmosférica, riscos à saúde e riscos associados ao transporte. Além disso, essas regiões enfrentam problemas na qualidade do fornecimento de energia, com apagões frequentes, respondendo por 10% das interrupções de energia no país em 2024 (MME, 2024). Recentemente, porém, houve avanços com a entrada de usinas a gás natural e biomassa em Roraima, reduzindo parcialmente a dependência do diesel.

De acordo com três estudos elaborados pela EPE, Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados nos estados do Amazonas, Acre e Pará, a interligação de sistemas isolados ao SIN se mostrou economicamente mais atrativa em relação à geração isolada (EPE, 2023; EPE, 2021a e EPE, 2024a). Segundo estudo dos sistemas isolados do Amazonas e Pará (EPE, 2023), do ponto de vista socioambiental, a interligação dos sistemas isolados ao SIN, com a desativação das usinas termelétricas a diesel existentes, quando possível, contribuirá para a redução do nível de emissões de GEE e de poluição sonora, além de promover benefícios à saúde pública local.

Como exemplo vale citar as LT Manaus – Boa Vista (AM/RR) e a LT Rio Branco – Feijó – Cruzeiro do Sul (AC), que visam conectar regiões importantes de seus respectivos estados ao SIN. Em dezembro de 2024, a LT Feijó – Cruzeiro do Sul entrou em operação, interligando o município de Cruzeiro do Sul ao SIN, reduzindo a dependência de geração de energia a partir de óleo diesel. Conforme divulgado pela Energisa (2025), Cruzeiro do Sul era o segundo maior sistema isolado do Brasil, atrás apenas de Boa Vista – Roraima. Com a conexão da região ao SIN, foi antecipado o desligamento da usina termelétrica de Cruzeiro do Sul, reduzindo em mais de 500 mil toneladas as emissões de CO₂ na Amazônia.

Essas iniciativas estão alinhadas ao Decreto n. 11.648, de 16/08/2023, que institui o Programa Energias da Amazônia, que tem como objetivo promover investimentos em ações e projetos nos Sistemas Isolados localizados na região da Amazônia Legal. Entre as diretrizes do decreto destacam-se: viabilizar a interligação de Sistemas Isolados ao SIN, promover a melhoria da qualidade do suprimento de energia elétrica e a modicidade das tarifas e preços.

Assim, a expansão da transmissão não só fortalece a transição energética, mas também promove inclusão e justiça social, garantindo energia limpa e acessível a regiões menos assistidas.

O Quadro 22 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da transmissão no PDE 2035 e os fatores conjunturais favoráveis a essas oportunidades.

Quadro 22 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da transmissão

Oportunidades	Conjuntura favorável
Reduzir emissões de GEE nos sistemas isolados	- Interligação de Boa Vista (RR), e de Cruzeiro do Sul e Feijó (AC) ao SIN, com a implantação das LTs Manaus – Boa Vista e Rio Branco – Feijó – Cruzeiro do Sul, respectivamente
Aumentar a confiabilidade de atendimento aos sistemas isolados	- Nota Técnica Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados nos Estados do Acre, Amazonas e Pará
Reduzir o custo da oferta de energia	
Fortalecer a transição energética, integrando fontes de baixo carbono ao SIN e interligando os sistemas isolados	- Política Nacional de Transição Energética (PNTE) - Plano Nacional de Transição Energética (Plante) - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) - Programa de Transição Energética - Programa Energias da Amazônia

Indicadores socioambientais da expansão da transmissão

Os indicadores socioambientais apresentados na Tabela 19 apontam as possíveis interferências das linhas de transmissão a partir de sua sobreposição e/ou proximidade com áreas protegidas e assentamentos rurais.

Além disso, é estimado o número total de empregos diretos gerados, cujo cálculo é baseado no Modelo de Geração de Empregos (MGE), publicado pelo BNDES na Revista do BNDES 50 (BNDES, 2018). A metodologia leva em conta o investimento realizado ao longo dos anos de construção, que no caso da transmissão foi considerado de cinco anos para todos os empreendimentos. O número de empregos estimado é de aproximadamente 148.000 empregos diretos, considerando um investimento de cerca de 74 bilhões de reais para o horizonte decenal.

Tabela 19 – Indicadores socioambientais da expansão da transmissão de energia elétrica

Indicadores Ambientais	
Extensão total das LTs (km)	21.889
Extensão total da incidência de LTs em UC de proteção integral (km)	10
Extensão total da incidência de LTs em UC de uso sustentável (km)	758
Indicadores Socioeconômicos	
Extensão total da incidência de LTs em assentamentos do Incra (km)	530
N. de LTs com interferência direta em TI	0 de 212 LTs
N. de LT situadas a menos de 8 km de TI na Amazônia Legal ou a menos de 5 km nas demais regiões ⁽¹⁾	4 de 212 LTs
N. de LTs com interferência direta em TQ ⁽²⁾	0 de 212 LTs
Empregos diretos gerados na construção ⁽³⁾	148.000

Notas: (1) Distâncias definidas no Anexo I da Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015. (2) Considerando somente as áreas que possuem limites definidos a partir dos Relatórios Técnicos de Identificação e Delimitação (RTID). (3) Esse dado considera apenas os empregos diretos gerados no período de construção (5 anos), ou seja, há empregos indiretos gerados ao longo do período que não estão sendo considerados.

5 Análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados

5.1 Produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados

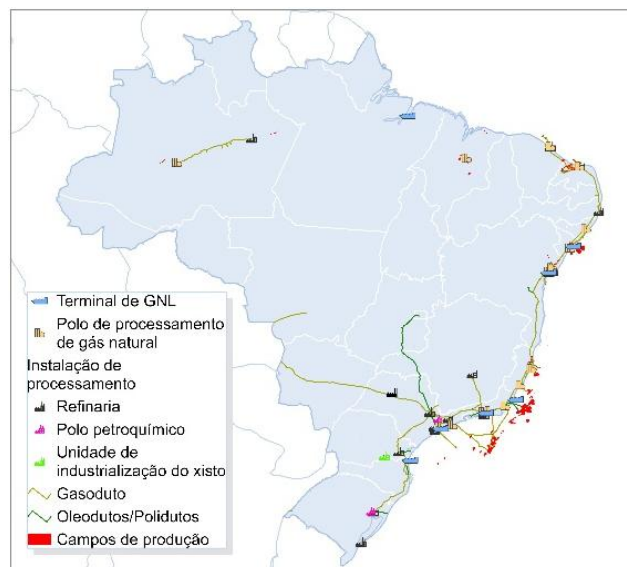
Benefícios da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

- Essas fontes possuem papel de destaque na economia mundial e são largamente empregadas em diversos setores, abrangendo **usos energéticos** para os setores residencial, industrial, agropecuário, comercial e público (gás liquefeito de petróleo, óleo diesel e óleo combustível), incluindo o setor elétrico e de transporte de pessoas e cargas (óleo diesel, gasolina, querosene de aviação e óleo combustível) e também **usos não energéticos**, como matéria-prima na indústria petroquímica, fabricação de asfaltos, lubrificantes, solventes, graxas, parafinas e outros produtos.
- O setor de petróleo e gás natural possui expressiva **relevância na economia nacional**, tendo sido responsável, entre 2010 e 2020, em média, por 17% do PIB industrial brasileiro (BNDES, 2023). Em 2024, pela primeira vez na história, o petróleo foi o produto mais exportado pelo Brasil, representando 13,3% do valor total exportado (MDIC, 2025).
- O crescimento das reservas de petróleo e gás natural e a manutenção do estoque de combustíveis contribuem para o aumento da **segurança energética** do país. Adicionalmente, a **geração de eletricidade a partir do gás natural confere segurança para o sistema elétrico**, especialmente diante do crescimento da participação das fontes renováveis variáveis (principalmente eólica e solar).
- Cadeia de produção associada a um setor de exploração e produção maduro, com **domínio técnico e tecnológico do uso, transporte e armazenamento dos recursos**.
- A **geração de conhecimento técnico-científico** tem sido fomentada pela indústria do petróleo principalmente a partir da década de 1970, com o projeto REMAC (Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira) e passando também pelo REVIZEE (Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva) na década de 1990 / início dos anos 2000. Mais recentemente, principalmente a partir dos anos 2000, os programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) das diferentes operadoras de petróleo passaram a ser importantes catalisadores da capacitação de pesquisadores e sustentação de relevantes pesquisas e ações de conservação, como nos projetos Coral Vivo, Meros do Brasil, Baleia Jubarte, Mares e Albatroz, entre outros.
- Existem potenciais benefícios socioeconômicos regionais e locais associados a toda a cadeia do petróleo e gás natural: **geração de empregos** diretos e indiretos e **aumento da arrecadação tributária**, contribuindo para o **dinamismo econômico da região**. Historicamente, as participações governamentais que sempre se destacaram em volume de recursos financeiros foram os *royalties* e participações especiais associados à fase de produção de petróleo e gás natural, tendo somado, em 2024, R\$ 100 bilhões (ANP, 2025a).

Produção atual de petróleo e gás natural e infraestrutura de abastecimento

Segundo o Anuário Estatístico 2025 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2025b), a produção nacional de petróleo em 2024 foi de 1,2 bilhão de barris e a de gás natural foi cerca de 56,1 bilhões de m³ nos 302 campos em produção, com destaque para a produção dos campos marítimos, que representaram 97,5% da produção de petróleo e 84,8% de gás natural, sendo 76,7% desses volumes referente ao pré-sal.

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2025a), em 2024 a produção foi responsável por cerca de 92% da oferta bruta de petróleo (212 x 10⁶ m³) e a importação por apenas 7%. Desta oferta bruta, 55% foram destinados à transformação e 45% à exportação. Aproximadamente 86% do consumo final dos derivados de petróleo é energético e 71% desse volume é consumido pelo setor de transportes. Para o gás natural, a produção foi responsável por 87% da oferta bruta (56 x 10⁹ m³) e a importação, por apenas 13%. A variação de estoques, perdas e ajustes representaram 50% da oferta bruta. Do total de gás natural consumido em 2024, o consumo final energético representou uma parcela de 25%, a transformação (produção de derivados de petróleo e geração elétrica) 24%, enquanto o consumo final não energético representou apenas 0,8%.



O sistema de abastecimento brasileiro é composto por refinarias e unidades de processamento de gás natural, além da infraestrutura logística associada. Visto que a produção nacional de petróleo e gás natural se concentra no mar, a infraestrutura presente se localiza predominantemente na costa. O processamento de petróleo é realizado em 17 refinarias, com capacidade instalada de 2,4 milhões de barris/dia (b/d). Adicionalmente, existe uma unidade de industrialização do xisto (Paraná Xisto), com capacidade de 6,1 mil t/dia. Já o processamento de gás natural é realizado em 14 polos, com capacidade de 109,7 milhões de m³/dia em 2024 (ANP, 2025b). Além disso, a infraestrutura para movimentação de petróleo, gás natural e derivados é formada por dutos, terminais terrestres e aquaviários, rodovias e ferrovias. Em 2024, o Brasil dispunha de 67 terminais aquaviários e 62 terminais terrestres, totalizando 2.529 tanques. Com relação à infraestrutura de dutos, em 2024, aproximadamente 20,5 mil km foram destinados ao transporte e transferência de petróleo, gás natural, etanol e derivados. Existiam ainda sete terminais de regaseificação de gás natural liquefeito (GNL) (ANP, 2025b).

Expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados nos próximos 10 anos

No período decenal está previsto que **105 Unidades Produtivas contratadas** iniciarão a produção de recursos convencionais de petróleo e gás natural, além de **35 blocos em oferta permanente delimitados em 7 UPUs** (Unidades Produtivas em áreas não contratadas que pertencem à União). Para as previsões da produção de petróleo e gás natural deste Plano Decenal, os blocos que estão em oferta permanente foram tratados de forma individualizada nas UPUs, quanto às previsões de volumes de produção e tiveram início de produção previsto para o final do horizonte, a partir de 2033. Todas as unidades planejadas atingirão cerca de 1,36 milhão de barris/dia de petróleo e aproximadamente 79 milhões de m³ por dia de gás natural em 2035. Já a produção total prevista para 2035 é de aproximadamente 300 milhões de m³ por dia de gás natural e cerca de 4,9 milhões de barris/dia de petróleo. Ressalta-se que o pico previsto para produção de petróleo ocorrerá em 2032, com 5,1 barris/dia e 1,9 bilhões de barris totais no ano. Já o pico de produção de gás natural deverá ocorrer em 2033, com 308 milhões de m³ por dia e 113 bilhões de m³ totais no ano, conforme apresentado no Capítulo 5 deste PDE 2035.

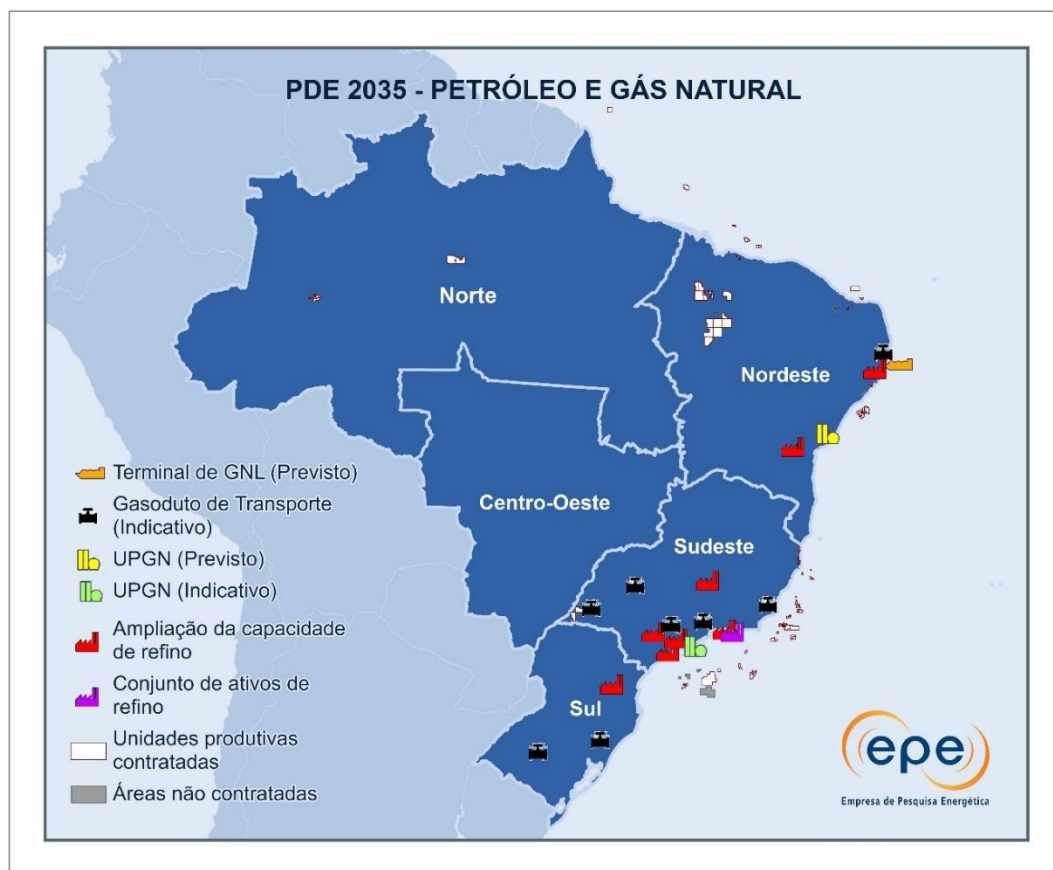
As UPs contratadas terrestres planejadas estão distribuídas majoritariamente nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Já as UPs contratadas planejadas *offshore* estão concentradas principalmente na região Sudeste, com ocorrência também no Nordeste e na Margem Equatorial⁶¹. As UPUs se localizam em áreas terrestres nas regiões Nordeste e Sudeste e áreas marinhas ao longo da costa da região Sudeste. Ressalta-se que a elaboração das curvas de produção constantes do PDE 2035 considerou a análise socioambiental prévia de 802 UPs contratadas e de áreas de exclusão sob as UPUs, conforme metodologia definida no item “Subsídios socioambientais para a expansão decenal/Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás” da presente nota técnica.

Em relação ao abastecimento, estão previstas **ampliações da capacidade de refino** de oito refinarias: Dax Oil (Camaçari/BA, +8 mil b/d); Regap (Betim/MG, +15 mil b/d); Replan (Paulínia/SP, +25 mil b/d); Revap (São José dos Campos, +19 mil b/d); Reduc (Duque de Caxias/RJ, +19 mil b/d); Repar (Araucária/PR, +13 mil b/d); RNEST (Ipojuca/PE, +130 mil b/d – 2º trem) e RPBC (Cubatão/SP, 23 mil b/d). Além disso, estão previstos outros investimentos em refino: modernização de unidade de hidrotratamento (HDT) de diesel da Revap visando à produção de diesel S10; ampliação da capacidade das unidades de coqueamento retardado e nova unidade de hidrotratamento de nafta na Replan; e nova unidade de hidrotratamento de diesel na Refap (Canoas/RS).

Está previsto também o estabelecimento de um conjunto de ativos de refino, o Complexo Boaventura (Itaboraí, RJ), que se constitui na integração operacional entre Reduc e Boaventura, com a conclusão das unidades de HCC e de HDT de diesel do antigo projeto da refinaria do Comperj, além da construção de nova unidade de hidrodesparafinação por isomerização por hidrogênio (HIDW) para a produção de óleos básicos lubrificantes do Grupo II.

Quanto à infraestrutura de gás natural, estão planejados **oito gasodutos de transporte, duas unidades de processamento de gás natural (UPGN) e um Terminal de regaseificação de GNL** para o decênio (Figura 16). Dos gasodutos, são indicativos: Bragança Paulista/SP – Extrema/MG (28 km); Duque de Caxias/RJ – Taubaté/SP (Corredor Pré-Sal Sul, 295 km); Gasoduto Biometano Porecatu/PR – Bilac/SP (185 km); Gasoduto Veredas/PE (Fase 1, 85,5 km); Iacanga/SP – Uberaba/MG (260 km); Porto do Açu-Gascav/ES – Gasog/RJ (45,5 km); Siderópolis/SC – Porto Alegre/RS (249 km); e Uruguaiana/RS – Triunfo/RS (593 km). As duas UPGNs planejadas são a UPGN Cubatão (12,5 MM m³/dia, Cubatão/SP, indicativa) e UPGN Miranga (0,29 MM m³/dia, Pojuca/BA, prevista). O terminal de regaseificação previsto é o de Suape (14 MM m³/dia, Ipojuca/PE).

⁶¹ Região que abrange a costa do Amapá ao Rio Grande do Norte.



Notas: (1) Mapeamento de Unidades Produtivas - Fontes: ANP (2025c) e EPE (2025b); (2) O tamanho do polígono das UPs e UPUs não é proporcional ao volume de produção ou às interferências socioambientais; (3) Áreas não contratadas = 35 Blocos em Oferta Permanente delimitados em 7 Unidades Produtivas da União (UPUs).

Figura 16 – Unidades produtivas, UPGNs, terminal e gasodutos de transporte planejados no PDE 2035

BOX 4 – E&P EM ÁREAS DE NOVAS FRONTEIRAS

O 5º Ciclo de Oferta Permanente de Concessão da ANP resultou no arremate de blocos em áreas de novas fronteiras (três blocos na bacia de Pelotas e 19 na bacia da Foz do Amazonas). Apesar de não ter sido previsto o início da produção desses blocos no horizonte deste PDE 2035 (ver Capítulo 5), são esperadas, ao longo do decênio, atividades exploratórias nessas regiões.

As novas fronteiras são áreas ou bacias sedimentares ainda pouco exploradas, o que implica em riscos socioambientais mais elevados, devido à existência de lacunas de conhecimento técnico-científico. Portanto, sua exploração demanda um olhar regionalizado e estratégico para subsidiar o planejamento cuidadoso das atividades de prospecção, instalação de infraestrutura e operação, de modo a prevenir acidentes e impactos sobre ambientes, espécies sensíveis e comunidades costeiras.

Para essas áreas, o desenvolvimento de estudos socioambientais estratégicos e mais amplos do que os estudos elaborados para o licenciamento ambiental de atividade específica, aliado à criação de canais de diálogo com a sociedade, é relevante para mitigar riscos e conflitos socioambientais e promover a sustentabilidade. Alguns exemplos de estudos dessa natureza são: planejamento espacial marinho, avaliação ambiental estratégica, avaliação ambiental de área sedimentar, diagnósticos regionais, estudos de PD&I direcionados a questões ecossistêmicas e mapeamentos participativos de áreas relevantes para as comunidades locais.

Outra boa prática importante para gerar benefício local direto é estabelecer iniciativas de capacitação nessas regiões, de modo a possibilitar a contratação de mão-de-obra local, tanto para os estudos socioambientais, quanto para as atividades de E&P.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

O aumento previsto das atividades de E&P e da capacidade de refino, da implantação dos gasodutos e do terminal de regaseificação requerem a gestão das interferências ambientais negativas e positivas, de modo a garantir um desenvolvimento sustentável associado ao setor.

A análise de interferências socioambientais busca sinalizar as principais questões de abrangência regional que deverão ser foco de gestão por parte do poder público e dos empreendedores associadas às atividades da cadeia de petróleo e gás natural. Considerando as sensibilidades típicas das diferentes regiões para as quais a infraestrutura está planejada no horizonte deste PDE 2035, indicam-se, a seguir, os principais impactos regionais reais e potenciais esperados, com o objetivo de contribuir para sua gestão. Os impactos reais são aqueles associados à instalação de infraestrutura e à rotina das atividades operacionais, enquanto os impactos potenciais são comumente aqueles associados ao risco de um acidente. Considera-se que impactos locais ou pontuais específicos serão tratados no licenciamento ambiental. Ressalta-se que os impactos potenciais são analisados nesta Nota Técnica, mas não constam da descrição dos temas socioambientais destacados para a Análise Integrada realizada no Capítulo 10 do PDE 2035.

Sobre as **atividades de E&P planejadas**, os impactos potenciais associados ao risco de acidentes com derramamento de óleo em corpos hídricos ou no mar continuam entre os que mais demandam atenção no âmbito do licenciamento ambiental. Nas áreas terrestres, destaca-se a sensibilidade a esse tipo de evento na região Norte, pela existência de ambientes únicos na Amazônia, e no Nordeste pelos conflitos pelo uso da água existentes. Já no mar, os ambientes sensíveis em ilhas e na costa do Nordeste merecem atenção em função do reduzido tempo de toque de óleo na costa⁶², pois a Plataforma Continental é estreita e por isso as unidades de E&P estão localizadas relativamente próximo à costa. Entretanto, como o risco de derramamento implica impactos potenciais e não impactos reais, esse fator não constou da descrição dos temas socioambientais da Análise Integrada apresentada no Capítulo 10 do PDE 2035. Entre as medidas mitigadoras desse impacto potencial, podem ser citadas: i. a instalação de BOP (*blowout preventer*)⁶³ junto à cabeça do poço, para evitar o *kick* de poço e minimizar o risco de *blowout* e ii. a elaboração dos Planos de Emergência Individuais (PEI) para cada empreendimento, conforme preconizado na Resolução Conama 398/2008 (CONAMA, 2008). Os setores de meio ambiente e energia estão sempre em articulação para aprimorar as medidas de resposta a derramamentos de óleo, sendo periodicamente discutidas as normativas e práticas promovidas pelos órgãos envolvidos com a questão: Ibama, ANP, Marinha, MME, associações do setor petrolífero e academia.

Entre os impactos reais, aqueles associados à pesquisa sísmica no ambiente *offshore* são relevantes e incidem especialmente sobre cetáceos (baleias e golfinhos), mas também sobre peixes e outros organismos da fauna marinha. Sendo assim, o tema **Biodiversidade** se torna relevante para as regiões Norte e Nordeste, incluindo a Margem Equatorial, além da região Sudeste. Para esta fonte de energia, o tema está associado à atividade de sísmica no mar, à instalação de estruturas no assoalho marinho (dutos e outros equipamentos) e às perfurações, que impactam a fauna bentônica. Essas interferências se destacam pelos possíveis efeitos cumulativos no Sudeste. As atividades previstas para as regiões Norte e Nordeste se localizam a partir do talude, em águas profundas e ultra-profundas, áreas com menor sensibilidade ambiental, mas ainda assim merecem ser mencionadas.

Para minimização dos impactos da atividade sísmica, existem restrições temporárias associadas aos cetáceos, sirênios e quelônios a fim de se evitarem maiores impactos a esses grupos. Além disso, o Ibama elaborou o Guia de Monitoramento da Biota Marinha com os procedimentos exigidos no licenciamento ambiental nessa atividade (IBAMA, 2018a). Como subsídio a medidas mitigadoras da interferência direta sobre habitats marinhos, são realizados projetos de monitoramento, com

⁶² Parâmetro utilizado nas modelagens de dispersão de óleo para determinar as medidas de contenção ao vazamento. O tempo de toque de óleo na costa é o tempo estimado pelo modelo para que a mancha de óleo chegue à costa.

⁶³ O BOP (*blowout preventer*) é um equipamento utilizado na exploração de petróleo e gás, destinado a controlar a pressão do poço e evitar a ocorrência de blowouts, que são erupções incontroláveis de fluidos e gases para dentro do poço, e que podem eventualmente atingir a superfície, com consequências graves. (dicionariopetroleoegas.com.br).

levantamento de dados físicos, químicos e biológicos, tanto para caracterização ambiental (*baselines*) quanto para o acompanhamento dos impactos. Nos projetos, quando há necessidade de instalação de estruturas no assoalho oceânico, também é comumente realizado o levantamento das condições físicas e bióticas do trecho (por exemplo, coletas de material e utilização de veículo de operação remota – ROV) e realizados desvios no traçado em função da presença de ambientes ricos em espécies ou endemismos. Tal levantamento também possui o objetivo de avaliar o impacto do descarte de cascalho (com fluido de perfuração aderido) sobre esses organismos. Para o descomissionamento adequado das estruturas com minimização de riscos para pessoas, meio ambiente e atividades do entorno, a ANP possui resolução que regula o descomissionamento de instalações de exploração e produção de petróleo e gás natural, além de divulgar painel dinâmico para o acompanhamento dos programas de descomissionamento de instalações (ANP, 2024b).

Também deve ser foco de gestão a possível introdução de espécies exóticas por embarcações, com efeitos sobre recifes de corais, bancos de algas calcáreas, costões rochosos e outros ecossistemas marinhos e costeiros. Vale ressaltar que tanto a movimentação de embarcações de apoio e de navios aliviadores associados à E&P, quanto a movimentação de navios cargueiros, associados a outras atividades econômicas, podem ser responsáveis pela entrada de espécies exóticas nos ecossistemas brasileiros. A interferência na atividade pesqueira também se constitui em processo impactante, mas é tratada com programas voltados à sua mitigação, como os projetos de monitoramento junto às comunidades pesqueiras (por exemplo, projetos de monitoramento do desembarque pesqueiro – PMDP); e à sua compensação, como o desenvolvimento de projetos de educação ambiental – PEA e de compensação da atividade pesqueira – PCAP nas comunidades afetadas pelas atividades. Em suma, quanto ao tema **Biodiversidade**, destaca-se a interferência na fauna nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste.

No que concerne às atividades *onshore*, para a região Norte, considerando o processo histórico de atração de população para os centros urbanos, núcleos de apoio às atividades de E&P, espera-se que ocorra pressão sobre serviços e infraestrutura urbana. Além disso, alerta-se para o fato de que há maior concentração de povos indígenas nessa região, o que demanda uma gestão rigorosa das atividades e um esforço de diálogo no âmbito dos projetos, para evitar interferências sobre seus modos de vida. Vale ressaltar que o Estudo Ambiental de Área Sedimentar do Solimões (EAAS Solimões) listou uma série de diretrizes estratégicas e recomendações ao licenciamento ambiental que podem dirimir conflitos e minimizar impactos ambientais (Consórcio Piatam-Coppetec e EPE, 2020). O próprio resultado de classificação de aptidão à E&P apresentado no estudo busca evitar impactos sobre os aspectos socioambientais mais relevantes da região, incluindo os modos de vida dos povos indígenas.

Já na região Nordeste, espera-se que a interferência mais expressiva da E&P seja a alteração dos modos de vida das comunidades locais, uma vez que essa tipologia de atividade não é comum no interior dessa região e possivelmente haverá cumulatividade, devido à quantidade de UPs previstas para iniciar a produção no decênio relativamente próximas entre si. Podem ser citadas como medidas mitigadoras de impactos relacionadas às boas práticas do setor a comunicação com as comunidades locais no âmbito dos projetos de E&P, realizada por meio dos planos de comunicação, e a contratação de mão de obra local. Portanto, destacam-se as interferências pressão sobre serviços e infraestrutura urbana na região Norte e alteração dos modos de vida das comunidades locais na região Nordeste, ambas sobre o tema **Organização Territorial**. Ainda sobre o tema Organização Territorial, as atividades de E&P *offshore* nas regiões Norte e Nordeste, ainda que em diferentes escalas, estão associadas à atração de população para os municípios litorâneos, o que indica a necessidade de planejamento da infraestrutura social (saúde, educação, habitação e demais serviços). Por outro lado, a geração de empregos e o recebimento de *royalties*⁶⁴, caso bem gerenciados, podem trazer benefícios socioeconômicos que contrabalanceiem as interferências negativas para ambas as regiões, bem como a possibilidade de desenvolvimento industrial.

⁶⁴ Conforme determina a Lei n. 9.478/1997, os *royalties* se aplicam a todos os campos de produção concedidos pela ANP. Já a participação especial é uma compensação financeira adicional aplicada a campos de grande volume de produção. Os critérios para enquadramento de um campo como de grande produção constam no Decreto n. 2.705/1998.

Em relação às ampliações na capacidade de **refino** e ao estabelecimento do Complexo Boaventura, todas esses ativos estão localizados principalmente em áreas industriais (uma refinaria na região Sul, duas na região Nordeste e cinco refinarias na região Sudeste, além de uma integração operacional). Portanto, não são esperados impactos regionais adicionais expressivos e seus aspectos ambientais específicos serão tratados no licenciamento ambiental. É esperada geração de empregos associados ao aumento da capacidade de refino e as estimativas são apresentadas no item “Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados”.

Os **gasodutos de transporte** planejados tiveram seus aspectos socioambientais analisados no âmbito do Plano Nacional Integrado de Infraestrutura de Gás Natural e Biometano (PNIIGB - EPE, 2025c). Destaca-se que os projetos com traçados sobrepostos a duas Unidades de Conservação de proteção integral possuem como premissa utilizarem faixas de dutos já instalados. Com relação às **UPGNs**, o projeto previsto UPGN Miranga (Pojuca/BA) será instalado no Recôncavo Baiano, enquanto a UPGN Cubatão (indicativa) será localizada junto à zona industrial daquele município. Portanto, considerou-se que não há impactos de abrangência regional relevantes a serem apontados. Entende-se que eventuais impactos locais poderão ser evitados ou mitigados no âmbito do licenciamento ambiental dos projetos.

O **terminal de regaseificação** previsto de Suape (PE) será alocado em região portuária já estabelecida e, portanto, não é esperada supressão de vegetação nativa de grandes extensões, que se reflita em escala regional. Mesmo assim, recomenda-se evitar a remoção de vegetação nativa, notadamente típica de mangue. Vale ressaltar a existência de ilhas e canais na região estuarina para a qual o terminal está previsto. Ainda, Suape está próximo a praias turísticas. Tais ambientes sensíveis demandam gestão da movimentação das embarcações de modo a evitar e mitigar eventuais impactos sobre a biota e as comunidades locais.

Como subsídio à Análise Integrada (Capítulo 10 do PDE 2035), foram selecionados os impactos reais de abrangência regional que mais se destacam, para permitir a compilação de temas socioambientais para o petróleo e gás natural como uma das fontes de energia analisadas. Nesse sentido, foram destacados, para a E&P, o tema **Biodiversidade** nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste e o tema **Organização Territorial** para as regiões Norte e Nordeste.

A Tabela 20 apresenta os temas socioambientais considerados relevantes na expansão prevista neste PDE para os componentes da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados, por região, para a Análise Integrada.

No Quadro 23 destacam-se as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão da produção de petróleo e gás natural e do abastecimento no PDE 2035; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada do PDE; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão; e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas, para a Análise Integrada (Capítulo 10 do PDE 2035).

Tabela 20 – Síntese da análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados no PDE 2035

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
E&P de petróleo e GN	 biodiversidade  organização territorial	 biodiversidade  organização territorial	não há projetos planejados	 biodiversidade	não há projetos planejados
Refinarias, UPGNs e Terminais de GNL	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas
Gasodutos	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas

Nota: A expressão “Interferências inexpressivas” significa que, apesar dos impactos existirem, não são tão expressivos diante da expansão e das sensibilidades regionais, não sendo identificados temas socioambientais relevantes.

Quadro 23 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Interferência na fauna	biodiversidade 	SE: <i>offshore</i> – efeito cumulativo em função da quantidade de empreendimentos existentes N e NE: <i>offshore</i> – interferências associadas à atividade sísmica, à instalação de estruturas no assoalho marinho e às perfurações	- Restrições temporárias e Guia de Monitoramento da Biota Marinha - Monitoramento de dados físicos, químicos e biológicos - Ver iniciativas no próximo item
Pressão sobre serviços e infraestrutura urbana	organização territorial	N: <i>onshore</i> – continuação do processo histórico de atração para os centros urbanos; <i>offshore</i> – chegada das atividades de E&P em novas localidades	- Planos de comunicação - Contratação de mão de obra local
Alteração dos modos de vida das comunidades locais		NE: <i>onshore</i> – chegada das atividades de E&P em novas localidades; cumulatividade entre as atividades previstas; <i>offshore</i> – chegada das atividades de E&P em novas localidades	- Planejamento da infraestrutura social

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Para um setor maduro como o setor petrolífero, notam-se diversas iniciativas que buscam lidar com os desafios que se apresentam, fruto de discussões envolvendo principalmente o MME, ANP, IBP e Ibama. As principais iniciativas e discussões em andamento envolvem a adequação do setor à redução das emissões de gases de efeito estufa e a compatibilização das atividades petrolíferas com a conservação

da biodiversidade. Além disso, um desafio que sempre se apresenta ao setor é o de reverter a aplicação dos *royalties* em benefícios efetivos para a população. Todos esses desafios estão relacionados à imagem do setor perante a sociedade e há preocupação em aprimorar esses aspectos.

Perante o relevante desafio da **redução das emissões de gases de efeito estufa**, o setor vem sendo pressionado a contribuir com as políticas climáticas e mitigar possíveis riscos futuros de conformidade e de competitividade ao negócio.

Nesse sentido, observa-se que as empresas estão aderindo a iniciativas voluntárias e adotando ações no intuito de compatibilizar suas emissões aos objetivos dos acordos internacionais e contribuir com os esforços de transição para uma economia de baixo carbono. Algumas das principais iniciativas são: Programa Brasileiro GHG Protocol, que busca estimular a elaboração de inventário de emissões de GEE (FGVces, 2025); World Bank's Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR), que almeja eliminar a queima de rotina em *flare* e reduzir as emissões de metano (Banco Mundial, 2025); Oil and Gas Climate Initiative (OGCI), que busca acelerar ações para atingir o *net zero* em 2050 (OGCI, 2025); e Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD) que desenvolveu orientações para auxiliar na divulgação de riscos e oportunidades climáticas (TCFD, 2025).

Entre as medidas adotadas pelas empresas para redução das emissões de GEEs das operações estão: gerenciamento e monitoramento das emissões de metano, eliminação da queima não emergencial em *flare*, eletrificação das unidades de *upstream*, captura e armazenamento de carbono (em inglês: Carbon Capture and Storage – CCS) entre outras. Em relação ao CCUS (que adiciona a utilização do carbono resultante do processo), cabe destacar que a Petrobras reinjeta o CO₂ de volta ao reservatório nos campos do pré-sal e já possui o maior programa de reinjeção de CO₂ offshore do mundo, e tem como meta alcançar volume acumulado de reinjeção de 80 MtCO₂ em 2025 (PETROBRAS, 2025a).

Adicionalmente, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas estão em elaboração no âmbito do Plano Clima 2024-2035. Eles serão importantes para orientar a adoção de medidas de reduções de emissões de GEE, de modo a atender as metas setoriais que serão definidas e auxiliarão o cumprimento da NDC brasileira. Outro instrumento importante será o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei nº 15.042/2024, no qual os operadores sujeitos à regulação deverão cumprir as obrigações específicas, a depender das emissões de suas instalações.

Entre outras iniciativas nacionais estão: a Resolução CNPE n. 8 de 2024, que estabelece diretrizes para a promoção da descarbonização das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural; o Painel Dinâmico de Emissões de Gases de Efeito Estufa, que divulga as emissões de GEE das bacias de produção de petróleo e gás natural nacionais, lançado em 2025 pela ANP; o Programa Gás para Empregar, que busca promover ações que integrem o gás natural à estratégia nacional de transição energética e favorecer o desenvolvimento de soluções de baixo carbono (CNPE, 2023; BRASIL, 2024); a Lei do Combustível do Futuro (Lei n. 14.993/2024) e o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono (Lei n. 14.948/2024), que são iniciativas que promovem a utilização de combustíveis de baixo carbono; e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela Lei n. 15.103/2025, que visa promover a geração e uso eficiente de energia de baixo carbono.

Todas essas iniciativas refletem a movimentação do setor de óleo e gás para implementar medidas de mitigação das emissões e, assim, atender as regulamentações climáticas em desenvolvimento. Além de se posicionar perante a transição energética, adota protagonismo no financiamento de uma transição justa e inclusiva, visando à transformação para uma economia de baixo carbono, que concilie suprimento energético com sustentabilidade ambiental e social (BNDES, 2023).

Diante do desafio da redução das emissões de GEE, envolvendo a discussão das consequências das mudanças climáticas, recomenda-se que o setor fortaleça e aprimore a comunicação com a sociedade sobre suas iniciativas de descarbonização, bem como seu papel na transição para uma economia de baixo carbono. Nesse sentido, o documento “Rethinking Transitioning Away from Oil and Gas”, publicado pela Catavento, com apoio do Instituto Clima e Sociedade (ICS) e IBP, exemplifica uma iniciativa setorial de

comunicação e geração de conhecimento, contribuindo com a discussão sobre a transição energética no mundo e o posicionamento do Brasil nesse cenário (CATAVENTO CONSULTORIA, 2024).

Diante do desafio de **compatibilizar as atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade**, as operadoras estão em constante aprimoramento de seus processos. A Petrobras incluiu no seu Plano Estratégico medidas de gestão da disponibilidade hídrica nos locais onde atua; gestão de resíduos e economia circular; e ações de conservação e restauração de Biodiversidade (“alcançando ganhos de biodiversidade até 2030, com foco em florestas e oceanos”) (PETROBRAS 2025b). O Plano de Negócios estabelece ainda uma estratégia de descomissionamento alinhada à hierarquia de resíduos e circularidade, mantendo o desmantelamento sustentável como alternativa para unidades inelegíveis ao reaproveitamento. Além das ações de reflorestamento e conservação direta dos biomas onde atua, a Petrobras investe em soluções baseadas na natureza para compensar suas emissões. Algumas iniciativas nesse sentido são: a parceria com o BNDES no âmbito da Floresta Viva (investimento em projetos de reflorestamento, com destaque para o ecossistema de manguezal) e o Investimento socioambiental voluntário (apoio a organizações da sociedade civil no plantio e coleta de sementes, além de ações de proteção e monitoramento, que em 2023 beneficiaram 460 espécies da fauna e da flora na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica) (PETROBRAS, 2025c).

Também são verificadas iniciativas de articulação entre os setores de petróleo e meio ambiente: no controle de espécies exóticas (IBAMA, 2018b); no planejamento integrado entre os setores petrolífero e ambiental (BRASIL, 2012; CONSÓRCIO PIATAM-COPPETEC/EPE, 2020; ECOLOGY/ANP, 2020); e também nas discussões no âmbito do Planejamento Espacial Marinho (PEM), que vem sendo coordenado pela Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Secirm) e pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) (CIRM, 2025).

Para aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental de E&P, foram observadas as seguintes iniciativas recentes: elaboração de proposta de Caderno de Boas Práticas no Licenciamento Ambiental das atividades de E&P, no âmbito do Programa Reate (Programa de Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres) (IBP, 2021); elaboração dos guias de avaliação ambiental, que irão contemplar orientações específicas para sísmica, perfuração e produção de petróleo e gás natural (IBAMA 2020, 2022 e 2023a); e o Plano Macro, que busca promover a integração dos procedimentos de gestão de impactos ambientais associados às atividades licenciadas nas bacias de Campos, Santos e Espírito Santo (IBAMA, 2023b).

Ainda, para estimular a exploração, o desenvolvimento e a produção de petróleo e gás natural de forma sustentável, foi instituído o Programa Potencializa E&P (MME, 2024), do qual destacam-se os seguintes objetivos específicos:

“(...) V - adotar, dentro das atribuições do Ministério de Minas e Energia, ações que conduzam a uma melhor sinergia entre a oferta de áreas e o processo de licenciamento ambiental;

(...) VII - assegurar a observância das normas ambientais, de segurança operacional e das melhores práticas nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural;

(...) IX - propor aprimoramentos para o Sistema de Oferta Permanente de áreas para exploração e produção de petróleo e gás natural;

(...) XI - promover ações para mitigar as emissões de gases do efeito estufa nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural; e

XII - propor ações para a utilização dos recursos do Fundo Social para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.”

No que se refere aos aspectos socioeconômicos, uma discussão relevante é na direção de se **reverter a aplicação dos royalties em benefícios efetivos para a população**. Apesar da sólida empregabilidade e do recebimento de volumes significativos de rendas petrolíferas, o desenvolvimento econômico

local depende da gestão adequada dos recursos. Estudos apontam que municípios beneficiados por *royalties*, sobretudo aqueles que recebem grandes volumes, percebem um efeito positivo no aumento dos investimentos públicos (TAVARES e ALMEIDA, 2014; REIS E SANTANA, 2015) e, mesmo assim, os aumentos dos gastos com educação e saúde podem ser duas ordens de grandeza menores que o aumento da receita (LEÃO et al., 2024). Surpreendentemente, há indícios de que municípios recebedores de *royalties* podem apresentar uma redução, ainda que pouco expressiva, no seu IDH, quando comparados com municípios equivalentes que não recebem tais recursos (TAVARES E ALMEIDA, 2014).

Uma iniciativa no sentido da boa gestão municipal é a criação de fundos soberanos subnacionais, administrados por municípios ou estados, que têm como fonte parte das receitas dos *royalties* e participações especiais, de modo a criar uma poupança pública para assegurar a execução de políticas para impulsionar o desenvolvimento local, promovendo a diversificação e a sustentabilidade econômica da região a longo prazo (municípios de Niterói e Maricá/RJ, Ilhabela/SP e estado do Espírito Santo). Outra iniciativa é o “Projeto de Educação Ambiental Rendas do Petróleo – Tecendo Participação Popular”, condicionante do licenciamento ambiental federal (Ibama) da produção e escoamento na bacia de Santos, que tem como finalidade fomentar o debate público sobre a distribuição e aplicação dos recursos financeiros provenientes de *royalties* e participações especiais. Por meio do envolvimento de grupos afetados e segmentos representativos da sociedade civil, busca-se desenvolver estratégias de educação ambiental para capacitar a população a acessar informações sobre os *royalties* municipais, fortalecendo o controle social e ampliando a participação democrática na gestão dessas receitas (PETROBRAS, 2024).

O Quadro 24 resume os principais desafios relacionados à expansão da produção de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 24 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Redução das emissões de GEE	- Adesão a iniciativas que promovem ações para o clima: Programa Brasileiro GHG Protocol; World Bank’s Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR); Compromisso Global do Metano; Oil and Gas Climate Initiative (OGCI); Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD) - Adoção de medidas para redução das emissões de GEE das atividades, como gerenciamento e monitoramento das emissões de metano; eliminação da queima não emergencial em <i>flare</i>; eficiência energética; tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS⁶⁵) - Plano Clima e os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas - SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões - Diretrizes para a promoção da descarbonização (CNPE) - Painel Dinâmico de Emissões de Gases de Efeito Estufa da ANP - Programa Gás para Empregar - Documento “The O&G industry and the transition away: dimensions, results and key messages”	- Continuar a implementar medidas de mitigação das emissões para atender às regulamentações climáticas em desenvolvimento. - Aprimorar a comunicação com a sociedade sobre suas iniciativas de descarbonização, bem como seu papel na transição para uma economia de baixo carbono.

⁶⁵ Carbon Capture and Storage (CCS) e Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Compatibilizar as atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade 	- Ações de ASG da Petrobras - Descomissionamento sustentável - Articulação intersetorial - Iniciativas para aprimoramento do licenciamento ambiental - Programa Potencializa E&P	
Reverter a aplicação dos royalties em benefícios efetivos para a população	- Criação de fundo soberano subnacional para resguardar reservas de <i>royalties</i> e participações especiais recebidos (municípios de Niterói e Maricá/RJ, Ilhabela/SP e Estado do Espírito Santo). - Implementação do Projeto de Educação Ambiental (PEA) Rendas do Petróleo - Tecendo Participação Popular para envolver grupos afetados e segmentos representativos da sociedade civil no debate sobre distribuição e aplicação dos recursos provenientes de <i>royalties</i> e participações especiais, fortalecendo o controle social e ampliando a participação na gestão das receitas (bacia de Campos).	- Levantar e implementar mecanismos, como por exemplo modificação na legislação subnacional, para indicar a destinação dos <i>royalties</i> para demandas particulares de cada município/estado. - Incentivar iniciativas que permitam monitorar a destinação das rendas petrolíferas. - Promover fóruns de discussão que orientem a destinação dos <i>royalties</i> em nível municipal.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados

Vislumbra-se a oportunidade socioambiental de **diversificação de portfólio e prestação de serviços de baixo carbono** associada à expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados prevista para o decênio.

Além de financiar a transição, a renda do petróleo pode viabilizar uma nova fase de industrialização, garantindo a participação no desenvolvimento das cadeias tecnológicas a serem desenvolvidas no contexto da transição, potencializando a geração local de renda e de empregos qualificados nas atividades econômicas em rápida transformação e aproveitando o potencial brasileiro como grande produtor global de energias competitivas e sustentáveis ambientalmente (BNDES, 2023). As empresas de petróleo têm diversificado seu portfólio no contexto da transição energética, tornando-se conhecidas como “empresas de energia”. A Petrobras indica, em seu Caderno de Mudança do Clima, os seguintes eixos de atuação no sentido de aproveitar essa oportunidade que se apresenta:

- **Bioprodutos** – parcerias estratégicas e adaptação do parque de refino para produção de etanol, biodiesel e biometano; projetos para implantação de novas plantas dedicadas à produção de combustível sustentável de aviação (SAF) e diesel renovável; combustível marítimo com conteúdo renovável; coprocessamento para produção de hidrocarbonetos leves de refinaria (HLR), propeno e etileno com conteúdo renovável; processamento de óleos vegetais para produção de bioaromáticos.
- **Produtos de baixo carbono de origem mineral** – asfalto de alta penetração, ideal para serviços de reciclagem a quente de revestimentos asfálticos danificados ao permitir um maior uso de conteúdo reciclado; e cimento asfáltico que pode ser usinado e aplicado em temperaturas até 40°C menores do que as usuais, gerando economia de energia e menor emissão de GEE e vapores.
- **Produtos com emissões de GEE compensadas** – gasolina Petrobras Podium carbono neutro – emissões de GEE compensadas em todo seu ciclo de vida por meio de créditos de carbono gerados por ações de preservação florestal de biomas nacionais.

- **Hidrogênio de baixo carbono** – planta-piloto em implantação na Usina Termelétrica do Vale do Açu, no Rio Grande do Norte, com previsão de entrada em operação no primeiro trimestre de 2026.
- **Energia elétrica** – solar fotovoltaica e eólica *onshore* até 2030 e futuras oportunidades de negócios em eólica *offshore*.
- **CCUS** (está em estudo a viabilidade de desenvolvimento de projetos de hub de CCUS no Brasil, que visam prestar o serviço para o abatimento tanto das emissões próprias quanto de terceiros. Nesse novo modelo de negócio, o CO₂ é capturado em diferentes localidades e fontes de emissão – refinarias, indústria de cimento, de aço, de alumínio, indústria química, termoeletricas, usinas de etanol, entre outros – e transportado por meio de uma malha conectada, compartilhada e otimizada de transporte, para posterior armazenamento em reservatórios geológicos, que sejam adequados e seguros (PETROBRAS, 2025a).

O Quadro 25 resume a principal oportunidade relacionada à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitar a oportunidade identificada.

Quadro 25 – Principal oportunidade socioambiental e sua conjuntura relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados

Oportunidades	Conjuntura favorável
Diversificação de portfólio e prestação de serviços de baixo carbono	- Mecanismos financeiros com compromissos de sustentabilidade

Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Os indicadores ambientais foram calculados utilizando-se recursos de geoprocessamento, ou seja, foi analisada a eventual sobreposição entre os empreendimentos previstos para o decênio e **Unidades de Conservação (UC)**, distinguindo-as entre proteção integral e uso sustentável. Três indicadores socioeconômicos também foram calculados da mesma forma: **número de UPs contratadas com sobreposição a Terras Indígenas (TI)**, **extensão de gasodutos em TI e em Terras Quilombolas (TQ)** e **extensão de gasodutos em assentamento rural**. Vale ressaltar que, conforme sinalizado na Figura 16 (Nota 2), não é possível estabelecer uma relação obrigatória entre sobreposição de UPs com essas áreas e interferências socioambientais sobre UC ou TI. Foi observada sobreposição com blocos exploratórios, que são áreas extensas sobre as quais é concedido o direito à exploração do recurso. No entanto, mesmo que este recurso esteja próximo à área de sobreposição, a perfuração direcional permite evitar a interferência direta sobre a UC ou TI.

Os indicadores socioeconômicos positivos da E&P correspondem aos empregos e recursos financeiros gerados, ambos avaliados a partir da estimativa de produção de recursos de petróleo e gás natural no decênio. Para o cálculo das participações governamentais, consideraram-se apenas as arrecadações consolidadas dos estados e municípios provenientes de **royalties e participações especiais** sobre as receitas das atividades de E&P relativas às unidades produtivas de recursos descobertos dentro do horizonte deste PDE 2035. Ressalta-se, ainda, que as referidas arrecadações variam em função dos volumes produzidos, do regime fiscal e cambial, e dos preços praticados nos mercados nacionais e internacionais do petróleo e gás natural.

A estimativa para **geração de empregos diretos** em E&P considerou a relação entre a produção nacional de petróleo e gás natural e os dados de empregos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Para a ampliação da capacidade de refino, também foi observada a relação entre a capacidade de refino e os empregos da RAIS. Para UPGNs, Terminal de GNL e gasodutos, o número de empregos foi estimado a partir de informações contidas em estudos ambientais de empreendimentos.

Tabela 21 – Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Indicadores Ambientais ¹	
E&P de petróleo e gás natural	
Número de UPs com sobreposição a UC de proteção integral	0 de 105 UPs contratadas
Número de UPs com sobreposição a UC de uso sustentável	4 de 105 UPs contratadas
UPGN	
Número de UPGNs com sobreposição a UC de uso sustentável	0 de 2 planejadas
Gasodutos	
Extensão em UCs de uso sustentável	150 km dos 1.741 km
Extensão em UCs de proteção integral	5 km* dos 1.741 km
Indicadores Socioeconômicos	
E&P de petróleo e gás natural	
Número de UPs com sobreposição a TI ¹	1** de 105 UPs contratadas
Número máximo de empregos diretos gerados ²	16.400
<i>Royalties</i> e participações especiais – média anual (R\$ bilhões) ²	64,5
Gasodutos	
Extensão em Terras Indígenas ¹	0 km dos 1.741 km
Extensão em Terras Quilombolas ¹	0 km dos 1.741 km
Extensão em assentamentos rurais ¹	9 km dos 1.741 km
Empregos diretos gerados no pico das obras ³	25 mil
UPGNs	
Empregos diretos gerados no pico das obras ⁴	664
Terminal de GNL (regaseificação)	
Empregos diretos gerados no pico das obras ⁵	543
Refino	
Número máximo de empregos diretos gerados na operação ⁶	2.700

Notas: *Essa extensão se refere a dois gasodutos que estão associados à premissa de serem implantados em faixa de duto existente: Siderópolis/SC – Canoas/RS e Duque de Caxias/RJ – Taubaté/SP. **Esta UP é um bloco que foi licitado na Rodada 14 (2017) e a Terra indígena começou a constar da base georreferenciada da Funai em 2019. Portanto, o bloco foi licitado antes do conhecimento da existência da TI pela ANP. (1). Indicadores estimados a partir de: ELETROBRAS, 2011; FUNAI, 2025; INCRA, 2025 e MMA, 2025. (2). Indicadores socioeconômicos estimados a partir da relação entre as curvas de produção constantes do Capítulo V “Produção de Petróleo e Gás Natural” deste PDE 2035 e os dados de empregos da RAIS. O número de empregos estimados por ano partiu da média histórica entre os anos 2016 e 2023 para a relação barril de óleo equivalente/dia (boe/dia) / empregado. Foi aplicada ainda uma eficiência de 2 % a.a. a essa relação, considerando avanços na automação e no controle de processos, bem como alta produtividade do pré-sal. Para o resultado deste indicador, foi adotada a diferença entre o valor do ano de 2031, quando a produção atinge seu pico neste PDE 2035, e o valor do ano de 2025, ano anterior ao decênio analisado. *Royalties* e participações especiais destinados a estados e municípios, calculados apenas para os recursos descobertos. Atualização metodológica considerou que as estimativas de arrecadação das Participações Especiais foram calculadas com base exclusivamente nos ativos sob regime de concessão, representando uma alteração metodológica em relação ao PDE 2034, no qual a base de referência incluía também ativos sob outros regimes de contratação. A mudança visa alinhar os cálculos às diretrizes regulatórias vigentes e aprimorar a consistência das projeções. (3). Número de empregos estimados a partir da relação “14,4 empregos por quilômetro de duto” calculada a partir das seguintes referências: Biodinâmica/Petrobras (2006 e 2007), Petrobras/Piatam (2008), GNA/HabTec Mott MacDonald (2017), Rota 4 Participações AS/Mineral Engenharia e Meio Ambiente (2019) e GNA/Ecology Brasil (2020). (4) Número de empregos estimados a partir da relação “49,4 empregos por MM m³/dia de processamento” calculada a partir de GNA/Ecology Brasil (2020). (5). Número de empregos estimados a partir da relação “38,8 empregos por MM m³/dia de processamento” calculada a partir de GNA/CPEA (2017). (6) Número de empregos estimados a partir do aumento da capacidade de refino previsto neste PDE 2035 para oito refinarias. O número de empregos estimados por ano partiu da média histórica entre os anos 2016 e 2024 para a relação capacidade de refino (barris/dia) / empregado. Para o resultado deste indicador, foi adotada a diferença entre o valor do ano de 2027, quando a produção atinge seu pico neste PDE 2035, e o valor do ano de 2025.

6 Análise socioambiental da oferta de biocombustíveis

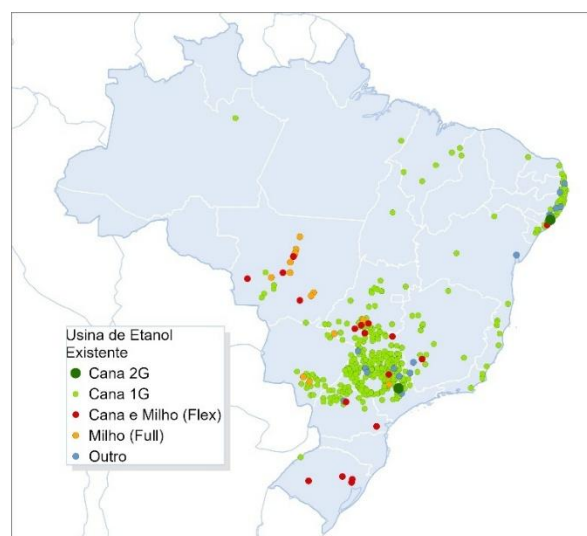
6.1 Etanol

Benefícios do etanol

- O etanol é um **combustível renovável** utilizado como aditivo e substituto direto da gasolina automotiva. No Brasil, atualmente é misturado compulsoriamente à gasolina no percentual de 30% (etanol anidro) ou utilizado puro (etanol hidratado).
- Os principais benefícios ambientais de seu uso como substituto ou adicionado à gasolina estão relacionados à **baixa emissão de poluentes atmosféricos**, como o monóxido de carbono, material particulado e óxidos de enxofre. Adicionalmente, o etanol também contribui para a **mitigação das emissões de gases de efeito estufa** (GEE), uma vez que parte do carbono liberado na sua queima é absorvido pela planta por meio do processo de fotossíntese.
- Existem também **benefícios econômicos e sociais** associados à produção de etanol pela geração de empregos diretos e indiretos, demanda por bens e serviços, e arrecadação tributária, gerando impactos econômicos positivos.
- Adicionalmente, o avanço no uso do milho como matéria-prima possibilita aumentar a produção de etanol na entressafra da região Centro-Sul, reduzindo a volatilidade nos preços e aumentando a **segurança energética** do país.

Oferta atual de etanol

De acordo com a Análise de Conjuntura de Biocombustíveis – Ano 2024 (EPE, 2025), o volume de etanol produzido no país em 2024 foi de **37,3 bilhões de litros** (5,7% superior a 2023). Esse volume é majoritariamente oriundo da indústria sucroalcooleira, mas a participação do etanol de milho segue crescendo, atingindo 7,6 bilhões de litros, um crescimento de 33% em relação a 2023. Registraram-se, em abril de 2025, **367 usinas em operação**, sendo 337 usinas sucroenergéticas, considerando cana 1G (primeira geração), cana 2G (segunda geração) e usinas flex (cana e milho), além de 19 usinas de milho full e 11 que produzem etanol a partir de outras matérias-primas (figura ao lado). Das usinas produtoras de etanol, em maio de 2025, 292 possuíam Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis, podendo solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização – CBIOS (ANP, 2025).



Com relação à área cultivada com cana-de-açúcar dedicada à produção de açúcar e etanol, para a safra 2024/2025, a estimativa é de crescimento de 5,3% em relação à safra anterior, alcançando aproximadamente 8,77 M ha. O cultivo está concentrado na região Sudeste (65%), especialmente no estado de São Paulo (CONAB, 2025a).

De forma geral, a produção de milho no Brasil é dividida em duas épocas. O plantio de verão, ou primeira safra, é realizado durante o período chuvoso, que varia entre as regiões do país. Mais recentemente, a produção anual de milho tem aumentado por conta da safrinha ou segunda safra. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, plantado em fevereiro ou março, geralmente depois da soja, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Verificou-se, nas últimas safras, uma redução da área plantada na primeira safra, que tem sido compensada pela safrinha e pelo aumento na produtividade no cultivo do grão. A cultura de milho é uma importante fonte de renda

para os agricultores e possui sinergia com os criadores de bovinos, suínos, aves e outros animais, representando uma parcela significativa das rações desses animais (EMBRAPA, 2021).

Vale ressaltar que a partir de 2019, a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) começou a categorizar uma terceira safra, que se estende de abril a junho e acontece majoritariamente nos estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco, Roraima e Sergipe. A terceira safra alcançou 2,48 milhões de toneladas no ciclo 2023/24, com tendência de crescimento, em especial nos ciclos mais recentes. (CONAB, 2025)

Nos últimos anos tem se verificado aumento expressivo nos volumes de etanol de milho, produzidos sobretudo na segunda safra. As vantagens competitivas do etanol de milho em relação ao de cana-de-açúcar estão atreladas a características do grão, da cultura de milho e de seu processo produtivo. A rota de obtenção do etanol de milho, apesar de necessitar de mais etapas, possui como vantagens o elevado rendimento de etanol, além da produção de óleo de milho associada, bem como o aproveitamento dos coprodutos secos (ou DDGS⁶⁶) na nutrição animal. Destaca-se também a evolução tecnológica que permite ganho de eficiência no processo com a redução no tempo de fermentação nas plantas de etanol de milho brasileiras em comparação com as dos Estados Unidos, por exemplo (SILVA e CASTAÑEDA-AYARZA, 2021).

Quanto ao rendimento do milho e da cana para a produção de etanol, uma tonelada de milho produz de 370 a 460 litros do combustível, enquanto uma tonelada de cana produz de 70 a 80 litros. Contudo, a cultura de milho tem menor rendimento por área, de 5 t/ha, contra 70 t/ha da cana. (Centro de Conhecimento em Bioenergia, 2020). Com isso, em média um hectare de cultivo de cana é capaz de produzir 4900 a 5600 mil litros de etanol, enquanto um hectare de cultivo de milho produz 1850 a 2300 mil litros do biocombustível, cerca de 40% da produtividade da cana.

O etanol de cana produzido no Brasil tem, na média, a capacidade de poupar emissões de gases do efeito estufa ligeiramente maior que o etanol de milho, considerando a pegada de carbono desde o cultivo até a queima do biocombustível nos veículos. A energia gerada pela queima do etanol de cana no Brasil poupa aproximadamente 59 g CO₂eq/MJ (gramas de CO₂ equivalente por megajoule) em comparação com a energia gerada pela gasolina. Esse valor é ligeiramente maior que o poupado com o etanol de milho, de cerca de 57 g CO₂eq/MJ, de acordo com a média das notas de eficiência de usinas cadastradas no RenovaBio em novembro de 2024. Esses valores não consideram a pegada de carbono das usinas flex (GLOBO RURAL, 2024).

Um comparativo prévio mostrou que o bioetanol de cana-de-açúcar brasileiro apresenta um balanço energético melhor (17,7 MJ/L de bioetanol) e uma pegada de carbono menor (38,5 g CO₂e/MJ) do que o bioetanol dos EUA, que possui um balanço energético de 11,2 MJ/L de bioetanol e pegada de carbono de 44,9 g CO₂e/MJ. Os resultados mostram diferenças regionais nas pegadas e destacam a necessidade de se considerarem essas diferenças para entender as implicações da produção de biocombustíveis sobre a produção líquida de energia e a mitigação das mudanças climáticas (MEKONNEN et al, 2018).

Com relação às emissões de gases de efeito estufa, a EPE estima que, com o uso do etanol (anidro e hidratado), foram evitadas no Brasil, em 2024, 65,3 MtCO₂ em 2024, em comparação com o uso da gasolina (EPE, 2025).

Expansão da oferta de etanol nos próximos 10 anos

O cenário de oferta⁶⁷ de etanol do PDE 2035 prevê expansão da oferta de 40,3 bilhões de litros em 2026 para **50,5 bilhões de litros em 2035** (aumento de aproximadamente 10,2 bilhões de litros). O etanol oriundo de milho terá predomínio na expansão, com incremento de cerca de 5,1 bilhões de litros no decênio. Já para etanol de cana-de-açúcar e de segunda geração (2G) é previsto um incremento de 4,2 bilhões de litros e de cerca de 0,9 bilhão de litros, respectivamente. Estima-se para o final do decênio (2035) a oferta de cerca de 33 bilhões de litros de etanol de cana, 16,3 bilhões de litros de etanol de milho e 1 bilhão de litro de etanol 2G, que utilizará uma parcela do bagaço e da palha produzidos.

⁶⁶ Sigla em inglês para *Dried Distiller's Grains with Solubles*; em português: grãos secos com solúveis de destilaria (de milho).

⁶⁷ A oferta considera o volume total de importação e produção de etanol oriundo da cana-de-açúcar, milho, cana 2G e outras matérias-primas.

Existem três modelos de usinas de etanol de milho operando no Brasil: as Usinas *Full*, que processam exclusivamente milho para produção de etanol; as Usinas Flex, que são aquelas de cana-de-açúcar adequadas para produzir etanol de milho no período da entressafra da cana; e as Usinas Flex *Full*, que são usinas de cana e milho que operam paralelamente.

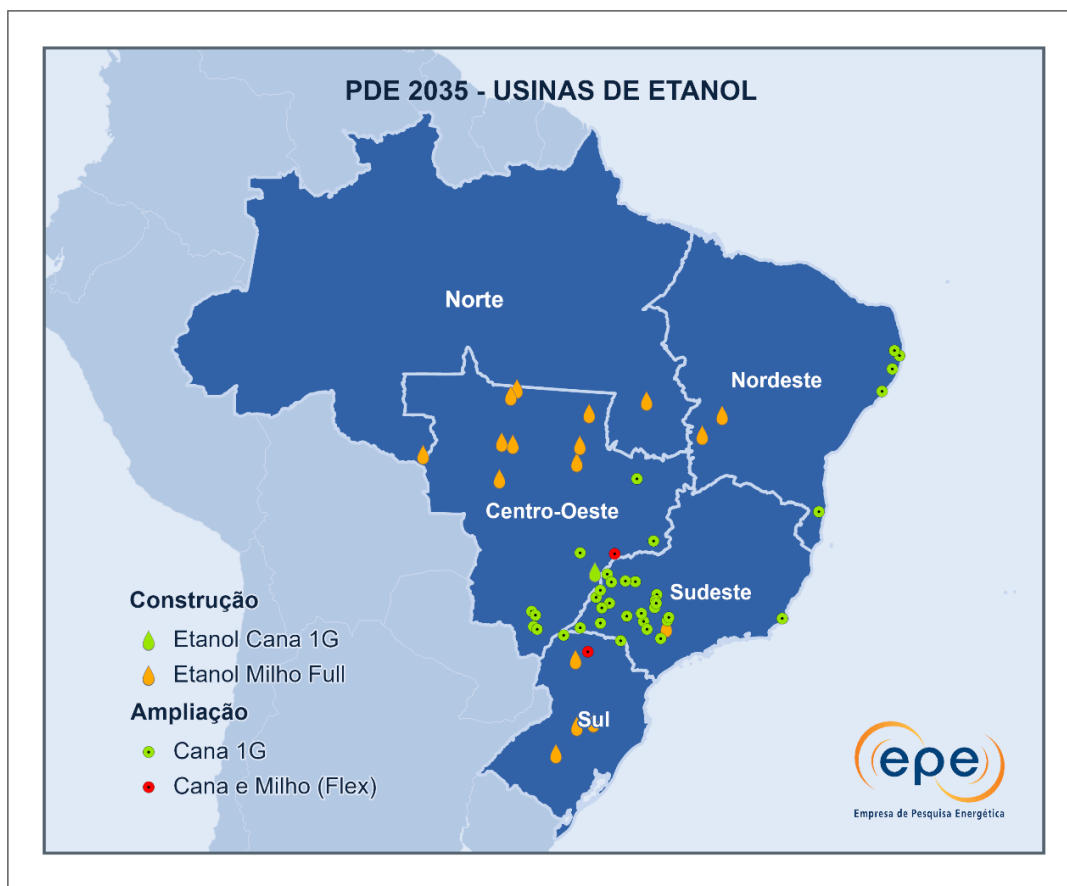


Figura 17 – Localização das usinas de etanol planejadas no PDE 2035

Para atender ao aumento da oferta de etanol previsto no horizonte decenal, está planejada a **construção de 20 usinas**, a maioria na região Centro-Oeste, em áreas de alta e média aptidão agrícola para cana-de-açúcar conforme classificação da Embrapa (2009), as quais têm se mostrado viáveis também para a produção de etanol de milho (Figura 17). Dessas 20 usinas, 16 são exclusivas para processamento de milho (*full*), uma de milho e soja, uma dedicada exclusivamente à cana e duas produzirão etanol a partir de cereais. Está prevista também a **ampliação de 41 usinas (38 de cana, 2 de milho e 1 flex)**, sendo 23 no Sudeste, 10 no Centro-Oeste, cinco no Nordeste e três no Sul. Além disso, considera-se expansão indicativa de 2,2 bilhões de litros de etanol de milho por meio de novas unidades e/ou ampliações *full*.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da oferta de etanol

A avaliação socioambiental da expansão da oferta de etanol envolve tanto o ciclo da cultura de matéria-prima quanto as etapas de processamento. Conforme mencionado anteriormente, as previsões do PDE 2035 indicam a predominância de milho como matéria prima na expansão da produção de etanol prevista no horizonte decenal, mas a cana-de-açúcar ainda terá um papel importante na expansão do etanol no decênio.

De modo geral, as principais interferências socioambientais da produção de etanol envolvem a geração de resíduos e efluentes e o consumo de água. No caso do setor sucroalcooleiro brasileiro, há bastante experiência acumulada, de forma que muitos impactos ambientais da cadeia de produção de açúcar e etanol foram reduzidos ao longo do tempo, tanto pela adoção de tecnologias mais eficientes, como pela evolução da legislação ambiental em nível nacional e estadual. Já no caso do etanol de milho, o país já possui vasta experiência na produção do grão e aproveita o conhecimento acumulado com a produção de

etanol da cana para expandir sua produção de etanol sobretudo com milho da segunda safra, intercalado com a produção de soja, especialmente no Centro-Oeste do país.

No que diz respeito à **geração de resíduos e efluentes**, o setor sucroalcooleiro tem avançado na busca de soluções para seu **reaproveitamento**. Entre elas destacam-se a queima de bagaço, palha e ponta para produção de bioeletricidade⁶⁸ e a utilização da vinhaça, torta de filtro, cinzas e fuligem na adubação do solo. No caso do milho, os coprodutos provenientes da produção do etanol são comercializados, como o óleo de milho e produtos de nutrição animal, o que reduz a geração de resíduos.

No setor sucroalcooleiro, ainda que a fertirrigação⁶⁹ com a vinhaça seja uma prática bem-sucedida, a técnica apresenta limitantes ambientais e econômicos, como o custo do transporte para o local de aplicação e a capacidade de suporte do solo (com vistas a evitar excesso de aplicação em um mesmo lugar e a consequente contaminação do lençol freático), implicando busca por melhorias ou novas soluções para o problema. Estudos apontam que algumas usinas brasileiras já utilizam biodigestores para transformar vinhaça em biogás, que pode ser convertido em eletricidade ou vapor industrial, e o resíduo final pode ser usado como biofertilizante (REVISTA PESQUISA FAPESP, 2023; RPA NEWS, 2024; A1 ENGENHARIA, 2026).

A partir do indicador de produção média de cerca de 12,5 litros de vinhaça por litro de etanol produzido a partir da cana (Moraes et al., 2022), estima-se que a produção de vinhaça atinja cerca de 409 milhões de m³ em 2035 e um total acumulado de 3,9 bilhões de m³ ao longo do decênio. Para o etanol de milho, a vinhaça é concentrada para a produção de DDGS (*distiller's dried grains with solubles*), não representando, portanto, resíduo expressivo. Os estados que terão a maior expansão de usinas de etanol de cana no decênio – e consequentemente da produção de vinhaça – são São Paulo e Mato Grosso do Sul. Ainda assim, os percentuais de expansão da capacidade instalada podem ser considerados pequenos em relação à capacidade do parque sucroalcooleiro existente nesses estados – respectivamente 2% e 4%. No conjunto dos demais estados que possuem usinas de etanol e que têm expansão planejada no decênio, o percentual de aumento de capacidade de produção do parque sucroalcooleiro é de cerca de 2%, sendo que essa expansão estará dispersa geograficamente no território desses estados.

São Paulo e Mato Grosso do Sul, que terão os maiores aumentos percentuais na capacidade instalada de produção de etanol a partir da cana, são os estados que dispõem de legislação e normas infralegais ambientais mais avançadas com relação à vinhaça. No estado de São Paulo, a Norma Técnica Cetesb P4.231, 3ª Edição, de 2015⁷⁰, regulamenta o armazenamento, transporte, aplicação e manejo da vinhaça. Já Mato Grosso do Sul é o estado com a legislação mais completa e atualizada do país a esse respeito. A Lei Estadual n. 4.661/2015⁷¹ estabelece diretrizes para armazenamento, transporte, distribuição e aplicação da vinhaça para fins agrícolas, e a Resolução Semade (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento) n. 19/2015⁷² estabelece critérios e procedimentos em complementação à lei. Já a Resolução Semadesc (Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação) 001/2023⁷³ aprimora a resolução anterior, sendo bastante completa e detalhada, e apresentando ilustrações práticas.

Considerando i) as destinações possíveis para a vinhaça (fertirrigação, adubo e uso energético, no caso das usinas sucroenergéticas) e a produção de DDGS a partir dos resíduos das usinas de etanol de milho; ii) a dispersão geográfica das usinas; e iii) a legislação rigorosa sobre o assunto nos estados com as maiores expansões previstas (SP e MS), a interferência ambiental relativa à geração de **resíduos** não foi considerada relevante no contexto da expansão decenal.

⁶⁸Ver item 4.3 UTEs renováveis para mais informações.

⁶⁹A fertirrigação consiste no reúso agrônomico de efluentes do processo agroindustrial (vinhaça e águas residuárias), ocorrendo sobretudo no Centro-Sul. Já a irrigação de salvamento consiste na fertirrigação consorciada com baixos volumes de água captados em mananciais, e ocorre sobretudo na Zona da Mata Nordeste (ANA, 2021).

⁷⁰https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231_Vinha%C3%A7a_-_Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf.

⁷¹<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=283999>.

⁷²Resolução SEMADE nº 19 DE 02/09/2015.

⁷³ <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2023/03/RESOLUCAO-SEMADESC-N-001-2023.pdf>

A **alteração na disponibilidade de água** também é uma interferência a ser levada em consideração nas análises da expansão do setor. Segundo a ANA (2021), o cultivo da cana-de-açúcar exige um baixo volume de água por unidade de área, e a região Centro-Sul apresenta condições favoráveis de chuvas e emprego da fertirrigação. No caso do milho, a maior parte da matéria-prima para produção de etanol é proveniente do cultivo de segunda safra, que ocorre no período de chuvas, sem necessidade de irrigação.

No processamento, a captação de água vem se reduzindo significativamente por meio de legislação ambiental e cobrança pela utilização de recursos hídricos (CNI e UNICA, 2014). O consumo de água do processo industrial para fabricação do etanol de milho é demandado principalmente para a hidrólise do amido e para a geração de vapor nas caldeiras e há possibilidade de recirculação da água para redução do consumo.

No estado de São Paulo, o consumo de água nas usinas signatárias do Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde na safra 2023/2024 se estabilizou em 0,74 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada após progressivas reduções nos anos anteriores. Tais resultados são devidos à promoção de ações de fechamento de circuito com reuso de água, aprimoramento dos processos industriais e avanço na colheita crua e limpeza da cana a seco (SÃO PAULO, 2024). Cabe destacar que nesse estado, a Resolução SMA n. 88/2008, que define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro, estabelece a faixa limite de 0,7 a 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada. Considerando essa faixa, o volume estimado de consumo de água das usinas sucroalcooleiras acumulado no horizonte decenal para a produção de etanol fica entre 2,6 e 3,7 bilhões de m³ de água. Tendo em vista os avanços alcançados na redução do consumo e o fato de a expansão prevista estar localizada principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, que apresentam condições mais favoráveis de chuvas, o tema recursos hídricos não foi considerado relevante.

A análise dos temas socioambientais está sintetizada na Tabela 22.

Tabela 22 – Síntese da análise socioambiental de etanol do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Etanol	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol

Os desafios e iniciativas socioambientais do setor se concentram principalmente na continuidade dos avanços obtidos na gestão dos insumos e resíduos, principalmente recursos hídricos e vinhaça, e no desenvolvimento da produção em padrões mais sustentáveis.

A busca por soluções para **aprimorar o manejo e o aproveitamento da vinhaça** é importante para redução dos riscos de contaminação da água e do solo. Nesse sentido, destaca-se a possibilidade de produção de vinhaça concentrada, fertilizante orgânico registrado no MAPA, o que permite viabilizar a sua aplicação em maiores distâncias (ROSSETTO, 2019). Cabe destacar que, conforme observado no item 4.4 Termelétricas Renováveis, a biodigestão da vinhaça permite iniciativas de produção de biofertilizantes, biogás e biometano, sendo este último abordado no item 6.3. Além de minimizar os riscos ambientais e a pegada de carbono dos produtos da indústria sucroalcooleira, essas medidas aumentam a produtividade agrícola, e trazem ganhos de eficiência ao processo. Diante do exposto, recomenda-se o fomento à pesquisa e implantação de medidas de redução da geração de vinhaça no processo produtivo, e de aproveitamento e manejo da vinhaça.

Cabe destacar a necessidade de **redução do consumo de água**. O setor avançou bastante nessa questão nos últimos anos, mas é preciso considerar que o cenário de expansão prevê aumento significativo da produção. Neste sentido, o Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde do estado de São Paulo,

que estabelece diretrizes ambientais para as usinas e associações de fornecedores, continua sendo uma iniciativa relevante e de referência setorial para promoção da redução desses índices. Existem pesquisas em desenvolvimento, como o aproveitamento da água contida na própria cana, que podem minimizar a captação de água para valores inferiores a 0,5m³/t de cana (CNI e UNICA, 2014).

Segundo o Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada, da ANA (2021), o uso da água na cana-de-açúcar apresenta baixos volumes por unidade de área na maior parte das áreas de cultivo, i) pelo fato de a cultura apresentar elevada resiliência ao estresse hídrico, ainda que a produtividade possa ficar reduzida; e ii) pelo uso da fertirrigação e da irrigação de salvamento, que racionalizam o uso da água. Entretanto, a cultura da cana de açúcar apresenta grande área de abrangência e, além disso, as áreas de maior hidrintensidade, apesar de ocuparem apenas 5% da área do cultivo, demandam água de um número restrito de mananciais (ANA, 2021). Por outro lado, análise da literatura revela divergências significativas quanto ao consumo de água na produção de etanol a partir do milho, refletindo metodologias e contextos distintos. A maioria dos estudos são baseados em realidades de outros países, o que limita sua aplicabilidade ao Brasil. A ausência de dados específicos para o contexto nacional compromete análises mais precisas. Há, portanto, a necessidade urgente de estudos direcionados à realidade brasileira. (SILVA e CASTAÑEDA-AYARZA, 2021; CHEROENNET e SUWANMANEE, 2017; LIU et al., 2017). Sendo assim, é importante dar continuidade aos esforços de redução do consumo de água e incentivar a pesquisa, monitoramento e implantação de práticas e tecnologias que contribuam ainda mais para a queda desse índice.

Nesse sentido, a Embrapa desenvolveu um conjunto de técnicas para manejo eficiente e sustentável da irrigação do cultivo de cana-de-açúcar no Cerrado, denominado Protocolo BRCana (EMBRAPA, 2024; REVISTA CULTIVAR, 2024). O objetivo do protocolo é aumentar a sustentabilidade da produção de cana, reduzindo a demanda por terra e água, inclusive com menor pegada hídrica que na produção de sequeiro, reduzindo também o custo por tonelada de cana produzida.

O protocolo estabelece os níveis de água para irrigação da cana que proporcionam maior eficiência e sustentabilidade, e instrui sobre como realizar o manejo da irrigação para se obter tais níveis. A adoção do protocolo permite a não irrigação da maior parte das áreas, e a não adoção de irrigação plena, ou seja, que atende a 100% da demanda hídrica da cana. Para tanto, são preconizadas duas práticas:

- a irrigação de salvamento, que fornece apenas 3 a 4% da demanda hídrica da cultura, porém garante seu florescimento em condições de estresse hídrico severo; e
- a irrigação deficitária, por gotejamento ou pivô, que fornece apenas 15 a 35% da demanda hídrica da cana, porém com significativos efeitos na produtividade, longevidade, eficiência no uso da terra e redução do custo da tonelada de cana, além de reduzir a demanda por corretivos, fertilizantes e diesel na produção.

Assim, o conjunto de técnicas preconizadas no Protocolo BRCana permite a redução da suscetibilidade da cultura da cana a eventos de escassez hídrica acentuada. Embora desenvolvido para o Cerrado, o protocolo pode ser aplicado a outros biomas.

Existem também outras iniciativas que contribuem para a **produção de biocombustíveis em padrões mais sustentáveis**. A Política Nacional de Biocombustíveis (Lei n. 13.576/2017), RenovaBio, busca incentivar a expansão da produção de biocombustíveis no Brasil com práticas ambientais mais adequadas. A Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024 (BRASIL, 2024), inclui programas para promover a descarbonização da matriz energética de transporte nacional e inclui a ampliação do uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, integrando diversas políticas públicas do setor. Pela Lei, o percentual de mistura de etanol à gasolina poderá chegar a 35%. A Lei também traz uma série de iniciativas relacionadas ao uso do combustível sustentável de aviação e de alternativas sustentáveis no transporte marítimo, etanol de segunda geração, combustíveis sintéticos, hidrogênio, ferramentas para a captura e armazenamento de carbono, entre outras. Destaca-se também o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela Lei n. 15.103/2025 (Brasil, 2025), e que tem entre outros objetivos o fomento ao financiamento de projetos de desenvolvimento de tecnologias e produção de combustíveis de baixa emissão de gases de efeito estufa como etanol, combustível sustentável de aviação (SAF), biodiesel, biogás e biometano, entre outros.

O Quadro 26 resume os principais desafios relacionados à expansão da oferta de etanol no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 26 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Aprimorar o manejo e aproveitamento da vinhaça	- Prática de reúso e concentração da vinhaça - Produção de biogás e biofertilizantes a partir da biodigestão da vinhaça	- Fomentar pesquisa e implantação de medidas de redução da geração de vinhaça e de seu aproveitamento
Redução do consumo de água	- Protocolo Etanol Mais Verde para cana - Protocolo BRCana	- Incentivar pesquisa, monitoramentos e implantação de práticas e tecnologias que reduzam o consumo de água - Fomentar pesquisas relativas ao consumo de água na produção de etanol de milho no Brasil
Produção de biocombustíveis em padrões mais sustentáveis	- RenovaBio - Lei Combustível do Futuro - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten)	- Apoiar e promover medidas que contribuam para a descarbonização e para melhorar o processo produtivo e estimular a inovação

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de etanol

A busca pela **ampliação do aproveitamento de efluentes e resíduos** abre possibilidades para aumentar a eficiência, reduzir os riscos ambientais e gerar novos produtos de valor econômico. O etanol de segunda geração (2G) é produzido a partir de resíduos da cana, como palha e bagaço, e de outras culturas, permitindo o aumento da produção de etanol sem expansão de área. Outra opção é a produção de biogás e biofertilizantes a partir da biodigestão anaeróbica da vinhaça, como observado no item 4.3 UTEs Renováveis. Essas medidas trazem ganhos de eficiência ao processo e melhoram o desempenho econômico de cada ciclo, além de minimizar os riscos ambientais. No caso do etanol de milho, o setor se beneficia da geração de coprodutos como o óleo de milho e do DDGS (*distiller’s dried grains with solubles*), utilizado para nutrição animal.

Outra oportunidade é a **ampliação da participação de etanol na matriz de combustíveis**, colaborando para a redução das emissões de GEE e de poluentes atmosféricos. A utilização de etanol em veículos flex, em mistura com gasolina ou puro, promove benefícios ambientais como a redução de emissões de GEE e poluentes atmosféricos, especialmente em áreas urbanas. Conforme mencionado anteriormente, a Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024 (Brasil, 2024), entre outras questões, prevê a ampliação do percentual de mistura de etanol anidro na gasolina C para até 35%⁷⁴. Cabe destacar também que em dezembro de 2023 o CNPE aprovou a Resolução 07/2023, que instituiu um grupo de trabalho para avaliar a viabilidade técnica do uso da gasolina C com adição de 30% de etanol anidro em todo o território nacional.

O RenovaBio promove os biocombustíveis para atendimento de metas de redução de emissões de GEE, além de apresentar a vantagem de captação de recursos pelo produtor com a venda dos Créditos de Descarbonização por Biocombustíveis (CBIOS). Outro ponto favorável é a priorização indicada na Resolução CNPE n. 2 de 2021, que orienta a destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para biocombustíveis, entre outros temas relacionados ao setor de

⁷⁴ O projeto de lei n. 528/2020 ainda propõe a instituição do Programa Nacional de Combustível Sustentável de aviação – ProBioQAV, do Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e do Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.

energia e à transição energética. A evolução das discussões sobre a implementação de mecanismos de precificação de carbono na economia também pode potencializar essa oportunidade.

O uso de tecnologias BECCS (*Bioenergy with carbon capture and storage*) com etanol representa uma oportunidade estratégica para a expansão sustentável do setor no Brasil. A indústria nacional de etanol tem grande potencial para BECCS, uma vez que o CO₂ capturado durante a fermentação tem pureza entre 95 e 98%, dispensando a necessidade de processos dispendiosos de separação dos gases (CEBRI et al, 2024). Segundo Hayat (2024), a captura de CO₂ em plantas de etanol de milho é altamente eficiente e de baixo custo, com valores estimados em apenas 50 dólares por tonelada de CO₂, sendo uma das rotas mais eficazes para emissões líquidas negativas. Além disso, essa rota apresenta emissões concentradas no *downstream*, o que facilita sua captura, e tem potencial de gerar mais de 600 kg de CO₂ negativo por tonelada de matéria-prima, superando outras rotas avaliadas. Para o Brasil, que já possui infraestrutura consolidada na produção de etanol de cana, o avanço do BECCS pode alavancar sua competitividade internacional, conciliando metas climáticas com o desenvolvimento econômico.

A tecnologia BECCS figura nas diretrizes do Plano Clima 2024-2035, sendo apontado seu papel crescente para o alcance das emissões líquidas zero de todos os GEE até 2050, com destaque para a sua relevância em setores ou atividades de difícil abatimento nos quais há persistência de emissões de CO₂ em larga escala.

O Quadro 27 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da oferta de etanol no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 27 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de etanol

Oportunidades	Conjuntura favorável
Ampliação do aproveitamento de efluentes e resíduos	- Produção de etanol 2G a partir de resíduos - Produção de biogás e biofertilizantes a partir da vinhaça
Ampliação da participação de etanol na matriz de combustíveis	- RenovaBio - Lei Combustível do Futuro - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten)
Uso de tecnologias BECCS	- Infraestrutura consolidada de produção de etanol de cana - Disponibilidade de biomassa - Alto índice de pureza do CO₂ gerado por plantas de etanol a partir da cana-de-açúcar ou milho - Plano Clima

Indicadores socioambientais da expansão da oferta de etanol

No presente plano são propostos dois indicadores socioambientais para representar, ainda que de modo simplificado, as alterações decorrentes da expansão da produção de etanol. Considerando a oferta de etanol de cana e a previsão de cana a ser processada no decênio, foram estimados os indicadores de produção de vinhaça e de captação de água no setor sucroalcooleiro.

Como indicador socioeconômico há o potencial de geração de empregos no setor sucroalcooleiro, que vinha sofrendo uma queda constante de 2011 a 2021 (do pico de 635 mil empregos em 2011 para 476 mil em 2021) (MTE, 2025); entretanto, voltou a crescer a partir de 2022, atingindo 533 mil em 2024. Isso aconteceu em virtude do aumento expressivo da mecanização da colheita nesse período e da busca por maior eficiência nos processos produtivos. Apesar dessa tendência, a expectativa é de que esse indicador continue a crescer ao longo do horizonte decenal, alcançando 579 mil empregos em 2035 e uma média de 554 mil empregos/ano no decênio, refletindo o aumento da produção de etanol estimado para o período.

Os empregos relacionados à produção de etanol de milho não foram incluídos por não terem sido encontradas referências nacionais para compor este indicador.

Tabela 23 – Indicadores socioambientais da expansão do etanol

Indicadores Ambientais	
Produção de vinhaça de cana-de-açúcar no decênio (bilhões de m³) ⁽¹⁾	3,9
Captação de água nas usinas de cana-de-açúcar para produção de etanol no decênio (bilhões de m³) ⁽²⁾	2,6 a 3,7 bilhões
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos na produção sucroalcooleira (média anual no decênio) ⁽³⁾	579 mil

Notas: (1) Volume acumulado considerando a produção de 12,5 l de vinhaça por litro de etanol. (2) Volume acumulado considerando a faixa de 0,7 a 1 m³ de água consumida por tonelada de cana processada (São Paulo, 2008). (3) Estimativa baseada no histórico da taxa de empregos diretos (MTE, 2025) por tonelada de cana produzida (CONAB, 2025) e na evolução dos índices de mecanização da colheita.

BOX 5 – PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, SEGURANÇA ALIMENTAR E USO EFICIENTE DA TERRA

Um estudo realizado pela Fapesp (2025) destaca que não foi encontrada correlação entre a produção de bioenergia e a concorrência com a produção de alimentos. O estudo ainda ressalta o potencial de utilização de pastagens degradadas e áreas de baixa produtividade para ampliação da produção de biocombustíveis. Nesse sentido, a publicação da EPE (2024) intitulada “Potencial das técnicas ‘poupa-terra’ na produção de biocombustíveis no Brasil” aponta quatro caminhos, quais sejam:

- **Ganhos de produtividade**, que poderiam resultar na produção adicional de 10 bilhões de litros de biocombustíveis.
- **Recuperação e uso de pastagens degradadas agricultáveis** – essas áreas ocupam cerca de 20% do território nacional, ou 177 milhões de hectares, dos quais 28 a 36 milhões de hectares estariam disponíveis para conversão agrícola. Excluindo-se as áreas no bioma Amazônia e áreas com declividade maior que 8%, tem-se 12 milhões de hectares que poderiam ter seu uso voltado para cultivos de cana, milho e soja, os quais poderiam ser usados para produzir 8 bilhões de litros de biocombustíveis.
- **Cultivo sequencial de milho e soja** numa mesma área, em sequência, ao longo do mesmo ano agrícola. O milho é utilizado para a produção de etanol, e a soja, para o biodiesel. O potencial de implementação desse tipo de cultivo representa a produção adicional de 6 bilhões de litros de biocombustíveis.
- **Aproveitamento de resíduos agrícolas disponíveis**, o que propiciaria um aumento de produção de 3 bilhões de litros de biocombustíveis.

Entre os cobenefícios dessas técnicas, pode-se citar: i) produção adicional de alimento, como o farelo de soja, o DDGS e o óleo de milho; ii) acúmulo de carbono no solo pela recuperação das áreas degradadas; e iii) melhoria da qualidade do solo e da água, devido à melhoria da cobertura vegetal.

6.2 Biodiesel

Benefícios do biodiesel

- O biodiesel é um **combustível renovável**, produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais, materiais graxos e óleos residuais.
- Os principais benefícios ambientais do uso do biodiesel adicionado ao diesel estão relacionados à **baixa emissão de poluentes atmosféricos**, como material particulado, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e hidrocarbonetos, o que resulta em melhorias para a saúde pública. Além disso, o biodiesel contribui para a **mitigação das emissões de gases de efeito estufa** (GEE), uma vez que parte do carbono liberado durante sua queima integra o ciclo biogênico do carbono, sendo previamente absorvido pelas plantas por meio da fotossíntese.
- O biodiesel obtido produzido a partir de óleos residuais e gorduras animais oferece uma destinação ambientalmente adequada e sustentável para esses resíduos.
- O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) fomenta a inclusão social e impulsiona a geração de empregos, principalmente no campo, como também no setor industrial.
- Considerando que parte da demanda nacional de diesel é suprida por importações, a substituição do diesel pelo biodiesel traz benefícios econômicos para o país e contribui para a redução da dependência energética do país.

Oferta atual de biodiesel

Desde agosto de 2025, a **proporção de biodiesel adicionada ao óleo diesel é de 15% em volume (B15)** conforme determinou a Resolução CNPE nº 8/2025. A produção nacional em 2024 foi de 9,2 bilhões de litros. O parque produtor contava com 58 usinas, concentradas nas regiões Sul e Centro-Oeste, com capacidade instalada de **15,3 bilhões de litros/ano** (ANP, 2025a). A figura ao lado apresenta a localização das unidades produtoras de biodiesel existentes.

O óleo de soja se manteve como matéria-prima predominante para a produção de biodiesel em 2024, atingindo 72,4%. Outros materiais graxos corresponderam a 14,9% da produção, seguidos pela gordura bovina (5,6%) entre outras matérias-primas (ANP, 2025a). Dada a trajetória apresentada ao longo dos últimos anos, a tendência é que a soja permaneça por um longo período em destaque entre os insumos usados na produção do biodiesel, embora já se observem outras matérias-primas emergindo nesse mercado.

Das usinas autorizadas a exercer atividade de produção de biodiesel em agosto de 2025, 40 possuíam Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis e estavam habilitadas a solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização – CBIOs (ANP, 2025b).

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA, 2025), em junho de 2025, 57 empresas produtoras de biodiesel detinham o Selo Biocombustível Social (SBS). Para obtê-lo, os produtores devem adquirir um percentual mínimo de matéria-prima da agricultura familiar, firmar contratos de compra antecipada e oferecer assistência técnica aos agricultores. Além de benefícios fiscais, o SBS assegura às empresas acesso ao mercado, visto que 80% do biodiesel comercializado no país provém de empresas certificadas.

Com relação às emissões de gases de efeito estufa, a EPE estima que, com o uso do biodiesel, foram evitadas no Brasil, em 2024, 26,8 MtCO₂ em 2024, em comparação com o uso do diesel (EPE, 2025).



Expansão da oferta de biodiesel nos próximos 10 anos

O cenário de oferta de biodiesel no PDE 2035 prevê uma expansão da produção de aproximadamente 42% no horizonte decenal, passando de cerca de 9,8 bilhões de litros em 2025 para **13,9 bilhões de litros em 2035**. Nesse decênio, está prevista a instalação de **três novas usinas**, com capacidade de processamento de cerca de 0,9 bilhões de litros por ano, nas regiões Centro-Oeste, Sul e Norte, e a **ampliação de duas usinas** nas regiões Sul e Norte, adicionando 0,8 bilhões de litros por ano. Juntas, ampliação e construção de novas usinas totalizam mais de 1,7 bilhões de litros por ano em capacidade instalada para atender à demanda de biodiesel do País. A Figura 18 apresenta a localização das usinas planejadas e em ampliação no decênio.

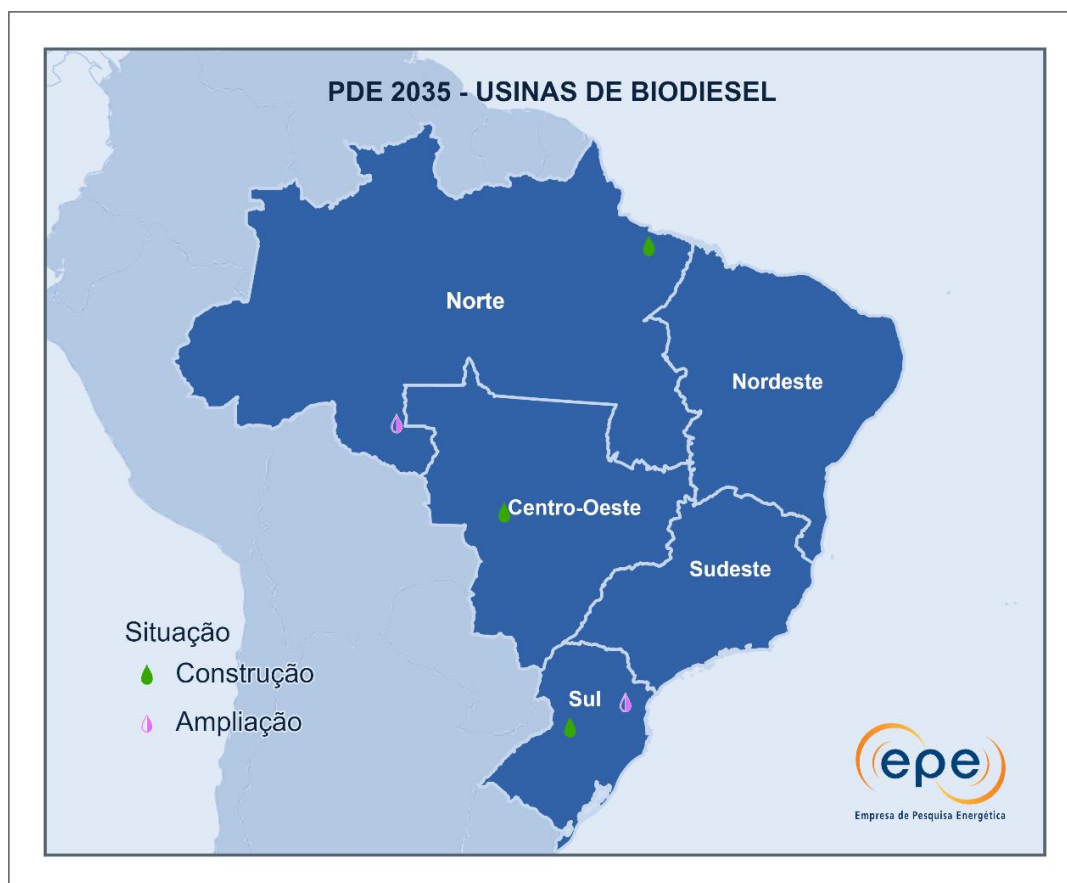


Figura 18 – Localização das usinas de biodiesel planejadas no PDE 2035

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão do biodiesel

A principal interferência relacionada à produção de biodiesel é a **geração de resíduos e efluentes**. Entre eles, destaca-se, na etapa industrial, o manuseio de compostos perigosos, especialmente o metanol, que é altamente tóxico, e a glicerina, obtida como principal coproduto. De modo geral, o tratamento e a destinação adequada dos resíduos e efluentes são conhecidos e estabelecidos no âmbito do licenciamento ambiental do empreendimento.

Considerando o horizonte do PDE 2035 e a previsão de consumo de diesel B e de biodiesel para transporte aquaviário, estima-se uma geração expressiva de glicerina acumulada no decênio, de aproximadamente 12,5 milhões de toneladas (100 g/ℓ de biodiesel). Usualmente, a glicerina pode ser encaminhada para refino e aplicada nas indústrias farmacêutica, química e de alimentos e bebidas, ou então utilizada em mistura para ração animal ou queima para geração de energia (UCHOA, 2015 e EMBRAPA, 2019). Apesar das diversas opções existentes, a quantidade elevada de glicerina estimada pode ocasionar dificuldades para sua destinação adequada. Sendo assim, esse coproduto tem certa relevância do ponto de vista quantitativo; contudo, para efeito da análise integrada neste PDE, este impacto foi considerado inexpressivo no decênio.

Outro aspecto que levanta preocupações é a **monocultura de soja**, associada a fatores como desmatamento extensivo, contaminação da água e do solo por defensivos agrícolas e herbicidas, e erosão e compactação do solo. Entretanto, não há evidências de que a produção de biodiesel tenha alterado a curva de oferta da soja ao longo dos anos, o que restringe uma associação direta entre o biodiesel e os impactos derivados da expansão dessa cultura. Ao contrário, a produção da sojicultura tem crescido, incentivada majoritariamente pela exportação da soja in natura e do farelo para a China e outros países. Dessa forma, entende-se que **o óleo de soja utilizado para produção de biodiesel é um subproduto do setor da sojicultura e não compete com a produção de alimentos**.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – Abiove (2024), em 2024, foram produzidos 170,3 milhões de toneladas de soja, produção 11% superior à do ano anterior. Mais da metade dessa produção foi exportada, e cerca de 58 milhões de toneladas foram processadas, o que equivale a cerca de 34% dos grãos produzidos no país. A produção de óleo de soja nesse mesmo ano foi de 11,7 milhões de toneladas (4% superior ao ano anterior). Cerca de 6,7 bilhões de litros de óleo de soja foram utilizados para produzir biodiesel em 2023 (ABIOVE, 2025).

Tabela 24 – Síntese da análise socioambiental do biodiesel do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Biodiesel	interferências inexpressivas	interferências inexpressivas	interferências inexpressivas	interferências inexpressivas	interferências inexpressivas

Conforme as interferências e justificativas citadas acima, não foram identificados temas relevantes para a expansão de biodiesel no decênio.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel

Na política de promoção do biodiesel ainda permanecem alguns desafios a serem superados, especialmente a diversificação da matriz de matérias-primas e o aumento da participação da agricultura familiar na cadeia produtiva, sobretudo no Norte, Nordeste e Semi-árido, como pressupunham as diretrizes iniciais do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Ao longo do programa foram lançados diversos incentivos para a agricultura familiar dessas regiões, mas a participação de agricultores da região sul é majoritária, alcançando cerca de 80% do total de família inseridas no programa, segundo levantamento do Ministério do Desenvolvimento Agrário. Em 2024, as regiões Norte e Nordeste somaram cerca de 6 mil agricultores familiares, cerca de 10% do quantitativo total participante do PNPB.

A diversificação da cesta de matérias-primas graxas tem fundamento nas diretrizes do PNPB de inclusão social e de desenvolvimento regional por meio da promoção da agricultura familiar, sobretudo da região Nordeste. Fundamenta-se também na redução da vulnerabilidade de um combustível cuja matriz de insumos se concentra historicamente em uma única matéria prima. Desde 2008, a participação da soja tem variado de 66 a 82% dos insumos que abastecem a produção do biodiesel, sinalizando um descompasso em relação aos objetivos iniciais do programa (ABIOVE, 2025).

Neste sentido, o uso de resíduos de peixe para a produção de biodiesel também representa uma alternativa promissora para diversificar as matérias-primas do setor no Brasil, tradicionalmente dependente da soja. Essa rota contribui para a economia circular, ao valorizar subprodutos da indústria pesqueira que seriam descartados. Além disso, fortalece economias locais e reduz impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses resíduos. A rota possibilita o aproveitamento do resíduo em diversas regiões, desde o litoral até a Amazônia (SILVEIRA, 2024; ANGUEBES-FRANSESCHI, 2019).

Há diversas pesquisas sobre a produção de biodiesel a partir da palma-de-óleo (dendê), babaçu e macaúba, entre outras. A macaúba (*Acrocomia aculeata*) vem sendo cada vez mais estudada como alternativa ao modelo tradicional de produção de óleo vegetal. A oleaginosa é reconhecida por sua ampla

distribuição no Brasil (com destaque para o Cerrado) e potencial para uso em múltiplas cadeias produtivas sustentáveis, (PIRES, 2023). De acordo com Atrium e WWF-Brasil (2022), esse cultivo pode representar uma solução integrada entre produção de energia, recuperação ambiental e inclusão produtiva. O relatório destaca que a macaúba pode produzir até cinco vezes mais óleo por hectare que a soja, especialmente em áreas degradadas. Seu sistema radicular contribui para a melhoria do solo e retenção de água. A torta residual pode alimentar o gado, integrando lavoura-pecuária. Assim, a espécie impulsiona a agroindústria e promove renda em regiões pouco dinâmicas.

Um aspecto relevante relacionado ao aumento da oferta de biodiesel e à diversificação da cesta de insumos diz respeito à melhoria das condições logísticas tanto para a coleta das matérias-primas quanto para a distribuição do produto final. Nesse contexto, entre as várias estratégias voltadas à diversificação de fontes, destacam-se as iniciativas de coleta de óleo de cozinha usado. A conversão desse resíduo em biodiesel, não só evita os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado, como também gera um combustível renovável com valor agregado. Contudo, esse segmento enfrenta desafios logísticos significativos, especialmente devido à natureza dispersa da coleta. Para ampliar a utilização do óleo reciclado como insumo na produção de biodiesel, é fundamental investir em educação ambiental, desenvolver infraestrutura adequada e oferecer incentivos, inclusive de natureza fiscal.

Em relação ao aproveitamento dos volumes expressivos de glicerina, os desafios principais são a **redução dos custos da purificação e ampliação das oportunidades de aproveitamento**. A glicerina bruta apresenta pureza limitada (60-80%) devido à presença de impurezas como metanol, água e sabões, o que restringe seu uso direto em aplicações industriais (GALUSNYAK, 2024). O processo de purificação permite o aumento do grau de pureza da glicerina, o que agrega valor comercial e amplia as opções de absorção pelo mercado. Entretanto, o processo de tratamento é custoso, sendo um investimento difícil, principalmente para os pequenos produtores. Sendo assim, é importante incentivar estudos e parcerias que busquem soluções que tragam maior economicidade e, conseqüentemente, maior aproveitamento dos coprodutos.

Diante disso, diversas alternativas têm sido exploradas para a conversão da glicerina bruta em produtos de maior valor agregado. Entre essas rotas, destacam-se os processos biológicos, que envolvem fermentação para obtenção de etanol e propilenoglicol; os químicos, como reações de esterificação e oxidação; os termoquímicos, incluindo a gaseificação e pirólise para geração de energia e compostos leves; e os catalíticos, voltados à síntese de solventes, monômeros e intermediários finos. A valorização da glicerina contribui não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a viabilidade econômica da cadeia do biodiesel, ao transformar um resíduo em recurso estratégico (GALUSNYAK, 2024). Vale ressaltar que há também crescente interesse na produção de hidrogênio de baixo carbono a partir de glicerina, com rotas como reforma a vapor, e processos eletroquímicos e fotoquímicos (GUJAR, 2025; PERALTA-REYES, 2022; HERRERA-BEURNIO, 2024).

Sobre o **aumento da participação da agricultura familiar** para a redução das desigualdades regionais, no início de 2024 o regulamento do Selo Biocombustível Social (SBS) foi alterado pelo Decreto 11.902/2024, que inclui entre seus objetivos: i) fortalecer o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar e incluí-la na cadeia produtiva do biodiesel e de outros biocombustíveis; ii) fomentar as cadeias produtivas de oleaginosas e de alimentos nas Regiões Norte e Nordeste e no Semiárido, com vistas ao aumento da produtividade e da competitividade da produção familiar; e iii) fomentar projetos destinados à pesquisa, à inovação e ao desenvolvimento de novas fontes oleaginosas integrados com ações de produção familiar e transição agroecológica pela agricultura familiar e suas organizações.

A Portaria MDA n. 28, de junho de 2024, regulamenta a concessão e manutenção do SBS. Segundo a norma, até 2026, pelo menos 20% da matéria-prima deverá ser originada das regiões Norte, Nordeste e Semiárido, que recebem incentivos específicos. Para estimular a geração de renda local, os percentuais mínimos de compras nessas regiões podem ser multiplicados por fatores que chegam a 30 vezes. A portaria também permite incluir produtos da agricultura familiar além das oleaginosas, ampliando os arranjos produtivos. Outra novidade é a exigência de que o detentor do SBS firme contrato prévio com agricultores familiares ou suas organizações detentores da DAP, podendo, complementarmente,

contratar cooperativas que não possuam DAP ou CAF⁷⁵. Esses contratos devem incluir cláusulas sobre a oferta de assistência técnica e capacitação aos agricultores. A portaria estabelece ainda que o produtor de biodiesel deverá assegurar assistência técnica contínua a todas as unidades familiares de produção contratadas. Segundo dados do Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA), os dispêndios com assistência técnica aumentaram de cerca de 70 para 76 milhões de reais⁷⁶.

Além disso, a portaria incentiva que produtores de biodiesel realizem dispêndios de fomento em projetos e ações voltadas a áreas prioritárias do Norte, Nordeste ou do Semiárido, indicadas pela Secretaria de Agricultura Familiar e Agroecologia (SAF/MDA), com base em baixos indicadores de desenvolvimento socioeconômico. Esses investimentos podem contemplar insumos agrícolas, equipamentos, benfeitorias e infraestruturas ligadas à atividade agropecuária ou agroindustrial. Segundo informações do MDA⁷⁷, entre 2022 e 2024 os dispêndios com fomento aumentaram de cerca de 300 mil para 2,3 milhões de reais. Em setembro de 2025, a Portaria MDA n. 28/2024 teve alguns artigos alterados pela Portaria MDA n. 36/2025. A principal mudança foi a exigência de aprovação prévia, pela SAF/MDA, dos projetos de fomento, que antes bastava serem relatados pelos fabricantes.

Em fevereiro de 2025, o CNPE publicou a Resolução n. 1/2025, que instituiu grupo de trabalho (GT) para estudar a diversificação de matérias-primas e a inclusão de agricultores familiares e pequenos produtores na produção de biocombustíveis. Para a consecução desses objetivos, o GT deverá, entre outras ações: elaborar uma agenda de inovação para desenvolvimento de matérias-primas; retomar e expandir iniciativas de mapeamento e caracterização de matérias-primas; ampliar o zoneamento de risco climático; estruturar um programa de pesquisa e desenvolvimento e transferência de tecnologia; e desenvolver políticas públicas e programas para o desenvolvimento de cadeias produtivas, inclusive por meio de cooperativas.

Sobre a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo aumento da participação de biocombustíveis, a Política Nacional de Biocombustíveis, conhecida como RenovaBio⁷⁸, busca fomentar a **expansão dos biocombustíveis em padrões mais sustentáveis** com a aplicação de dois instrumentos: metas nacionais de redução de emissões de (GEE) para a matriz de combustíveis e certificação da produção de biocombustíveis. A Resolução CNPE n. 3/2023 ampliou a adição de biodiesel no diesel de 10% para 12% em 2023, e estabeleceu o aumento para 13% em 2024, 14% em abril de 2025 e 15% em abril de 2026. A Resolução CNPE n. 8/2023 antecipou o percentual de 14% para março de 2024 e 15% para março de 2025. O Programa Combustível do Futuro aumenta esses percentuais, ao estabelecer a adição de biodiesel no diesel deverá alcançar 20% até 2030, podendo atingir 25% a partir de 2031. Esse programa foi instituído pela Resolução n. 7 de 2021 do CNPE, e pela Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024 (BRASIL, 2024b).

O RenovaBio e a Lei Combustível do Futuro devem incentivar a expansão da produção de biocombustíveis no Brasil e se configuram em políticas capazes de apoiar o país no cumprimento dos compromissos internacionais assumidos para redução de GEE. No caso do biodiesel, é importante que se incentive uma maior diversificação da matriz de insumos, hoje majoritariamente composta pela soja.

O Quadro 28 resume os principais desafios relacionados à expansão do biodiesel no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

⁷⁵ Conforme definição dada pelo Decreto 11.902/2024, Organização da Agricultura Familiar é a cooperativa agropecuária da agricultura familiar detentora da Declaração de Aptidão ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (DAP), ou do Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF).

⁷⁶ Dados fornecidos pela Coordenação-Geral de Inclusão da Agricultura Familiar na Transição Energética – CGIAF/DINOV/SAF/MDA, por meio de comunicação pessoal em 30/05/2025.

⁷⁷ Idem.

⁷⁸ Lei n. 13.576/2017, que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), e normativas posteriores ([Legislação do Renovabio — Português \(Brasil\) \(www.gov.br\)](#)).

Quadro 28 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Diversificação de matérias-primas (resíduos como matéria-prima / outras culturas)	- Iniciativas isoladas de coleta de óleo de cozinha residual - Pesquisas em biodiesel a partir de resíduos de pesca - Estudos de viabilidade econômica de outras oleaginosas para produção de biocombustível, como é o caso da macaúba	- Criar incentivos para outras matérias-primas para aumentar a competitividade em relação à soja. - Promover educação ambiental sobre a importância do descarte adequado de óleo residual de cozinha. - Ampliar investimentos em infraestrutura de transporte e em sistemas logísticos para ampliar a competitividade das matérias-primas e otimizar as potencialidades regionais. - Incentivar pesquisas para o desenvolvimento do zoneamento agroecológico para palmeiras nativas.
Redução dos custos da purificação e ampliação das oportunidades de aproveitamento da glicerina	- Pesquisas de alternativas de aproveitamento da glicerina	- Incentivar estudos e parcerias que busquem soluções que tragam maior economicidade para a purificação da glicerina. - Fomentar pesquisas e desenvolvimento tecnológico de alternativas de aproveitamento da glicerina.
Expansão dos biocombustíveis em padrões mais sustentáveis	- RenovaBio e os respectivos requisitos ambientais - Lei Combustível do Futuro	- Acompanhar os desdobramentos do RenovaBio sobre indicadores ambientais. - Apoiar e promover medidas que contribuam para melhorar o processo produtivo e estimulem a inovação.
Aumentar participação e renda da agricultura familiar na cadeia produtiva, sobretudo nas regiões Norte, Nordeste e Semiárido	- Decreto n. 11.902/2024, - Portaria MDA n. 28/2024 – fixa percentual mínimo do valor efetivo destinado ao fomento e aquisições no âmbito do SBS para as Regiões Norte, Nordeste e no Semiárido - Contratos prévios com os agricultores familiares para compra de oleaginosas (e outras matérias primas) com cláusula de responsabilidade sobre ATER e capacitação dos agricultores familiares - Portaria MDA n. 36/2025 – Aprovação prévia dos projetos de fomento pelo MDA	- Acompanhar os desdobramentos das Portarias MDA n. 28/2024 e MDA n. 36/2025 e Resolução CNPE n. 1/2025 no incremento da participação da agricultura familiar e organizações familiares no Norte e Nordeste e no Semiárido, na e diversificação de matérias-primas.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel

Conforme comentado no item anterior, existe potencial para ampliar a **participação da agricultura familiar na produção de biodiesel por meio do SBS**. Segundo dados preliminares do Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA) predominavam, em 2024, famílias da região Sul como

fornecedoras de matérias primas (47.124 famílias, representando 82% do total de famílias)⁷⁹; entretanto, historicamente também houve participação relevante de famílias da região Nordeste. Sendo assim, existe a oportunidade de promoção do aumento de renda e desenvolvimento econômico local pela ampliação da participação de famílias nas demais regiões, especialmente as mais vulneráveis, conforme Portaria MDA nº 28/2024 e Decreto nº 11.902/2024.

Outra oportunidade é ampliar o papel dos biocombustíveis para **redução das emissões de GEE e de poluentes atmosféricos**. Nesse sentido, a iniciativa mais recente é Lei n. 14.993/2024, a Lei do Combustível do Futuro (Brasil, 2024b), que inclui programas de descarbonização da matriz energética de transporte nacional por meio da ampliação do uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono. A Lei estabelece que a mistura de biodiesel ao óleo diesel deverá alcançar 20% até 2030 e poderá atingir 25% a partir de 2031 e os percentuais serão definidos pelo CNPE.

Adicionalmente, o RenovaBio promove os biocombustíveis para atendimento de metas de redução de emissões de GEE, além de apresentar a vantagem de captação de recursos pelo produtor com a venda dos CBIOS. Outro ponto favorável é a priorização indicada na Resolução CNPE n. 2 de 2021, que orienta a destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel e pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis - ANP para biocombustíveis, entre outros temas relacionados ao setor de energia e à transição energética. A evolução das discussões sobre a implementação de mecanismo de precificação de carbono na economia também pode potencializar essa oportunidade.

O Quadro 29 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da oferta de biodiesel no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitamento das oportunidades identificadas.

Quadro 29 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel

Oportunidades	Conjuntura favorável
Desenvolvimento local por meio do aumento da inclusão da agricultura familiar	- Promoção da inclusão da agricultura familiar pelo Selo Biocombustível Social – Portaria MDA n. 28/2024 e Decreto 11.092/2024 - Resolução CNPE n. 1/2025, que instituiu grupo de trabalho para estudar a diversificação de matérias-primas e a inclusão de agricultores familiares e pequenos produtores na produção de biocombustíveis
Ampliar a contribuição para redução das emissões de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos	- Resolução CNPE n. 3/2023 e 8/2023 para aumento progressivo até 2026 do percentual de mistura do biodiesel no óleo diesel - RenovaBio - Resolução CNPE n. 2/2021 - P&D para biocombustíveis - Lei Combustível do Futuro

Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel

No presente Plano são propostos: i) um indicador ambiental: a produção de glicerina (cerca de 13 milhões de toneladas acumuladas no decênio, descrita na seção de interferências; e ii) dois indicadores socioeconômicos: a geração de empregos diretos na fabricação de biodiesel, detalhada a seguir, e o número de famílias fornecedoras de matéria prima do Selo Biocombustível Social (SBS). Esses indicadores são apresentados na Tabela 25.

De acordo com os dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego, a produção de biocombustíveis, excetuando-se o etanol, gerou 5.104 empregos diretos em 2024 (MTE, 2025). Essa estimativa não contempla os empregos gerados nas demais etapas produtivas,

⁷⁹ Conforme dados fornecidos pelo Departamento de Inovação para a Produção Familiar e Transição Agroecológica (DINOV/SAF/MDA) por meio de comunicação pessoal em 11/07/2024. Os dados se baseiam em informações preliminares fornecidas pelas empresas detentoras do Selo Biocombustível Social e agentes intermediários no Sistema de Gestão de Ações do Biodiesel – Sabido.

como a etapa agrícola e a distribuição. Estudo realizado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) e da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) estima que, em 2021, cerca de 19 mil pessoas estavam ocupadas diretamente na cadeia produtiva do biodiesel. O mesmo estudo estimou que o PIB da fabricação de biodiesel tenha alcançado R\$ 10,5 bilhões em 2021, o que corresponde a cerca de 2% do PIB da agroindústria brasileira. Ao movimentar o setor de serviços a jusante, a atividade contribuiu para gerar um PIB de R\$ 20,3 bilhões naquele ano. Considerando os setores a montante, estima-se que para cada R\$ 1 a mais de produção da atividade de fabricação de biodiesel, R\$ 4,4 são acrescentados na economia como um todo. (CEPEA e ABIOVE, 2022). Cumpre notar que a geração de empregos tende a crescer com o aumento do percentual obrigatório da mistura de biodiesel ao óleo diesel, que passou de 14 para 15% em 2025.

Tabela 25– Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel

Indicadores Ambientais	
Produção de glicerina como subproduto da produção de biodiesel (média anual no decênio)	1,25 Mt
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos na fabricação de biodiesel (média anual no decênio)	6,9 mil
Famílias fornecedoras de matéria-prima do SBS	57 mil ⁸⁰

Fonte: EPE, com base em ANP (2024), MTE (2024) e MDA (2024)

BOX 6 – IMPACTOS DO ETANOL E DO BIODIESEL NA SAÚDE PÚBLICA

Um estudo da EPE (2021) estimou o **impacto na saúde humana com a utilização do etanol e biodiesel no setor de transportes** na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com base na redução da emissão de material particulado, considerado o poluente atmosférico de maior impacto na saúde entre os gerados pela queima de combustíveis no transporte. Esse material está relacionado à ocorrência de doenças cardiovasculares e respiratórias e a diversos tipos de câncer.

O estudo da EPE utilizou a metodologia AirQ+ da Organização Mundial de Saúde – OMS, aplicando-a à RMSP, escolhida devido à disponibilidade de dados, com destaque para o inventário de poluição atmosférica da RMSP, publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb. As simulações tomaram como base o ano de 2018, o mesmo considerado no inventário.

A comparação do cenário observado em 2018 de utilização de **etanol** hidratado e gasolina C, com mistura de 27% de etanol anidro, com o cenário hipotético de não utilização de etanol, somente ocorrendo o consumo de gasolina A (sem adição de etanol), resulta numa queda estimada de 2,6% da emissão total de partículas finas na atmosfera (correspondente a 7,2% da emissão de particulados pelo setor de transportes). **Estima-se que essa redução evite 371 mortes ao ano e cause um aumento na expectativa de vida da população em 13 dias.**

Com relação ao **biodiesel**, o estudo considerou o percentual obrigatório de mistura ao diesel vigente em 2018, de 10%. O estudo estimou que naquele ano a adição de biodiesel evitou 4,8% das emissões de particulado fino provenientes do setor de transportes na RMSP, contribuindo com o **acréscimo de nove dias na expectativa de vida da população, além de reduzir 244 óbitos anualmente**. O estudo também estimou que a alternativa de adição de 15% de biodiesel ao diesel traria redução adicional de 2% nas emissões veiculares de particulado, além de um aumento de mais quatro dias na expectativa de vida e, ainda, evitaria mais 104 óbitos ao ano. Atualmente o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao diesel é de 15%.

⁸⁰ Conforme dados fornecidos pelo Departamento de Inovação para a Produção Familiar e Transição Agroecológica (DINOV/SAF/MDA) por meio de comunicação pessoal em 30/05/2025. Os dados se baseiam em informações preliminares fornecidas pelas empresas detentoras do Selo Biocombustível Social e agentes intermediários no Sistema de Gestão de Ações do Biodiesel – Sabido.

6.3 Biometano

Benefícios do biometano

- Fonte de **energia renovável** que substitui o uso de combustíveis fósseis contribuindo para a transição energética.
- Contribui com a **estratégia de redução de emissões** proposta na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) pois utiliza um gás de efeito estufa (CH₄) como fonte de energia.
- Aproveita **resíduos como recursos energéticos**, seguindo uma lógica circular e minimizando riscos e impactos decorrentes da sua disposição.
- Contribui para a segurança energética e resiliência do sistema ao permitir uma geração contínua e descentralizada.
- **Versatilidade** no uso de diferentes tipos de resíduos, aproveitando recursos locais e viabilizando diversos modelos de negócio.
- Por ser **intercambiável** ao gás natural, pode ser integrado a infraestrutura e tecnologias existentes, sem necessidade de adaptações significativas.
- Possui potencial de **geração de emprego e renda**, principalmente no interior do país e em zonas rurais, estimulando o desenvolvimento regional sustentável.

Oferta atual de biometano

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP, 2025), a capacidade de produção de biometano, até março de 2025, era de 697 mil Nm³/dia. Esse volume é oriundo do setor de resíduos sólidos urbanos, com plantas localizadas em aterros sanitários, e do setor agrossilvopastoril.

Registravam-se, em março de 2025, 12 usinas em operação, localizadas nos estados de São Paulo (6), Rio de Janeiro (2), Minas Gerais (1), Paraná (1), Ceará (1) e Mato Grosso do Sul (1), sendo oito delas instaladas em aterros sanitários e quatro em estabelecimentos do setor agrossilvopastoril.



Expansão da oferta de biometano nos próximos 10 anos

O cenário de oferta de biometano no PDE 2035 projeta a produção de 0,77 milhões de Nm³ de produção acumulada no decênio. Essa expansão será viabilizada pela implementação de 24 novas plantas e pela ampliação de uma usina existente (RSU em aterro). Das 24 novas plantas, 9 são usinas localizadas em aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU), 11 são usinas de agrossilvopastoris e comerciais, e 4 usinas no setor sucroenergético. Essas usinas estão previstas em 12 estados brasileiros, sendo o Rio Grande do Sul o estado com maior número de plantas (6). A Figura 18 Figura 19 apresenta a localização das usinas planejadas no decênio.

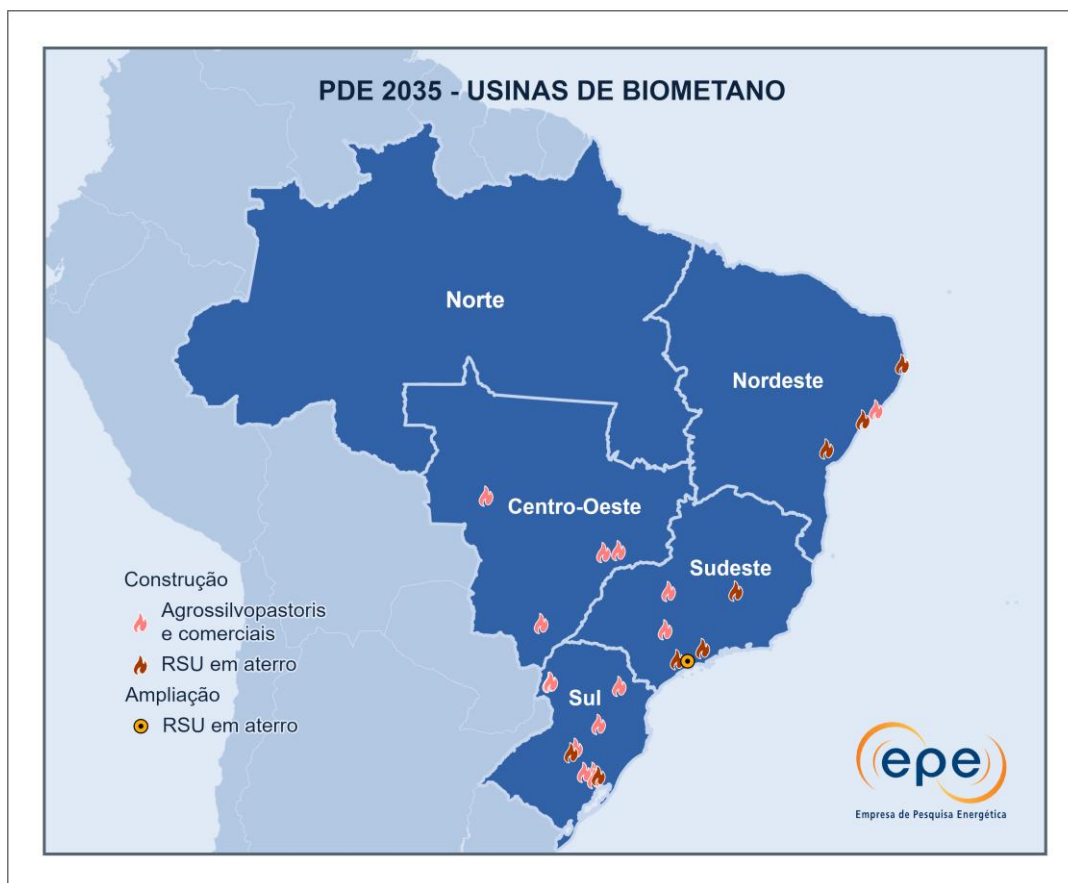


Figura 19 – Localização das usinas de biometano planejadas no PDE 2035

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão do biometano

As principais interferências socioambientais da produção de biometano envolvem emissões de metano, consumo de água e geração de efluentes.

Com relação às emissões, é necessário que haja controle de **emissões de metano**, gás com potencial de aquecimento global significativamente maior que o gás carbônico. As perdas do gás podem ocorrer durante o manejo da matéria-prima, na produção do biogás, no gerenciamento de efluentes e digestato, purificação e transporte do biometano (IEA, 2025). Para mitigar essas emissões é importante que sejam utilizadas tecnologias que minimizem as emissões e implementadas medidas de detecção e reparo de vazamentos (IEA, 2025).

Em relação ao **consumo de água** é importante notar que há bastante variação a depender do tipo de substrato, se resíduo do setor sucroalcooleiro, agrossilvipastoril ou resíduos sólidos urbanos. Em específico, para a etapa de purificação do biogás, a lavagem com água é usualmente aplicada. A literatura atual apresenta poucos dados a respeito do consumo total de água em plantas de biometano. No entanto, são apresentados alguns valores sobre o consumo de água na purificação do biogás, não muito expressivos, entre 0,006 e 0,2 m³/h de água por 1 Nm³/h de biogás (BAUER *et al.*, 2013; FLORIO *et al.*, 2019; GALLONI e MARCOBERARDINO, 2024; GONG e LUNELLI, 2024).

Quando o biometano é produzido a partir de biogás utilizando biodigestores, é gerado um **efluente** denominado digestato, ao qual deve ser dada destinação adequada. Dependendo dos substratos utilizados na produção do biogás (que será refinado para se transformar em biometano), o digestato gerado pode ser aproveitado como fertilizante.

Em resumo, apesar da possibilidade de interferências socioambientais ocorrerem, elas são mitigáveis e evitáveis, se seguidas as especificações dos órgãos ambientais e reguladores. As medidas mitigadoras envolvem o monitoramento ambiental rigoroso, garantindo o controle de qualidade da produção de biometano. Dessa forma, não foram identificados temas socioambientais relevantes para a expansão de biometano em nenhuma região do país no horizonte decenal.

De acordo com a análise ora apresentada, não foram identificados temas socioambientais relevantes para o biometano no contexto do Plano, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE e apresentado na Tabela 26.

Tabela 26– Síntese da análise socioambiental do biometano do PDE 2035

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Biometano	não há projetos planejados	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas	 interferências inexpressivas

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biometano

O primeiro desafio relacionado à expansão do biometano consiste na **ampliação de uso de outros resíduos orgânicos em biodigestores** utilizando o potencial existente no setor agrosilvopastoril. Atualmente, o maior número de plantas está localizado em aterros sanitários, que captam o metano gerado pelos resíduos orgânicos em decomposição. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei nº 12.305, 2010), e o novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14,026, 2020) são iniciativas que visam promover melhor gestão e aproveitamento de resíduos. É recomendável o foco na coleta e destinação final adequada, com disposição em aterros sanitários apenas dos rejeitos⁸¹, o que favoreceria um aproveitamento energético mais eficiente, por meio da produção de biogás e biometano a partir de biodigestores. Além disso, é importante mencionar o potencial de biometano oriundo de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), que também poderia ser fonte de substratos para geração desse energético. Vale destacar também o grande potencial existente no setor agrícola, especialmente o sucroenergético (LEMOS et al, 2024).

Outro desafio para as plantas de biometano é o **gerenciamento das emissões de metano**. Ainda que, para certos resíduos, a produção de biogás previna a emissão que ocorreria pela decomposição natural, vazamentos de metano, quando não mitigados ao longo da cadeia, podem comprometer o benefício da substituição do combustível fóssil (IEA, 2025). No âmbito internacional, o Brasil é signatário do Global Methane Pledge, lançado na COP26, em 2021, com o objetivo de reduzir coletivamente as emissões globais de metano em pelo menos 30% até 2030, em comparação com os níveis de 2020. Como desdobramento desse acordo foi desenvolvido o Programa Metano Zero (BRASIL, 2022a). Sendo assim, é importante que haja incentivos e orientações para que as plantas utilizem tecnologias de baixa emissão, adotem medidas para identificar e reparar vazamentos em equipamentos, além de aprimorar o gerenciamento de resíduos.

O Quadro 30 resume os principais desafios relacionados à expansão do biometano no PDE 2035 e as iniciativas e recomendações associadas.

⁸¹ Rejeito é um tipo de resíduo sólido que não pode ser reciclado ou reaproveitado, pois todas as alternativas de tratamento e recuperação já foram esgotadas, sendo necessário um descarte final em aterros sanitários ou incineração. A principal diferença para um resíduo é que o resíduo ainda pode ser reinserido na cadeia produtiva, enquanto o rejeito não tem mais utilidade e precisa ser destinado de forma ambientalmente correta para não poluir o ambiente.

Quadro 30 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biometano

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Ampliação de uso de outros resíduos orgânicos em biodigestores	Política Nacional de Resíduos Sólidos Marco Legal do Saneamento Básico	Cumprimento da PNRS, separação dos resíduos orgânicos e encaminhamento para biodigestores
Emissões de metano	Global Methane Pledge e Programa Metano Zero	Incentivo e orientações para que as plantas utilizem tecnologias de baixa emissão, adotem medidas para identificar e reparar vazamentos em equipamentos, além de aprimorar o gerenciamento de resíduos

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biometano

A primeira oportunidade está relacionada à **inserção de biometano na matriz de combustíveis**, contribuindo com a mitigação de emissões de GEE. O biometano começou a ganhar maior visibilidade a partir da implementação do RenovaBio (Lei nº 13.576/2017), quando foi estabelecida a Política Nacional de Biocombustíveis, tornando-se elegível para emitir CBIOS (Crédito de Descarbonização). Posteriormente, em 2024, a Lei do Combustível do Futuro (Lei n. 14.993/2024) estabeleceu que os produtores e importadores de gás natural devem começar a reduzir suas emissões de GEE em 1% em 2026 com o uso de biometano, inicialmente. Em maio de 2025, o MME realizou uma audiência pública para debater a proposta de decreto que regulamentará o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano e em setembro de 2025 o Decreto nº 12.614, que regulamenta a Lei nº 14.993, foi instituído representando mais um avanço no fortalecimento do Combustível do Futuro, política estratégica do Governo Federal para acelerar a transição energética e ampliar o uso de combustíveis sustentáveis no país.

Recentemente, com o estabelecimento do Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano – PNIIGB (Decreto 12.153/2024), objetiva-se promover uma estratégia para o desenvolvimento da oferta, da demanda e da infraestrutura de gás natural e biometano no país (EPE, 2025b). A Lei nº 15.103/2025, que instituiu o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), também estabelece que o biogás e o biometano são setores prioritários para o desenvolvimento de tecnologias e produção dentro da estratégia brasileira de transição energética justa e inclusiva. O programa criou o Fundo Verde, gerido pelo BNDES, que será a principal fonte de financiamento das ações planejadas e que objetiva promover o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis e a valorização energética de resíduos sólidos (EPE, 2025a). Adicionalmente, o Programa Gás para Empregar busca integrar o gás natural à estratégia nacional de transição energética contemplando o desenvolvimento do biogás/biometano.

É importante mencionar que já há políticas estaduais referentes ao biogás e biometano, o que pode também apoiar o desenvolvimento do gás natural renovável no país. As políticas instituídas por sete estados brasileiros (RJ, SP, RS, PR, GO, MG e MS) abrangem medidas de obrigatoriedade, incentivo econômico, regulação técnica, planejamento e educação ambiental. Entre os principais instrumentos, destacam-se a definição de percentuais mínimos de aquisição e mistura de biometano ao gás canalizado, a realização de chamadas públicas para compra do insumo, bem como o estabelecimento de preços mínimos e máximos para comercialização junto às distribuidoras estaduais. De acordo com a EPE (2025a), entre janeiro de 2024 e julho de 2025, o mercado brasileiro de biometano registrou um aumento significativo nas chamadas públicas para aquisição do combustível por distribuidoras estaduais de gás canalizado e grandes consumidores institucionais.

Cabe destacar ainda os avanços do uso do biometano em frotas de veículos de transporte pesado. Algumas montadoras já ofertam veículos desse segmento movidos a biometano, ainda em escala reduzida, principalmente para o setor agrícola, em especial o sucroenergético. Apesar dessas iniciativas ainda

serem pontuais, pode ser uma oportunidade relevante em termos socioambientais, pois caso sejam difundidas no setor agrícola, isso poderá representar redução no uso de combustíveis fósseis, e consequentemente de emissões de GEE.

Uma segunda oportunidade diz respeito ao potencial do biometano **contribuir com estratégias de BECCS**, terminologia utilizada para se referir à captura e armazenamento geológico de dióxido de carbono (CCS) proveniente da biomassa (EPE, 2023). A remoção de carbono da atmosfera é um dos pilares para o cumprimento das metas climáticas de emissões líquidas nulas (net zero) (EPE, 2023; LEMOS,2024). O Decreto nº 11.003/2022, que instituiu a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano (BRASIL, 2022b), pode representar um instrumento institucional de apoio ao estabelecimento do biometano como energético relevante para o cumprimento dos acordos e metas climáticas. Um dos seus três objetivos é apoiar o atendimento aos compromissos assumidos pelo país no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, do Pacto Climático de Glasgow e do Compromisso Global de Metano.

Como última oportunidade, pode-se mencionar a possibilidade do biometano, pelo seu atributo ambiental de promover a redução de emissões de GEE, **participar de instrumentos de descarbonização**, tais como CBIO, emissão de certificados de energia renovável e Certificado de Garantia de Origem de Biometano. Dentro do RenovaBio, o CBIO é um título emitido por empresas produtoras de biocombustíveis, que representa uma tonelada de carbono que deixa de ser emitida para a atmosfera por meio da produção e uso de biocombustíveis e que as distribuidoras podem adquirir para comprovar o cumprimento das suas metas. Atualmente, de acordo com a EPE (2024), há quatro empresas de biometano certificadas no RenovaBio, sendo uma do setor sucroenergético e três localizadas em aterros sanitários. Cabe destacar que os CBIOs das plantas de biometano têm maior média de nota de eficiência energético-ambiental (NEEA) frente aos outros biocombustíveis, rendendo mais CBIOs por megajoule (MJ) comercializado que o etanol ou o biodiesel (MME, 2024). Com o RenovaBio, as unidades produtoras certificadas podem gerar uma receita adicional por Nm³ de biometano, tornando o biocombustível mais atrativo economicamente (EPE, 2025a).

Certificados de energia renovável (REC – *Renewable Energy Certificates*) são instrumentos criados para garantir a origem e realizar o rastreamento e a contabilidade de atributos não-energéticos referentes a uma unidade de energia. A aquisição de certificados permite declarar, para fins de inventários de emissões corporativas, que a energia consumida tem origem renovável, com fator de emissão reduzido ou igual a zero (EPE, CIBIOGÁS e MME, 2023). O Gas-REC, por exemplo, é uma certificação que rastreia o biogás ou o biometano proveniente de usinas de produção pela cadeia de fornecimento, de forma a provar que o consumidor de gás se apropria da parte renovável do gás consumido (INSTITUTO TOTUM, 2021).

Em 2024, com a instituição da Lei do Combustível do Futuro, foi criado o certificado de garantia de origem de biometano (CJOB), que é um instrumento de mercado que objetiva facilitar e operar o processo de cumprimento das metas de descarbonização da cadeia de gás natural no Brasil e ainda está em fase de estruturação para ser operacionalizado.

O Quadro 31 a seguir resume as oportunidades relacionadas à expansão da oferta de biometano no PDE 2035 e a conjuntura favorável para aproveitamento das oportunidades identificadas.

Quadro 31– Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biometano

Oportunidades	Conjuntura favorável
Inserção do biometano na matriz de combustíveis	RenovaBio
	Lei do Combustível do Futuro
	Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano – PNIIGB
	Gás para empregar

	Paten Fundo Verde Políticas estaduais existentes Oferta de veículos a biometano pelas montadoras
Contribuir com estratégias de BECCS	Decreto n. 11.003/2022 – Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano
Participar de instrumentos de des-carbonização	Cbio Gas-REC Certificado de garantia de origem de biometano (CJOB)

BOX 7 – COMBUSTÍVEIS DE BAIXO CARBONO

O PDE 2035 também traz perspectivas sobre desenvolvimento de outros combustíveis de baixo carbono no país. A Lei do Combustível do Futuro, Lei nº 14.993 de 2024, o Marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, Lei n. 14.948/2024, e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela lei n. 15.103/2025, são algumas das principais iniciativas que promovem a inserção de energias de baixo carbono na matriz. Esses energéticos contribuem para a transição justa e inclusiva ao substituir combustíveis fósseis e trazer benefícios socioambientais, tais como redução de emissões de GEE e de poluentes atmosféricos, geração de empregos e desenvolvimento econômico por meio de sua cadeia produtiva.

O combustível sustentável de aviação (SAF) pode ser produzido por diversas rotas tecnológicas e a partir de diferentes insumos renováveis ou resíduos. A rota HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) é a mais difundida. No Brasil, destaca-se o potencial desenvolvimento da rota *Alcohol-to-Jet*, devido à expressiva produção de etanol. A Lei n. 14.993/2024, que instituiu o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), estabelece metas mínimas de redução de emissões por meio de SAF nas operações domésticas, iniciando em 1% em 2027 e aumentando progressivamente até atingir 10% em 2037. O PDE 2035 estima que a partir de 2030 a oferta de SAF será da ordem de 1,7 bilhões de litros por ano e alcançará 2,8 bilhões de litros em 2035.

O diesel verde, por sua vez, pode ser obtido por diferentes rotas, e é geralmente obtido por meio de hidrotratamento de óleos vegetais (HVO). Sua composição é semelhante ao diesel derivado do petróleo, sendo possível substituí-lo diretamente. A Lei n. 14.993/2024, que também instituiu o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV), estabelece que o CNPE definirá anualmente a participação volumétrica mínima obrigatória de diesel verde no diesel fóssil. A participação não poderá exceder o limite de 3%, mas adições voluntárias superiores serão permitidas desde que sejam comunicadas à ANP.

Já o diesel coprocessado é obtido ao se processar uma fração de óleo vegetal conjuntamente com o diesel fóssil em refinarias tradicionais, resultando em combustível com parcela renovável. Essa estratégia já é realizada em algumas refinarias da Petrobras por meio do programa BioRefino.

O hidrogênio de baixo carbono também pode ser obtido de diferentes formas, desde sua extração de depósitos subterrâneos naturais, processamento de biomassa, eletrólise da água, combustíveis fósseis com CCS, entre outros. A Lei n. 14.948/2024 instituiu a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e outros instrumentos relevantes para promover o desenvolvimento desse energético no país.

Um ponto de convergência relevante para a produção dos combustíveis de baixo carbono citados é a diversidade de rotas tecnológicas e matérias-primas que podem ser utilizadas para sua produção. Isso representa oportunidade estratégica de aproveitamento de recursos locais e promoção do desenvolvimento regional. Os benefícios ainda podem ser ampliados quando se prioriza o uso de resíduos como insumos, pois além de agregar valor a materiais subutilizados, contribui para a mitigação de impactos ambientais ao oferecer uma destinação mais nobre e sustentável.

7 Conclusão

A presente Nota Técnica apresenta os subsídios para a expansão decenal e a análise socioambiental da oferta de energia elétrica e da oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis. Esse conteúdo contribui para a definição dos projetos que compõem a expansão decenal e serve como base para a análise integrada das fontes energéticas do PDE 2035, respectivamente.

Dentro da etapa de subsídios para a expansão decenal, foram realizadas avaliações tanto para as usinas hidrelétricas quanto para as unidades produtivas de petróleo e gás natural. O resultado da avaliação processual de UHEs indicou três usinas com possibilidade de entrada de operação no horizonte. Embora essas três usinas tenham sido disponibilizadas para o modelo de expansão, apenas duas UHEs indicativas foram escolhidas por ele. Quanto à análise de complexidade para as unidades produtivas contratadas, o resultado indicou um prazo adicional para o licenciamento ambiental para 95 UPs. Todavia, os prazos estimados para viabilização da produção dessas UPs já superavam os tempos esperados para o licenciamento ambiental.

Na etapa de análise socioambiental da oferta de energia planejada, foram observadas as seguintes fontes energéticas indicadas no PDE 2035: hidrelétricas, PCHs, termelétricas renováveis e não renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas, transmissão de energia elétrica, produção e oferta de petróleo gás natural e derivados, etanol, biodiesel e biometano. A partir da análise de cada uma das fontes energéticas, considerando a metodologia utilizada, chegou-se a sete temas socioambientais que sintetizam as interferências socioambientais mais significativas do conjunto planejado para o PDE 2035: biodiversidade, organização territorial, paisagem, povos e terras indígenas, qualidade do ar, recursos hídricos e resíduos.

Dentre os desafios socioambientais listados para a expansão energética, sobressaíram: 1 - a mitigação das emissões do setor energético; 2 - a adaptação do setor energético às mudanças do clima; 3 - a transição energética justa e inclusiva; 4 - a compatibilização da produção, geração e transmissão de energia com a conservação da biodiversidade; e 5 - a compatibilização da geração e produção de energia com o uso da água.

O primeiro recorte traz os desafios de mudança do clima, contemplando a mitigação das emissões de GEE e a adaptação aos efeitos das alterações do clima, bem como a transição energética justa e inclusiva. Tais desafios foram escolhidos a fim de representar a importância desses temas para a trajetória energética brasileira. Enquanto aqueles relacionados à biodiversidade e ao uso da água partem da análise integrada dos temas socioambientais mais relevantes no âmbito da expansão prevista no PDE 2035.

De modo a identificar possibilidades de agregar valor socioambiental à expansão energética, também foram identificadas oportunidades socioambientais para as fontes energéticas. Entre as oportunidades, destacaram-se: 1 - aproveitamento energético dos resíduos; 2 - otimização de recursos e de infraestrutura; e 3 - mecanismos de sustentabilidade para projetos energéticos.

Neste ciclo, cabe enfatizar a importância das discussões sobre mudanças climáticas e transição energética justa e inclusiva, que permearam a análise de todas as fontes energéticas.

Ao mesmo tempo em que as mudanças climáticas se apresentam como um desafio às fontes energéticas, exigindo medidas de mitigação e adaptação, elas também se apresentam como oportunidades para algumas fontes. Nesse contexto, podem ser citadas iniciativas de descarbonização e diversos mecanismos de sustentabilidade, que contribuem para uma transição energética de baixo carbono.

Dessa forma, as análises realizadas para cada fonte energética, nesta Nota Técnica, formam a base para a análise socioambiental integrada apresentada no corpo do PDE 2035 (ver Cap. 10 – Análise Socioambiental). Cabe destacar que o Plano também conta com a análise das questões de mudança do clima (Cap. 10) e da transição energética (Cap. 11 – Transição Energética).

8 Referências bibliográficas

Hidrelétricas

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2025. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2025**. Disponível em: [Conjuntura dos Recursos Hídricos — Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos](#). Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024. **Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil - Sumário Executivo**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>. Acesso em: outubro de 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2025. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliINTItMTVhZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVhYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: maio de 2025.

BANCO Mundial. 2016. **Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial**. Environmental Social Framework Portuguese. Banco Mundial, Washington, DC. Disponível em: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/456161535383869508-0290022018/original/EnvironmentalSocialFrameworkPortuguese.pdf>. Acesso em: dezembro de 2025.

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. 2020. **Quadro de Políticas Ambientais e Sociais – Setembro/2020**. Disponível em: <https://greenfinancelac.org/pt-br/recursos/publicacoes/quadro-de-politicas-ambientais-e-sociais/>. Acesso em: dezembro de 2025.

BRASIL. 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, de 05 de outubro de 1988**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 1989. **Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências (art. 21, XIX da CF). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7990compilado.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2000. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2006. **Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2011. **Lei Complementar n. 140, de 08 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2015. **Decreto n. 8.437, de 22 de abril de 2015**. Regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar n.º 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência

da União. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8437.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2019. **Decreto n. 10.088, de 05 de novembro de 2019**. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da Organização Internacional do Trabalho – OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.088-de-5-de-novembro-de-2019-231356812>. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. Câmara dos Deputados. 2020. **Projeto de Lei n. 191, de 2020**. Regulamenta o § 1º do art. 176 e o § 3º do art. 231 da Constituição para estabelecer as condições específicas para a realização da pesquisa e da lavra de recursos minerais e hidrocarbonetos e para o aproveitamento de recursos hídricos para geração de energia elétrica em terras indígenas e institui a indenização pela restrição do usufruto de terras indígenas. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2236765>. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2021a. **Lei n. 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394> Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2021b. **Lei n. 14.182, de 12 de julho de 2021**. Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis n. 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei n. 3.890-A, de 25 de abril de 1961. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.182-de-12-de-julho-de-2021-331549377>. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024. **Lei n. 15.042, de 11 de dezembro de 2024**. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Disponível em: [Base Legislação da Presidência da República - Lei nº 15.042 de 11 de dezembro de 2024](#). Acesso em: dezembro de 2025.

CBI – Climate Bonds Initiative. 2021. **The Hydropower Criteria for the Climate Bonds Standard & Certification Scheme**. March 2021, v. 1.0. Disponível em: [Climate-Bonds Hydropower Criteria-document Mar-2021.pdf](#) Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024. **The Hydropower Criteria – Climate Bonds Standard**. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/standard/hydropower>. Acesso em: dezembro de 2025.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. 2024a. **Compromisso Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade**. Disponível em: [Compromisso-Empresaria-Brasileiro-para-a-Biodiversidade 2024-1.pdf](#). Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024b. **Plataforma Ação pela Natureza**. Disponível em: [Plataforma Ação pela Natureza - CEBDS](#) Acesso em: dezembro de 2025.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2022a. **Resolução n. 2, de 07 de abril de 2022**. Institui Grupo de Trabalho - GT para elaboração do plano para viabilizar a recuperação dos reservatórios de regularização do País, ao longo de até 10 (dez) anos. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2022/ResolucaoCNPE_2_2022.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2022b. **Resolução n. 8, de 11 de julho de 2022**. Aprova o plano para viabilizar a recuperação dos reservatórios de regularização de usinas hidrelétricas do País, ao longo de até 10 (dez) anos. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-421614426>. Acesso em: dezembro de 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2012. **Série Estudos do Meio Ambiente – Metodologia para Avaliação Socioambiental de Usinas Hidrelétricas** (Nota Técnica DEA 17/12). Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-253/topico-317/20121227_1\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-253/topico-317/20121227_1[1].pdf). Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2018. **Metodologia para Avaliação Processual de Usinas Hidrelétricas** (Nota Técnica EPE 027/2018). Disponível em: [PDE 2027 - Análise Processual de UHEs EPE 027-2018.pdf](#). Acesso em: julho de 2025.

_____. 2019. **Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas, Ganhos de Eficiência, Energia e Capacidade Instalada** (Nota Técnica EPE-DEE-088/2019-r0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-de-repotenciacao-e-modernizacao-de-usinas-hidreletricas-ganhos-de-eficiencia-energia-e-capacidade-instalada> Acesso em: julho de 2024.

_____. 2022a. **BiodivEPE – Biodiversidade no Planejamento de Projetos de Energia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/biodivepe-biodiversidade-no-planejamento-de-projetos-de-energia>. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2023. **Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas - Revisão Bibliográfica**. Nota Técnica. Disponível em: [Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico às Mudanças Climáticas](#). Acesso em: maio de 2025.

_____. 2024. **Hidreletricidade e mudanças climáticas**. Factsheet. Disponível em: [FACT SHEET HIDRELETRICIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS.pdf](#). Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025a. **Caderno de Estudos “Um olhar para as usinas hidrelétricas - Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro”** (Caderno de Estudos CD-EPE-DEA-SMA-001-2025). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-869/Caderno%20de%20Estudos_Um%20olhar%20para%20as%20usinas%20hidrel%C3%A9tricas%20jan2025.pdf. Acesso em: abril de 2025.

_____. 2025b. **Informe “Leilão de Reserva de Capacidade 2026 - Cadastramento e Habilitação Técnica dos Projetos”** (Caderno de Estudos CD-EPE-DEA-SMA-001-2025). Disponível em: [INFORME CADASTRAMENTO](#) Acesso em: dezembro de 2025.

HSA – Hydropower Sustainability Alliance. 2024. **Hydropower Sustainability Standard -Hydropower Project Directory**. Disponível em: <https://www.hs-alliance.org/certified-projects>. Acesso em: abril de 2025.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2022. **Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia – PRIM-HA**. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto/prim-hidreletricas-na-amazonia>. Acesso em: dezembro de 2025.

IEA - International Energy Agency. 2021. **Electricity Security, Climate Resilience**. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/62c056f7-deed-4e3a-9a1f-a3ca8cc83813/Climate_Resilience.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

IFC – International Finance Corporation. 2012. **Padrão de Desempenho 6: Conservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos**. Disponível em: [2012-ifc-performance-standard-6-pt.pdf](#). Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2018. **Good Practice Note – Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects**. March 2018. Disponível em: [Good Practice Note: Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects \(ifc.org\)](#) Acesso em: dezembro de 2025.

IHA – International Hydropower Association. 2021a. **How-to Guide: Hydropower Biodiversity and Invasive Species**. London: IHA. Disponível em: [https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/6080315956b417e3d26a34dc_Hydropower%2BHtG%2BBiodiversity%20\(2\).pdf](https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/6080315956b417e3d26a34dc_Hydropower%2BHtG%2BBiodiversity%20(2).pdf) Acesso em: dezembro de 2025.

- _____. 2021b. **How-to Guide: Hydropower Environmental and Social Assessment and Management**. London: IHA. Disponível em: [64f9d0036cb97160cc27123b_Hydropower_HtG_E&S_268x190_030821.pdf](https://www.ihaworld.org/files/64f9d0036cb97160cc27123b_Hydropower_HtG_E&S_268x190_030821.pdf) ([website-files.com](https://www.ihaworld.org/files)). Acesso em: dezembro de 2025.
- _____. 2021c. **Good Practice Guide: Hydropower and Protected Areas**. London: IHA. Disponível em: [64f9d0036cb97160cc2712ad_Hydropower and Protected Areas Guide-LR.pdf](https://www.ihaworld.org/files/64f9d0036cb97160cc2712ad_Hydropower_and_Protected_Areas_Guide-LR.pdf) Acesso em: dezembro de 2025.
- _____. 2021d. **How to guide: Hydropower and Indigenous Peoples**. London: IHA. Disponível em: [61c08ddeb547fd00d9879d31_How-to Guide - Hydropower and Indigenous Peoples.pdf](https://www.ihaworld.org/files/61c08ddeb547fd00d9879d31_How-to_Guide_-_Hydropower_and_Indigenous_Peoples.pdf) ([website-files.com](https://www.ihaworld.org/files)). Acesso em: dezembro de 2025.
- IPPC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. **IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change**. Disponível em: IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change | IPBES secretariat. Acesso em: setembro de 2024.
- ISA – Instituto Socioambiental. 2023. **Tribunais brasileiros e o direito à consulta prévia, livre e informada**. São Paulo: ISA: Centro de Pesquisa e Extensão em Direito Socioambiental (CEPEDIS). Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/publicacoes-isa/tribunais-brasileiros-e-o-direito-consulta-previa-livre-e-informada>. Acesso em: dezembro de 2025.
- MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. 2022. **PNRH – Plano Nacional de recursos Hídricos. Plano de Ação: Estratégia Nacional para o gerenciamento dos recursos hídricos 2022-2040**. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/Plano%20de%20Acao%20e%20Anexo%20Normativo%20para%20apreciacao%20do%20CNRH/plano-de-acao_pnrhv2022_cnrh-versaofinal-22-03-21.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Gabinete da Ministra. 2015. **Portaria Interministerial n. 60, de 24 de março de 2015**. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=71&data=25/03/2015>. Acesso em: dezembro de 2025.
- _____. 2024. **Plano Clima – Adaptação**. Disponível em: [Plano Clima - Adaptação — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/PlanoClimaAdaptacao) Acesso em: dezembro de 2025.
- MME – Ministério de Minas e Energia. 2014. **Projeto BALCAR – Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. 2025a. **Brasil, líder mundial na transição energética - As políticas públicas do Ministério de Minas e Energia para desenvolver a economia verde e promover a inclusão social 2023-2025**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/BrasilLiderMundialnaTransicaoEnergeticaMinisteriodeMinaseEnergia.pdf>. Acesso em: abril de 2025.
- _____. 2025b. **Silveira celebra retomada da indústria hidrelétrica no Brasil com investimentos estimados de R\$ 8 bilhões em PCHs**. Disponível em: [Silveira celebra retomada da indústria hidrelétrica no Brasil com investimentos estimados de R\\$ 8 bilhões em PCH's — Ministério de Minas e Energia](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/SilveiracelebraRetomadaDaIndustriaHidreletricaNoBrasilComInvestimentosEstimadosDeR8BilhoesEmPCHs-MinisteriodeMinaseEnergia). Acesso em: dezembro de 2025.
- TNFD - Taskforce on Nature-related Financial Disclosure. 2024. **Additional sector guidance Electric utilities and power generators**. Disponível em: <https://tnfd.global/wp-content/uploads/2024/06/Additional-Sector-Guidance-Electric-Utilities-and-Power.pdf?v=1719525999> Acesso em: maio de 2025.
- WORLD Bank Group. 2018. **Good Practice Handbook: Environmental Flows for Hydropower Projects**. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_handbook_eflows. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2021. **What You Need to Know About Green Loans**. Disponível em: https://www.world-bank.org/en/news/feature/2021/10/04/what-you-need-to-know-about-green-loans?qterm_test=green+bond. Acesso em: dezembro de 2025.

Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2025. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMi-OjR9> . Acesso em: maio de 2025.

_____. 2024. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico – SIGEL**. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2023. **Resolução Normativa n. 1059, de 07 de fevereiro de 2023**. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: setembro de 2024.

BRASIL. 2006. **Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: setembro de 2024.

CONSEMA/RS – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. 2018. **Resolução CONSEMA n. 388, de 08 de novembro de 2018**. Dispõe sobre os critérios e diretrizes gerais, bem como define os estudos ambientais e os procedimentos básicos a serem seguidos no âmbito do licenciamento ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, e Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGHs. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=370212>. Acesso em: setembro de 2024.

INSTITUTO Totum. 2025. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/273-i-rec?jji=1630510011605> Acesso em: setembro de 2025.

Termelétricas de Fontes Não Renováveis

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2019. **Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf. Acesso em: dezembro de 2021.

_____. 2025. **Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água** Disponível em <https://app.porwerbi.com/view?r=eyJrIjoieYTBhZDU3MGUtMzI4Mi00NTQwLTgxYWVtMTk2OGJiZDUxMWNiliwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5S04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9> . Acesso em: dezembro de 2025

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024. **Sistema de Informações da Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjI4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVhYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: junho de 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2024a. **Relatório sobre a implementação do marco regulatório de CCUS no país**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/relatorioccs.pdf> Acesso em: abril de 2025.

_____. 2024b. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf> Acesso em: abril de 2025.

BRASIL. 2021a. **Lei n. 14.120, de 1º de março de 2021**. Altera a Lei n. 9.991, de 24 de julho de 2000, a Lei n. 5.655, de 20 de maio de 1971, a Lei n. 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei n. 12.111, de 9 de dezembro de 2009, a Lei n. 12.783, de 11 de janeiro de 2013, a Lei n. 13.203, de 8 de dezembro de 2015, e o Decreto-Lei n. 1.383, de 26 de dezembro de 1974; transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) representativas do capital social da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep); e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.120-de-1-de-marco-de-2021-306116199>. Câmara dos Deputados.

_____. 2021b. **Lei n. 14.182, de 12 de julho de 2021**. Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis n. 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei n. 3.890-A, de 25 de abril de 1961. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.182-de-12-de-julho-de-2021-331549377>.

_____. 2021c. **Projeto de Lei n. 2.148, de 2015**. Prevê a redução das alíquotas de tributos sobre a receita de venda dos produtos elaborados com redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/1548579>. Acesso em: outubro de 2021.

_____. 2022a. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 1.425, de 2022**. Disciplina a exploração da atividade de armazenamento permanente de dióxido de carbono de interesse público, em reservatórios geológicos ou temporários, e seu posterior reaproveitamento. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/153342>. Acesso em: outubro de 2022.

_____. **Projeto de Lei n. 4.516 de 2023**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono, o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação, o Programa Nacional de Diesel Verde e o marco legal da captura e da estocagem geológica de dióxido de carbono. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2388242> Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023. **Resolução CNPE nº 1 de 2023**. Institui o Grupo de Trabalho do Programa Gás para Empregar para elaboração de estudos visando à promoção do melhor aproveitamento do gás natural produzido no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gas-para-empregar/legislacao/despacho-do-presidente-da-republica-despacho-do-presidente-da-republica-dou-imprensa-nacional.pdf> Acesso em: abril de 2024

_____. 2024. **Lei n. 14.948, de 2 de agosto de 2024**. Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono; dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; institui o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro); cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC); e altera as Leis nºs 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm Acesso em: abril de 2025.

_____. 2024. **Lei n. 14.993, de 09 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: . Acesso em: abril de 2025.

_____. 2024. **Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024** Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976 (Lei da Comissão de Valores Mobiliários), e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos). Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15042-11-dezembro-2024-796690-publicacaooriginal-173745-pl.html> Acesso em: abril de 2025.

_____. 2025b. **Lei n. 15.103/2025 de 06 de março de 2025**. Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nºs 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2025/lei/L15103.htm Acesso em: abril de 2025.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. **Resolução CONAMA n. 382/2006, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: dezembro de 2021

_____. 2011. **Resolução CONAMA n. 436/2011, de 26 de dezembro de 2011**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: dezembro de 2021.

_____. 2018. **Resolução CONAMA n. 491/2018, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: dezembro de 2021.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. 2024. Perguntas Frequentes. **Brasil pretende construir um depósito definitivo de rejeitos? Por quê?** Disponível em <https://www.gov.br/cnen/pt-br/canais-de-atendimento/perguntas-frequentes#33>. Acesso em: setembro de 2024.

ELETRONUCLEAR. 2014. **Relatório Ambiental Simplificado: Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado (Unidade UFC) da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA)**. Angra dos Reis, 2014. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Paginas/default.aspx>.

_____. 2015. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA de Angra 3**. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em: janeiro de 2015.

Termelétricas Renováveis

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2025. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdk%20NTQ1MTc1NjM2%20liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNz-BIMSIslmMiOjR9>. Acesso em: junho de 2025.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2017. **Fertilizantes Organominerais de Resíduos do Agronegócio: Avaliação do Potencial Econômico Brasileiro**. Indústria química. BNDES Setorial 45, p. 137-187. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11814/1/BS%2045%20Fertilizantes%20organominerais%20de%20res%C3%ADduos%20%5B...%5D_P_BD.pdf.

BRASIL. 1999. **Lei n. 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2010. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2020. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei n. 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei n. 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de

2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei n. 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2025. **Lei nº 15.103, de 22 de janeiro de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nºs 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2025/lei/L15103.htm. Acesso em Maio de 2025.

_____. 2022a. **Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/decreto/d11003.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2022b. **Decreto n. 11.043, de 13 de abril de 2022.** Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/decreto/D11043.htm. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

_____. 2024a. **Decreto Federal n. 12.082**, de 27 de junho de 2024. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Disponível em: [D12082](#). Acesso em: 19 maio 2025.

_____. 2024b. **Brasil registra volume recorde na importação de fertilizantes no mês de janeiro.** Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202402/boletim-logistico-volume-de-fertilizante-importado-em-janeiro-e-recorde-no-pais>. Acesso em 19 de maio de 2025.

_____. 2024c. **Plano Nacional de Transição Energética.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgate/plante>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

CIBIOGÁS. 2021. Como o biogás pode fortalecer o cooperativismo no Brasil. Disponível em: <https://cibio-gas.org/blog/como-o-biogas-pode-fortalecer-o-cooperativismo-no-brasil/>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2018a. **O Potencial do Biogás: Oportunidades e Desafios.** Fórum Sul Brasileiro de Biogás e Biometano, Mesa Redonda: Panorama Sul Americano do Biogás e Biometano, Foz do Iguaçu/PR, 06 de junho de 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-impressao/noticias/Documents/EPE_Jos%C3%A9%20Mauro_Potencial%20do%20Biog%C3%A1s_06jun.pdf. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

_____. 2018b. **Potencial Energético de Resíduos Florestais do Manejo Sustentável e de Resíduos da Industrialização da Madeira** (Nota Técnica EPE-DEA-NT-17/2018-r0). Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-potencial-energetico-de-residuos-florestais-do-manejo-sustentavel-e-de-residuos-da-industrializacao-da-madeira>. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

GEF Biogás Brasil - Fundo Global para o Meio Ambiente. 2024. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. Sobre o Projeto. Disponível em: [Sobre o Projeto - GEF Biogás Brasil \(gefbiogas.org.br\)](https://gefbiogas.org.br). Acesso em: ago. 2024.

GLOBAL Methane Pledge. 2022. **Fast action on methane to keep a 1.5°C future within reach. About the Global Methane Pledge.** Disponível em: <https://www.globalmethanepledge.org/#about>. Acesso em: 21 de julho de 2022.

INSTITUTO Escolhas. 2020. **Biogás da Amazônia: energia para mover a bioeconomia.** Disponível em: <https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2020/12/Biog%C3%A1s-na-Amaz%C3%B4nia-energia-para-mover-a-bioeconomia.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2022.

INSTITUTO Totum. 2022. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/273-i-rec?iii=1630510011605> Acesso em: 14 de setembro de 2022.

MCID - Ministério das Cidades. 2023. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produ-tos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO TEMATICO VISAO GERAL AE SNIS 2023.pdf>. Acesso em: setembro de 2024.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022. **Plano ABC – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional. 2019. **PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico**. Documento em revisão submetido à apreciação dos Conselhos Nacionais de Saúde, Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Secretaria Nacional de Saneamento, MDR. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/Versao Conselhos Resolucao Alta Capa Atualizada.pdf>. Acesso em: 21 de julho de 2022.

MMA – Ministério Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. 2022. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

_____. 2024. **Plano Clima**. Disponível em: [Plano Clima — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](http://www.gov.br/planoclima). Acesso em: 10 jun. 2024.

_____. 2024b. Governo Federal assina contrato para execução de R\$ 10,4 bilhões pelo Fundo Clima. Disponível em: [Governo Federal assina contrato para execução de R\\$ 10,4 bilhões pelo Fundo Clima — Planalto \(www.gov.br\)](http://www.gov.br/planalto). Acesso em: 10 jun. 2024.

Eólicas

ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. 2025a. **Boletim Anual 2024**. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2025/05/424_ABEEOLICA_BOLETIM-ANUAL-DIGITAL-2025_PT_FINAL.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025b. **Ventos da Transformação**. Disponível em: <https://www.ventosdatransformacao.com.br/nossa-plataforma>. Acesso em: janeiro de 2026.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2024. CEE-252 – **Comissão de Estudo Especial de Energia Eólica**. Relatório da Secretaria – 01.03.2024. 5 páginas.

ACTIONAID et al. 2024. **Salvaguardas Socioambientais para energia renovável**. Disponível em: <https://nordestepotencia.org.br/wp-content/uploads/2024/02/Salvaguardas Socioambientais Renovaveis.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

AGUDELO, M. S.; MABEE T. J.; PALMER R.; ANDERSON R. 2021. **Post- construction bird and bat fatality monitoring studies at wind energy projects in Latin America: A summary and review**. Heliyon 7: e07251.

AGUIAR, L. 2022. **Aprimoramentos para o Licenciamento ambiental**. 14º Fórum Nacional Eólico. Transmitido ao vivo em 29 de junho de 2022. 1 vídeo (09h:14min.) Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dkua19tqL6E>. Acesso em: julho de 2024.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2025. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliNTItMTVhZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: maio de 2025.

AVISTEP, 2022. **The Avian Sensitivity Tool for Energy Planning**. Disponível em: <https://avis-tep.birdlife.org/#general> Acesso em: julho de 2024.

BARROS, M. A. S. 2019. **Interações entre morcegos e turbinas eólicas no Agreste do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 265 páginas.

BASTOS, F. A. P. 2017. **Refletindo sobre a soberania alimentar das comunidades tradicionais de Fundo de Pasto**. Dissertação (Mestrado em Educação do Campo). Centro de Formação de Professores, Programa de Pós-Graduação em Educação do Campo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Amargosa, 2017, 171 p.

BENNUN, L. et. Al. 2021. **Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers**. IUCN, Gland, Switzerland and The Biodiversity Consultancy, Cambridge, UK. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2021-004-En.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

BIOSECO. 2025. **Solutions for bird protection**. Disponível em: <https://bioseco.com/>. Acesso em: setembro de 2025.

BOTASSIO, D. C.; BENEVUTO, R. G.; TAVARES, F. S. 2022. **Impacto socioeconômico dos parques eólicos: uma avaliação para políticas públicas**. 2022. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2022/submissao/files_i/i5-57946d00969894fd4b77d9a488fe305f.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J.S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A.J.A.; SILVA, E.; FREITAS, A.L.R.; OLIVEIRA, R.F. 2017. **Is Brazilian windpower development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 2017, p. 62-71. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116304804>. Acesso em: julho de 2024.

BRANNSTROM, C.; LEITE, N. S.; LAVOIE, A.; GORAYEB, A. 2022. **What explains the community acceptance of wind energy? Exploring benefits and livelihoods in coastal Brazil**. Energy Research & Social Science 83 (2022): 102344. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621004357>.

BRASIL DE FATO. 2025. **Lagoa Seca (PB) recebe 1º Encontro do Movimento de Atingidos pelas Renováveis entre 23 e 25 de maio de 2025**. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2025/05/21/lagoa-seca-pb-recebe-o-1o-encontro-do-movimento-de-atingidos-pelas-renovaveis-entre-os-dias-23-e-25-de-maio/>. Acesso em maio de 2025.

COGNITIO Consultoria; GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 2023. **Criação de empregos no setor eólico brasileiro: Estimativas em curto, médio e longo prazo**. Março de 2023. Revisão da edição original de outubro/2020. 193 p. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/a0/ab/a0ab1d43-eb1d-414f-973d-ba6943b8f143/2023_empregos_no_setor_eolico.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

CPP – Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras. 2024. **Relatório 2024: Conflitos socioambientais e violações de direitos humanos em comunidades tradicionais pesqueiras no Brasil**. Disponível em: <https://www.cppnacional.org.br/publicacao/relat%C3%B3rio-de-conflitos-socioambientais-e-viola%C3%A7%C3%B5es-de-direitos-humanos-em-comunidades>. Acesso em: maio 2025.

CONSERVATION Evidence. 2020. **Actions to conserve biodiversity**. (keyword: wind; threat: energy production & mining) 11 Actions found. Disponível em: https://www.conservationevidence.com/data/index?terms=wind&threat_type_id%5B%5D=4&country%5B%5D=&result_type=interventions#search-results. Acesso em: setembro de 2025.

DESHMUKH, S.; BHATTACHARYA, S.; JAIN, A.; PAUL, A. R. 2019. **Wind turbine noise and its mitigation techniques: a review**. Energy Procedia 160: 633-640.

DNV Energy Systems; The World Bank Group. 2024. **Scenarios For Brazil Offshore Wind Development. Task 2 - Scenarios Report Draft**. Rio de Janeiro, 254pp.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2020. **Roadmap Eólica Offshore Brasil** (Nota Técnica NT-EPE-PR-001/2020-r2). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2021. **Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: Situação Atual e Alternativas Futuras** (Nota Técnica EPE-DEE-NT-012/2021-r0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-563/NT-EPE-DEE-012-2021.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. **Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2024**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-725/NT%20An%C3%A1lise%20socioambiental%20das%20fontes%20energ%C3%A9ticas%20do%20PDE%202034%20NT010_24%20DEA_SMA.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025a. **Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2025 – Ano base 2024**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025b. **Roadmap Resiliência Climática: Geração Eólica e Mudanças Climáticas**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-852/topico-736/Gera%C3%A7%C3%A3o%20E%C3%B3lica%20e%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas.pdf>. Acesso em: outubro de 2025.

ESPÉCIE, M. A.; SALIBA, A. S.; MATTOS, A. D. M.; COELHO, C. M.; ALMEIDA, E. M.; SODRÉ, F.N.G.A.S.; MORAES, J. B.; DURÃO, J. V.; PINHEIRO, M. R. C.; MATOS, R. O.; GUIMARÃES, R. V.; GOMES, V. S. M. **Avaliação de impacto ambiental em projetos eólicos no Brasil: uma análise a partir de estudos ambientais de empreendimentos vencedores nos leilões de energia**. In: 4º Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, Fortaleza, 2018. 7 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/avaliacao-de-impacto-ambiental-em-projetos-eolicos-no-brasil-uma-analise-a-partir-de-estudos-ambientais-de-empreendimentos-vencedores-nos-leiloes-de-energia>.

ESTEVES, C. F. 2024. **Caatinga's roar: exploring the potential impact of wind farms in jaguars and pumas in Brazil**. In: WREN Webinar: Wind Energy and Terrestrial Mammals. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LlJAN2EmI4A>. Acesso em: julho de 2024.

FALAVIGNA, T. J.; BARBOZA, L. C. A.; PETRY, M. V. **É Possível Prever o Risco de Colisão das Aves com as Turbinas Eólicas?** Brasil Windpower. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/07/E-Possivel-Prever-o-Risco-de-Colisao-das-Aves-com-as-Turbinas-Eolicas.docx>. Acesso em: outubro de 2025.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. 2025. **Base Cartográfica Delimitação das Terras Indígenas do Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: setembro de 2025.

GAJA Consultoria Ambiental; ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. 2024. **Guia de boas práticas socioambientais para o setor eólico**. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/esg/>. Acesso em: maio de 2024.

GAULD, J. G. et al. 2022. **Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa**. J Appl Ecol. 2022; 59: 1496–1512.

GARVIN, J. C.; SIMONIS, J. L.; TAYLOR, J. L. 2024. **Does size matter? Investigation of the effect of wind turbine size on bird and bat mortality**. Biological Conservation 291 (2024) 110474. Disponível em: <https://rewi.org/wp-content/uploads/2024/05/Investigation-of-the-effect-of-wind-turbine-size-on-bird-and-bat-mortality.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

- GO Associados. **Impactos socioeconômicos e ambientais da geração de energia eólica no Brasil**. São Paulo, julho de 2020. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/04/ABEEolica_GO-Associados-V.-Final.pdf. Acesso em: outubro de 2025.
- GOLDWIND 2025. **Goldwind recycles turbine blades into 3d printing materials**. Disponível em: <https://www.goldwind.com/en/news/focus-922518710449745920/>. Acesso em: maio 2025.
- GWEC – Global Wind Energy Council. 2025. **Global Wind Report**. Disponível em: <https://www.gwec.net/reports/globalwindreport> Acesso em: abril de 2025.
- IBERDROLA. 2023. **Reciclagem das pás eólicas: um novo desafio para a energia eólica**. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/reciclagem-pas-eolicas>. Acesso em: maio de 2024.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2020. **Orientações técnicas para avaliação e monitoramento de impactos de empreendimentos de geração de energia eólica sobre a fauna, com ênfase em aves e morcegos**. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-aves-limicolas-migratorias/2-ciclo/produtos/2023-orientacoes-tecnicas-eolicas.pdf/view>. Acesso em: maio de 2025.
- _____. 2022. **Relatório de áreas de concentração de aves migratórias no Brasil**. Cabedelo, PB: CE-MAVE/ICMBio. 2022. 4ª edição. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/aves-silvestres/noticias/cemave-publica-4a-edicao-do-relatorio-de-areas-de-concentracao-de-aves-migratorias-no-brasil> Acesso em: outubro de 2025.
- _____. 2025. **Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga**. – Matriz de Planejamento. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-aves-da-caoatinga#:~:text=O%20Plano%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20Nacional,vig%C3%A2ncia%20entre%202012%20e%202016>. Acesso em: setembro de 2025.
- IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2024a. **Consulta Livre, Prévia e Informada e de Boa-fé! Proposta de Diretrizes para a regulamentação dos procedimentos**. Natal, 2024.
- _____. 2024b. **O que é Protocolo Autônomo de Consulta?** Natal, 2024.
- IDENTIFLIGHT. 2024. **The International Best Practice for Bird Detection and Collision Avoidance for Wind Farms**. Disponível em: <https://www.identiflight.com/#gsc.tab=0> Acesso em: setembro de 2025.
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2025. **Base georreferenciada dos Projetos de Assentamento e Territórios Quilombolas**. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/zip/%C3%81reas%20de%20Quilombolas.zip. Acesso: setembro de 2025.
- ISI-ER SENAI. 2024. Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis. **Estudo ambiental projeto: usina eólica offshore sítio de testes de aerogeradores**. 566 páginas. Natal, julho de 2024.
- _____. 2025. **Primeira licença do Brasil para projeto de energia eólica offshore é concedida ao SENAI-RN**. Disponível em: <https://www.rn.senai.br/primeira-licenca-brasil-para-projeto-de-energia-eolica-offshore-e-concedida-ao-senai-rn/>. Acesso em: setembro de 2025.
- LE MAITRE, J.; RYAN, G.; POWER, B. 2024. **Do concerns about wind farm blow over time? Resident's acceptance over phases of project development and proximity**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 189, Part A, January 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123006962?via%3Dihub>. Acesso em: maio de 2025.
- LUCENA, J. 2023. **Resíduo de Núcleo Estrutural de Pás Eólicas: do Aterro para a Reciclagem**. Brazil Windpower Papers, realizado em 17 de agosto de 2023.
- _____. 2024. **Participação no painel “Reciclagem de componentes eólicos”**. Brazil Windpower 2024.

- MARQUES, A. T.; BATALHA H.; RODRIGUES S.; COSTA H.; PEREIRA R. M. J.; FONSECA C.; MASCARENHAS M.; BERNARDINO J. **Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies**. *Biological Conservation*, volume 179, november 2014, p. 40-52.
- MAY, R.; NYGÅRD, T.; FALKDALEN, U.; ÅSTRÖM, J.; HAMRE, Ø; STOKKE, B. G. 2020. **Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities**. *Ecology and Evolution*. 2020;10:8927–8935.
- MCISAAC H.P. 2001. **Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity**. *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting IV*, 59-87 *Apud* Conservation Evidence. 2025. *Actions to conserve biodiversity*. Disponível em: <https://www.conservationevidence.com/individual-study/3585>. Acesso em: setembro de 2025.
- MCKENNA, R.; LILLIESTAM, J.; HEINRICHS, H. U.; WEINAND, J.; SCHMIDT, J.; STAFFELL, I.; HAHMANN, A. N.; BURGHERR, P.; BURDACK, A.; BUCHA, M.; CHEN, R.; KLINGLER, M.; LEHMANN, P.; LOWITZSCH, J.; NOVO, R.; PRICE, J.; SACCHI, R.; SCHERHAUFER, P.; SCHOLL, E. M.; VISCONTI, P.; VELASCO-HERREJO, P.; ZEYRINGER, M.; CAMARGO, L. R. 2025. **System impacts of wind energy developments: Key research challenges and opportunities**. *Joule* 9: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.11.016>.
- MINGYANG 2023. **Mingyang launches wind turbine blade made from recyclable materials**. Disponível em: <https://www.windtech-international.com/product-news/mingyang-launches-wind-turbine-blade-made-from-recyclable-materials>. Acesso em: maio 2025.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2024. **Caatinga**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acesso em: outubro de 2025.
- _____. 2025. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Federais**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: setembro de 2025.
- MME – Ministério de Minas e Energia. 2025. **GT Eólicas Offshore**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgebc/gt-eolicas-offshore-1> Acesso em: outubro de 2025.
- NERI, M.; JAMELI, D.; BERNARD, E.; MELO, F. P. L. 2019. **Green versus green? Adverting potential conflicts between wind power generation and biodiversity conservation in Brazil**. *Perspectives in Ecology and Conservation* 17, 2019, p. 131–135.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2025. **Resultados da Operação - Inserção de geração eólica e fotovoltaica. Inserção Eólica no Nordeste**. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/insercao_geracao_eolica_fotovoltaica.aspx. Acesso em: maio de 2025.
- OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; MULLER, S. C.; CEOTTO, P.; DADALT, L.; DURIGAN, G.; GANADE, G.; GOSSNER, M. M.; GUADAGNIN, D. L.; LORENZEN, K.; JACOBI, C. M.; WEISSER, W. W.; PILLAR, V. D. 2015. **Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems**. *Diversity and Distributions*, (Diversity Distrib.) (2015) 21, 1455–1460.
- PERNAMBUCO. 2024. **Instrução Normativa CPRH nº 09/2024**. Estabelece procedimentos administrativos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir de fonte eólica, em superfície terrestre. Disponível em: https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2024/10/SEI_57728238_GOVPE_Instrucao_Normativa.pdf Acesso em: maio de 2025.
- PETROBRAS. 2024. **Petrobras assina Protocolo de Intenções com o Governo do Rio de Janeiro para estudos sobre eólica offshore**. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/inovacao/petrobras-assina-protocolo-de-intencoes-com-o-governo-do-rio-de-janeiro-para-estudos-sobre-eolica-offshore>. Acesso em outubro de 2025.
- PORTOS RS. 2025. **Portos RS participa de lançamento do Aura Sul Wind em Porto Alegre**. Disponível em: https://www.portosrs.com.br/site/imprensa_e_midia/noticia/2206. Acesso em outubro de 2025.

RODRIGUES, R. E. de A.; COSTA, E. M.; IRFFI, G.; PIRES, J. N. R. 2019. **Efeitos da construção de parques eólicos sobre indicadores econômicos e fiscais municipais**. Disponível em: https://www.anpec.org.br/nordeste/2019/submissao/arquivos_identificados/038-fed-bedc1f4901276c3460adaaa03e2bc.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

RODRIGUEZ, S. **Considerations and concerns about wind turbine noise**. Brazil WindPower (Apresentação), São Paulo, 2019. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/07/ID-136-1551472256-Wind_Turbine_Noise_Rodriguez_Saab_BWP_2019.pdf.

SAMPAIO, M.A.S.; COSTA, E.M.; IRFFI, G. **A implementação de parques eólicos e seus impactos sobre os municípios brasileiros**. 2023. Disponível em: https://www.anpec.org.br/nordeste/2023/submissao/arquivos_identificados/006-cbaa81f50127a2cb621a4acd9176e53f.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

SANCHÉZ, L. E. 2020. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 3ª ed. São Paulo, 496p.

SANTOS, W. A. A.; MILLER, F. S. 2018. **Impactos ambientais cumulativos associados as atividades eólio-elétricas no Semiárido Potiguar: um case prático**. In: I Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido, Natal, 2018, 13 p. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/50709>. Acesso em: julho de 2024.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. 2025a. **Treinamento básico de segurança com certificação GWO**. Disponível em: <https://www.rn.senai.br/gwo/#1612962861567-ca805e61-0505>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025b. **Tecnologia em energia eólica**. Disponível em: <https://www.senai-ce.org.br/tecnologia-em-energia-eolica-34337>. Acesso em: setembro de 2025.

SIEMENS GAMESA. 2025. **Recyclable blade: Pioneering Technology**. <https://www.siemensgamesa.com/global/en/home/explore/journal/recyclable-blade.html>. Acesso em: outubro de 2025.

SOARES, I. 2023. **Participação no Painel – Compensação ambiental e socioambiental: o que temos de novidade no cenário potiguar?** II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

STRIX. 2022. **Birdtrack: Tracking life**. Disponível em: <https://birdtrackradar.com/>. Acesso em: setembro de 2025.

TEIXEIRA, L. P.; LUGHADHA, E. M.; SILVA, M. V. C.; MORO, M. F. 2021. **How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semi-arid region**. Acta Botanica Brasilica - 35(3): 473-485.

THAXTER, C. B.; GRAEME M. B.; CARR J.; BUTCHART S. H. M.; NEWBOLD T.; GREEN R. E.; TOBIAS J. A.; FODEN W. B.; O'BRIEN S.; PEARCE-HIGGINS J. W. **Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment**. 2017. Royal Society, 13 september 2017, volume 284, issue 1862. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rspb.2017.0829>. Acesso em: outubro de 2025.

VESTAS. 2020. **Zero-waste turbines by 2040**. Disponível em: <https://www.vestas.com/en/media/blog/sustainability/Zero-waste-turbines-by-2040>. Acesso em: maio de 2025.

VOIGT, C.; KAISER, K.; LOOK, S.; SCHARNWEBER, C.; SCHOLZ, C. 2022. **Wind turbines without curtailment produce large numbers of bat fatalities throughout their lifetime: A call against ignorance and neglect**. Global Ecology and Conservation, 37, September 2022, e02149. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989422001512>.

VOIGT, C.; BERNARD, E.; HUANG, J. C-C.; FRICK, W. F.; KERBIRIOU, C.; MACEWAN, K.; MATHEWS, F.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A.; SCHOLZ, C.; WEBALA, P. W.; WELBERGEN, J.; WHITBY, M. 2024. **Toward solving the global green-green dilemma between wind energy production and bat conservation**. BioScience 74: 240–252.

WANDERLEY, I. 2023. **Participação no Painel: Educação ambiental pede a vez.** II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

WHITBY, M.; O'MARA, M.; HEIN, C.; HUSO, M.; FRICK, W. 2024. **A decade of curtailment studies demonstrates a consistent and effective strategy to reduce bat fatalities at wind turbines in North America.** Ecological Solutions and Evidence, 5(3), e12371. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12371>. Disponível em: <https://tethys.pnnl.gov/publications/decade-curtailment-studies-demonstrates-consistent-effective-strategy-reduce-bat>. Acesso em: setembro de 2025.

WREN – **Wind Energy-Environmental Research & Engagement Network.** 2025. Disponível em: <https://tethys.pnnl.gov/about-wren>. Acesso em: setembro de 2025.

Usinas Solares Fotovoltaicas

ALMEIDA, R. M.; SCHMITT R.; GRODSKY, S. M.; FLECKER A. S.; GOMES, C. P.; ZHAO, L.; LIU, H.; BARROS, N.; KELMAN, R.; MCINTYRE, P. B. 2022. **Floating solar power could help fight climate change — let's get it right.** Nature. Publicado em 07 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01525-1>. Acesso em: julho de 2022.

ANA. 2024. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2024. Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2024. Acesso em: abril de 2024. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf.

ANEEL. 2021. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. **Resolução Normativa ANEEL n. 954, de 30 de novembro de 2021.** Altera as Resoluções Normativas n. 77, de 18 de agosto de 2004, n. 247, de 21 de dezembro de 2006, n. 559, de 27 de junho de 2013, n. 583, de 22 de outubro de 2013, n. 666, de 23 de junho de 2015 e n. 876, de 10 de março de 2020, para estabelecer tratamento regulatório para a implantação de Central Geradora Híbrida (UGH) e centrais geradoras associadas. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021954.html. Acesso em: julho de 2022.

_____. 2024. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWZWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVhYjYtYmNDZmMiO5MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: maio de 2024.

ATASU, A.; DURAN, S.; WASSENHOVE, L. N. V. **The Dark Side of Solar Power.** Harvard Business Review. Sustainable Business Practices. June 18, 2021. Disponível em: <https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power>. Acesso em: agosto de 2021.

BENNUN, L., et al. 2021. **Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers.** Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2021-004-En.pdf>. Acesso em: agosto de 2022.

BRASIL. 2010. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: julho de 2020.

_____. **Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021.** Estabelece incentivos à indústria da reciclagem; e cria o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecicle) e Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecicle). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 de agosto de 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/lei/l14260.htm. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2022. **Lei n. 14.300, de 06 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 de julho de 2022. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: agosto de 2022.

_____. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 3.784, de 2023, de 08 de agosto de 2023**. Altera a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis solares fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. Brasília: Senado Federal, 2023. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/158987#:~:text=Projeto%20de%20Lei%20n%C2%B0%203784%2C%20de%202023&text=Altera%20a%20Lei%20n%C2%BA%2012.305,implementar%20sistemas%20de%20log%C3%ADstica%20reversa>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. **Decreto nº 12.106, de 10 de julho de 2024**. Regulamenta o incentivo fiscal à cadeia produtiva da reciclagem estabelecido na Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de julho de 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12106.htm. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Disponível em: <https://www.pabbrasil.ufrpe.br/>. Acesso em: junho de 2024.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 2016. 252p. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/11009696/DesertificacaoWeb.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

CHITEKA, K.; ARORA, R.; SRIDHARA, S. N.; ENWEREMADU, C. C. **A novel approach to Solar PV cleaning frequency optimization for soiling mitigation**. Scientific African, n. 8, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301976?via%3Dihub>. Acesso em: julho de 2020.

CONSTANTINO, G.; FREITAS, M.; FIDELIS, N.; PEREIRA, M. G. 2018. **Adoption of Photovoltaic Systems Along a Sure Path: A Life-Cycle Assessment (LCA) Study Applied to the Analysis of GHG Emission Impacts**. Energies, v. 11, n. 10, p. 2806, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/10/2806>. Acesso em: janeiro de 2026.

EC – European Commission. Environment. **Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. 2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/>. Acesso em: junho de 2020.

ELETOBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Levantamento da legislação para licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar** (Nota Técnica Conjunta Eletrobras/EPE). 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-598/NT%20Conjunta%20Eletrobras%20EPE%20Licenciamento%20UFV%20ver2022.pdf>. Acesso em: julho de 2022.

EPE. 2019. Empresa de Pesquisa Energética. **Usinas híbridas no contexto do planejamento energético** (Nota Técnica EPE-DEE-NT-029/2019-r0). 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-386/EPE_DEE_NT_029_2019_r0_%20Usinas%20h%C3%ADbridas.pdf. Acesso em: setembro de 2021.

_____. 2020. **Solar Fotovoltaica Flutuante – Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao Planejamento** (Nota Técnica EPE-DEE-NT-016/2020-r0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>. Acesso em: junho de 2020.

_____. 2025. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2025. [Apresentação do Power-Point BEN 2025](#) Acesso em: setembro de 2025.

FERREIRA, R. A.; DE SOUZA, S. R.; DE MORAES, A. M.; LIRA, M. A. T.; GIRÃO, A. L. A. **Desmatamento inerente à instalação de usinas solares fotovoltaicas centralizadas no estado do Ceará**. Rio Grande do Norte. 2024. X Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2024, Rio Grande do Norte.

FUNDAJ – Fundação Joaquim Nabuco. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga. **Caatinga: um dos biomas menos protegidos do Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/padrao-racial-de-ovinos-raca-lacaune/conselho-nacional-da-reserva-da-biosfera-da-caatinga>. Acesso em: agosto de 2020.

GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. **A mão de obra na cadeia produtiva do setor solar brasileiro**. Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Estudo-Cadeia-Produtiva-Solar.pdf>.

GOE, M.; GAUSTAD, G. **Estimating direct climate impacts of end-of-life solar photovoltaic recovery**. Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 156, p. 27-36, November 2016.

GREENER. **Estudo Estratégico - Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico**. Março 2025. Disponível em: <https://estudo-gd-2025.greener.com.br//>. Acesso em: maio 2025.

HAMED, T. A., & ALSHARE, A. **Environmental impact of solar and wind energy-a review**. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 10(2), p. 1-23. 2022.

IBGE. 2025. **IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: julho de 2025.

HEMA. **Sistemas Fotovoltaicos na Amazônia Legal: avaliação e proposição de políticas públicas de universalização de energia elétrica e logística reversa**. Maio, 2023. Disponível em: [HEMA UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf \(energiaeambiente.org.br\)](https://energiaeambiente.org.br/HEMA%20UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf). Acesso em: maio 2025.

IRENA – International Energy Agency. **End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels**. 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>. Acesso em: julho de 2020.

_____. **Future of solar PV – Energy Transformation Pathways and solar PV**. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. 2019. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf. Acesso em: agosto de 2020.

KLINGLER et. al. **Large-scale green grabbing for wind and solar photovoltaic development in Brazil**. Nature Sustainability. 7, 747-757 (2024). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373945456_Large-scale_green_grabbing_for_wind_and_solar_PV_development_in_Brazil. Acesso em: outubro de 2025.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: julho de 2019.

_____. **Brasil: quatro décadas de transformação na cobertura e uso da terra revelam desafios e oportunidades**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2025/08/13/brasil-quatro-decadas-de-transformacao-na-cobertura-e-uso-da-terra-revelam-desafios-e-oportunidades/>. Acesso em: agosto de 2025.

_____. **Em 38 anos o Brasil perdeu 15% de suas florestas naturais**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/20/em-38-anos-o-brasil-perdeu-15-de-suas-florestas-naturais/>. Acesso em: janeiro de 2026.

MATHUR, D.; GREGORY, R.; HOGAN, E. **Do solar energy waste systems have a mid-life crisis? Valorising renewables and ignoring waste in regional towns in Australia's Northern Territory**. Energy Research and Social Science, v. 76, n. 101934, June 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221462962100027X>. Acesso em: setembro de 2021.

NOBRE, P.; PEREIRA, E. B.; LACERDA, F. F.; BURSZTYN, M.; HADDAD, E. A.; LEY, D. **Solar smart grid as a path to economic inclusion and adaptation to climate change in the Brazilian Semi-arid Northeast**. International Journal of Climate Change Strategies and Management, v. 11, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-09-2018-0067>. Acesso em: julho de 2020.

NORDESTE POTÊNCIA. **Salvaguardas socioambientais para energia solar fotovoltaica centralizada**. Setembro, 2025. Disponível em: https://nordestepotencia.org.br/wp-content/uploads/2025/09/SalvaguardasSolar_Digital.pdf. Acesso em 20 de outubro de 2025.

PAB BRASIL. Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Disponível em: <https://pabbrasil.ufrpe.br/>. Acesso em 16 de maio de 2024.

PHOTORAMA. 2025. Disponível em: [Photorama](https://www.photorama.com.br/)

PIVATO, M.; VIDOTTO, L.; PEREIRA, F.O.R.; RÜTHER, R. **Circular solar economy: PV modules decision-making framework for reuse**. Journal of Cleaner Production. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652625002914>. Acesso em: maio de 2025. SALIM, H. K.; STEWART, R. A.; SAHIN, O.; DUDLEYD M. 2019a. **Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review**. Journal of Cleaner Production 211, 2019, p. 537-554. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652618336321?token=D9E0FC3BE-ABDE78290E4E9B04FBB6901E143227C16EAFCEE3358E35715D86A4337C26A17AB47F7A303CB3AC096313953&originRegion=us-east-1&originCreation=20220922190254>.

SARAVANAN, S. V.; DARVEKAR, S. K. **Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review**. International Journal of Pure and Applied Mathematics, v. 118, n. 24, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338990581_Solar_Photovoltaic_Panels_Cleaning_Methods_A_Review. Acesso em: julho de 2020.

SILVA, L. A. F.; CORDEIRO, B. S.; BARRETO, A. V.; DE ALMEIDA, E. M.; DURÃO, J. V.; BOTELHO, G. M. L. **Avaliação de Impacto Ambiental em projetos fotovoltaicos centralizados no Brasil: uma análise a partir dos estudos ambientais de empreendimentos vencedores nos Leilões de Energia**. In: XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-458/topico-665/GMA27%20-%204712.pdf>.

SILVA, V. O.; SANTOS, F. G.; DINIZ, I. N.; BAITILO, R. L.; FERREIRA, A. L. **Photovoltaic systems, costs, and electrical and electronic waste in the Legal Amazon: An evaluation of the Luz para Todos Program**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 203, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032124004477>. Acesso em julho de 2024.

UNITED STATES. 2022. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. **Solar Energy Technologies Office Photovoltaics End-of-Life Action Plan**. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Solar-Energy-Technologies-Office-PV-End-of-Life-Action-Plan_0.pdf. Acesso em julho de 2024.

Transmissão de Energia Elétrica

ANEEL. 2024. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024. **7º Seminário do Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT)**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/seminario-debate-resultados-do-sistema-que-monitora-linhas-de-transmissao>. Acesso em: maio de 2024.

BNDES. 2018. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. **Revista do BNDES 50 – Edição especial FAT 30 Anos**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16781>. Acesso em: agosto de 2022.

BRASIL. 2006. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: agosto de 2021.

_____. 2008. **Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008**. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata

Atlântica. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6660.htm. Acesso em: agosto de 2021.

_____. 2015. **Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015**. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/malaria/portaria-interministerial-no-60-de-24-de-marco-de-2015.pdf/view>. Acesso em: agosto de 2022.

_____. 2024. **Plano Nacional de Transição Energética**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgate/plante>. Acesso em: 19 de maio de 2025.

_____. 2025. **Lei n. 15.103/2025 de 06 de março de 2025**. Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nºs 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/L15103.htm Acesso em: abril de 2025.

CEBRI. 2023. Centro Brasileiro de Relações Internacionais, 2023. Neutralidade de Carbono até 2050: Cenários para uma transição eficiente no Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/programa-de-transicao-energetica>

EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2021a. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados do Acre** (No. EPE-DEE-NT-078/2021). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-695/NT-EPE-DEE-078-2021_Antecipa%C3%A7%C3%A3o%20interliga%C3%A7%C3%A3o%20Acre.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. Empresa de Pesquisa Energética, 2023. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados Propostos pela Amazonas Energia** (Nº. EPE-DEE-RE-046/2023-rev0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-774/EPE-DEE-NT-046-2023-rev0.pdf>. Acesso em: maio de 2025.

_____. Empresa de Pesquisa Energética, 2024a. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Interligação Conjunta dos Sistemas Isolados de Nhamunda-AM, Faro-PA e Terra Santa-PA** (Nº. EPE-DEE-NT-022/2024-rev0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-827/EPE-DEE-NT-022-2024-rev0-Localidades%20de%20Nhamunda-Faro-Terra%20Santa.pdf>. Acesso em: maio de 2025.

_____. Empresa de Pesquisa Energética, 2021b. **Fernando de Noronha - Identificação das Alternativas de Suprimento - Avaliação de médio e longo prazo** (No. EPE-DEE-DEA-DPG-NT-001/2021-r0). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-638/NT-EPE-DEE-DEA-DPG-001-2021_Identifica%C3%A7%C3%A3o%20Potencial%20Noro-nha.pdf#search=%22Fernando%20de%20Noronha%22. Acesso em: setembro de 2022.

_____. Empresa de Pesquisa Energética, 2024b. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2025/2029 - Ciclo 2024** (Nº. EPE-DEE-091/2024-r0). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-863/Caderno_Planejamento%20SISOL_Ciclo%202024.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. Empresa de Pesquisa Energética, 2025. **Roadmap Resiliência Climática – Transmissão e Mudanças Climáticas**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-852/topico-736/Transmiss%C3%A3o%20e%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas.pdf>. Acesso em: maio de 2025.

EPE/ONS. Empresa de Pesquisa Energética/Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Nota Técnica EPE/ONS Metodologia para Avaliação e Recomendação de Dois Circuitos Simples em Vez de Um Circuito Duplo e**

Afastamento Entre Circuitos (NT nº EPE-DEE-DEA-NT-029/2020-rev0/ONS NT 0034/2020) – 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-276/topico-525/EPE-DEE-DEA-NT-029-2020-rev0.pdf>. Acesso em: agosto de 2022.

ENERGISA. 2025. **Grupo Energisa conclui desligamento de 20 termelétricas e reduz em mais de 500 mil toneladas as emissões de CO₂ na Amazônia**. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/noticias/energia-que-transforma/grupo-energisa-conclui-desligamento-de-20-termeletricas-e-reduz-em>. Acesso em: maio de 2025.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2025. **Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga**. – Matriz de Planejamento. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-aves-da-caatinga#:~:text=O%20Plano%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20Nacional,vig%C3%A2ncia%20entre%202012%20e%202016>. Acesso em: setembro de 2025.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2024a. **Projetos de Assentamento**. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: junho de 2024.

_____. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2024b. **Terras Quilombolas**. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: junho de 2024.

FUNAI. Fundação Nacional do Índio. **Delimitação das Terras Indígenas do Brasil**, 2024. Disponível em: <http://www.funai.gov.br/index.php/shape>. Acesso em: junho de 2024.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação do Brasil**, 2024. Disponível em: <https://cnuc.mma.gov.br/>. Acesso em: junho de 2024.

MME. Ministério de Minas e Energia, 2024. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – junho/2025**. Brasília, 2025. p. 28. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-elétrico/2025>>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. Ministério de Minas e Energia, 2024. **Portaria GM/MME Nº 818, de 31 de outubro de 2024**. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias/2024/portaria-gm-mme-n-818-2024.pdf/view>. Acesso em: maio de 2025

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2025a. **Capacidade Instalada no SIN – 2025/2029**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2022b. **Indicadores de desempenho do SIN – Número de perturbações ocorridas na Rede Básica**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx>>. Acesso em: setembro de 2022.

Produção e Oferta de Petróleo, Gás Natural e Derivados

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2024a. **NOTA TÉCNICA CONJUNTA SPL/STM/SAG/SDT. Critérios socioambientais para inclusão de blocos na Oferta Permanente de Concessão**. Disponível em: SEI/ANP - 4001491 - Nota Técnica Conjunta.

_____. 2024b. **Descomissionamento de instalações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/descomissionamento-de-instalacoes>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025a. **Royalties e outras participações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/royalties-e-outras-participacoes>. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025b. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2025**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2025#Se%C3%A7%C3%A3o%20>. Acesso em: julho de 2025.

_____. 2025c. **Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP)**. Disponível em: <https://www.geo.anp.gov.br/mapview>. Acesso em: maio de 2025.

BANCO MUNDIAL. 2025. **Global Flaring and Methane Reduction Partnership**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction> Acesso em: maio de 2025.

BIODINÂMICA Engenharia e Meio Ambiente/PETROBRAS. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA do Gasoduto Japeri-Reduc**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Gasoduto Caraguatatuba-Taubaté**. São Paulo, 2007.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2023. **A transição energética e o setor de petróleo e gás brasileiro**. Textos para discussão. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/23625/3/PRFol_215988_TD156_Transi%C3%A7%C3%A3o%20energ%C3%A9tica_A.pdf. Acesso em: abril de 2024.

BRASIL. 2012. **Portaria Interministerial MME e MMA n. 198, de 05 de abril de 2012**. Institui a Avaliação Ambiental de Área Sedimentar – AAAS. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de abril de 2012, p. 98-99. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/legislacao/portarias-interministeriais/-/document_library_display/. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2015. MINISTÉRIOS DO MEIO AMBIENTE, DA JUSTIÇA, DA CULTURA E DA SAÚDE. **Portaria Interministerial n. 60, de 24 de março de 2015**. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação da Funai, da Fundação Cultural Palmares, do Iphan e do Ministério da Saúde nos processos de licenciamento ambiental de competência do Ibama. Disponível em: [Portaria Interministerial n.º 60, de 24 de março de 2015 - Comissão Pró-Índio de São Paulo \(cpisp.org.br\)](http://portaria.interministerial.n.º60.de.24.de.março.de.2015.comissão.pró.índio.de.são.paulo.cpisp.org.br). Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. **Decreto n. 12.153, de 26 de agosto de 2024**. Altera o Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021, que regulamenta a Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021, que dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição, e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12153.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2012.153%2C%20DE%2026,de%20que%20trata%20o%20art. Acesso em: outubro de 2024.

CATAVENTO CONSULTORIA. 2024. **Rethinking Transitioning Away from Oil and Gas**. Disponível em: https://catavento.biz/wp-content/uploads/2024/12/2024_Catavento_Rethinking-transitioning-away-from-OG.pdf Acesso em: maio de 2025.

CIRM – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. 2025. **CIRM – Planejamento Espacial Marinho**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/psrm/pem> Acesso em: setembro de 2025.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2023. **Resolução CNPE nº 1 de 2023**. Institui o Grupo de Trabalho do Programa Gás para Empregar para elaboração de estudos visando à promoção do melhor aproveitamento do gás natural produzido no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gas-para-empregar/legislacao/despacho-do->

presidente-da-republica-despacho-do-presidente-da-republica-dou-imprensa-nacional.pdf. Acesso em: abril de 2024.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. **Resolução CONAMA n. 398, de 11 de junho de 2008**. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: julho de 2024.

CONSÓRCIO PIATAM-COPPETEC; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2020. **Estudo Ambiental de Área Sedimentar do Solimões**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-ambiental-de-area-sedimentar-do-solimoes>. Acesso em: setembro de 2025.

ECOLOGY Brasil; ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. 2020. **Estudo Ambiental de Área Sedimentar das bacias sedimentares marítimas de Sergipe/Alagoas e Jacuípe**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/estudo-ambiental-de-area-sedimentar-de-sergipe-alagoas-e-jacuipe>. Acesso em: setembro de 2025.

ELETOBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras. 2011. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Estaduais e Municipais**. 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2024. **Nota técnica análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2034**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-725/NT%20An%C3%A1lise%20socioambiental%20das%20fontes%20energ%C3%A9ticas%20do%20PDE%202034%20NT010_24%20DEA_SMA.pdf. Acesso em setembro de 2025.

_____. 2025a. **Balanco Energético Nacional 2025**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: julho de 2025.

_____. 2025b. **Base georreferenciada das Unidades Produtivas da União (UPUs)**. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025c. **Plano Nacional Integrado de Infraestrutura de Gás Natural e Biometano (PNIIGB)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-integrado-das-infraestruturas-de-gas-natural-e-biometano-pniigb>. Acesso em: dezembro de 2025.

FGVces- Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas (FGV EAESP). 2025. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: maio de 2025.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. 2025. **Base Cartográfica Delimitação das Terras Indígenas do Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: setembro de 2025.

GNA; CPEA. 2017. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Terminal de Regaseificação Gás Natural Açú**. 6732 p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/eia-rima-2017/>. Acesso em: julho 2024.

GNA; ECOLOGY Brasil. 2020. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) e Infraestrutura de Gasoduto (GASINF)**. 4830 p.

GNA; HABTEC Mott MacDonald. 2017. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Gasoduto dos Goytacazes (GASOG)**. 2060 p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/eia-rima-2017>. Acesso em: julho de 2024.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Diretoria de Licenciamento Ambiental. Coordenação-Geral de Empreendimentos Marinhos e Costeiros. Coordenação de Exploração de Petróleo e Gás. 2018a. **Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marinhas**. Outubro de 2018. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-e-gas/diretrizes/2018-11-01-ibama-guia-de-monitoramento-da-biota-marinha-outubro.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2018b. **Portaria n. 3.642, de 10 de dezembro de 2018**. Aprova o Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento do Coral-sol (*Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis*) no Brasil – Plano Coral-sol, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, ações, prazo de execução, coordenação e monitoria. Diário Oficial da União, 11 de dezembro de 2018, edição 237, seção 1, p. 198. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138818>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2020. **Consulta Pública sobre Matriz de Referência de Petróleo e Gás – Sísmica - 1ª Etapa**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/notas/2121-consulta-publica-sobre-matriz-de-referencia-de-petroleo-e-gas-sismica-1-etapa>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2022. **ibama abre Consulta Pública sobre o Guia de Avaliação de Impacto Ambiental: Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Perfuração**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2022/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-petroleo-e-gas-perfuracao>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023a. **Guia de avaliação de impacto ambiental: Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Produção**. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2023/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-petroleo-e-gas-producao/20230504_Guia_de_AIA_Relacao_Causal_Petroleo_e_Gas_Producao.pdf. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023b. **Instrução Normativa n. 14, de 12 de maio de 2023**. Institui o Plano Macrorregional de Gestão de Impactos Sinérgicos das Atividades Marítimas de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-14-de-12-de-maio-de-2023-488490184>. Acesso em: agosto de 2024.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. 2021. **Caderno de Boas Prática E&P – Diretrizes para Licenciamento Ambiental de Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Terra – REATE 2020**. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2021/12/reate-2020.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2025. **Base georreferenciada dos Projetos de Assentamento e Territórios Quilombolas**. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/zip/%C3%81reas%20de%20Quilombolas.zip. Acesso: setembro de 2025.

LEÃO, Rafael da Silveira Soares; CUNHA, Danúbia Rodrigues da; SANTOS, Cláudio Hamilton Matos dos; RABELO, Rodrigo Cavalcanti. 2024. **O impacto dos royalties da exploração de recursos naturais nas finanças públicas municipais do Brasil: estimativas a partir de instrumentos Bartik modificados**. Texto para Discussão (TD), n. 2996, Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2024.

- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. 2025. **Resultados do Comércio Exterior Brasileiro - Dados Consolidados**. Disponível em: <https://balanca.economia.gov.br/balanca/publicacoes/dados consolidados/pg.html#produtos>. Acesso em: maio de 2025.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2011. **Portaria n. 422, de 26 de outubro de 2011**. Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/PT0422-261011.PDF>. Acesso em: julho de 2024.
- _____. 2025. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Federais**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: setembro de 2025.
- MME – Ministério de Minas e Energia. 2024. **Portaria GM/MME Nº 804, de 23 de setembro de 2024**. Institui o Programa de Incentivo e Revitalização das Atividades de E&P de Petróleo e Gás Natural - Potencializa E&P. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/mme-n-804-de-23-de-setembro-de-2024-586169369> Acesso em: maio de 2025.
- OGCI – Oil and Gas Climate Initiative. 2025. **OGCI's strategy and principles**. Disponível em: <https://www.ogci.com/about/strategy-and-principles>. Acesso em: maio de 2025.
- PETROBRAS/PIATAM. 2008. **Estudo prévio de impacto ambiental para construção do gasoduto Juruá/Urucu**. Disponível em: http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/EIA_RIMA_Juruá-Urucu.pdf. Acesso em: julho de 2024.
- PETROBRAS. 2024. **Relatório Anual da Fase I do Projeto de Educação Ambiental Rendas do Petróleo**. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/pea-rendas>. Acesso em: maio de 2024.
- _____. 2025a. **Caderno de mudança do clima**. Disponível em: https://issuu.com/estantepetrobras/docs/caderno_de_mudanca_do_clima_-_2025 Acesso em: setembro de 2025.
- _____. 2025b. **Plano estratégico 2050 e Plano de Negócios 2026 – 2030**. Disponível em: <https://www.petrobras.com.br/quem-somos/estrategia>. Acesso em: dezembro de 2025.
- _____. 2025c. **Iniciativas de conservação e reflorestamento criam um futuro melhor**. Disponível em: <https://www.petrobras.com.br/sustentabilidade/iniciativas-de-reflorestamento> Acesso em: setembro de 2025.
- REIS, Diego Araujo; SANTANA, José Ricardo. 2015. **Os efeitos da aplicação dos royalties petrolíferos sobre os investimentos públicos nos municípios brasileiros**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 49, n. 1, p. 91-118, fev. 2015. DOI: 10.1590/0034-76121815.
- ROTA 4 Participações S.A./Mineral Engenharia e Meio Ambiente. 2019. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA do Sistema de Escoamento e Tratamento de Gás Natural do Polo Pré-sal da Bacia de Santos – Gasoduto Rota 4**. 155 p.
- TAVARES, Felipe de Sá; ALMEIDA, Alexandre Nunes de. 2014. **Os impactos dos royalties do petróleo em gastos sociais no Brasil: uma análise usando Propensity Score Matching**. Revista Economia & Tecnologia, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 93-106, set. 2014. DOI: 10.5380/ret.v10i2.35147.
- TCFD- Task Force on Climate-Related Financial Disclosures. **About**. Disponível em: <https://www.fsb-tcfd.org/about/> Acesso em: maio de 2025.

Etanol

A1 ENGENHARIA. 2026. **Biometano: solução sustentável para o setor sucroenergético**. Disponível em: <https://a1.com.br/2026/01/16/biometano-solucao-sustentavel-para-o-setor-sucroenergetico/>. Acesso em: janeiro de 2026.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021. **Atlas Irrigação – Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2ª edição, Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/story-maps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso em: agosto de 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2025a. **Painel Dinâmico Produtores de Biodiesel**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojOTlkODYyODctM-GJjNS00MGlyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBliwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtNGl0Mi1iN2VmLTEyNG-FmY2FkYzIxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>. Acesso em: julho de 2025.

BRASIL. 2017. **Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2024. **Lei n. 14.993, de 09 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm. Acesso em: outubro de 2024.

CENTRO DE CONHECIMENTO EM BIOENERGIA. 2020. **Diferenças entre o etanol de milho e de cana-de-açúcar**. Viçosa: UFV, 2020. Disponível em: <https://ccbioenergia.ufv.br/diferencas-entre-o-etanol-de-milho-e-de-cana-de-acucar/>. Acesso em: 21 maio 2025

CHEROENNET, N.; SUWANMANEE, U. 2017. **Net energy gain and water footprint of corn ethanol production in Thailand**. Energy Procedia, v.118, p.15-20. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.003>. Acesso em: maio de 2025.

CEBRI – Centro Brasileiro de Relações Internacionais; BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento; BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Programa de Transição Energética – Fase 2. Workshop 3 – BECCS, Biometano e Biocombustíveis Avançados**. Disponível em: <https://cebri.org.br/doc/342/pte-2-one-page-do-workshop-3-beccs-biometano-e-biocombustiveis-avancados>. Acesso em: maio de 2025.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2021a. **Resolução n. 2, de 10 de fevereiro de 2021**. Estabelece orientações sobre pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de energia do país. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/arquivos/2021/resolucao-2-cnpe.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2021b. **Resolução n. 7, de 20 de abril de 2021**. Institui o Programa Combustível do Futuro, cria o Comitê Técnico Combustível do Futuro e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/resolucoes-2021/ResCNPE72021.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

CNI – Confederação Nacional da Indústria; UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. 2014. **FNS – Gestão dos Recursos Hídricos na Agroindústria Canavieira**. Água Indústria e Sustentabilidade. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Gestao-dos-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2025a. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2024/2025, 4º levantamento**. Maio de 2024, v. 12, n.-4. Disponível em: [Conab - Safra Brasileira de Cana-de-açúcar](#). Acesso em: maio de 2025.
- _____. 2025b. **Série Histórica 2ª safra do Milho**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/910-Milho>. Acesso em: maio de 2025.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14408/1/Zon-Cana.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2021. **Sistemas Diferenciais de Cultivo – Milho**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo>. Acesso em: julho de 2024.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2024. **Protocolo BRCana – Recomendação de manejo de irrigação para produção de cana-de-açúcar cultivada no Cerrado**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/11968/protocolo-brcana---recomendacao-de-manejo-de-irrigacao-para-producao-de-cana-de-acucar-cultivada-no-cerrado>. Acesso em: julho de 2025.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2025. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2024**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-904/NT-EPE-DPG-SDB-2025-06_An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura_Ano%20base%202024.pdf. Acesso em: agosto de 2025.
- FERNANDES, M. G.; OLIVEIRA, A. H. 2023. **Contaminação do solo por vinhaça: uma revisão dos impactos causados pela fertirrigação**. Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v.16, n.7, p.5394-5400. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1148/703>. Acesso em: julho de 2024.
- HAYAT, M. A.; ALHADHRAMI, K.; ELSHURAF, A. M. 2024. **Which bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) pathways can provide net-negative emissions?** International Journal of Greenhouse Gas Control, v.135, 104164. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104164>. Acesso em maio de 2025.
- LIU, X., HOEKMAN, S. K.; BROCH, A. 2017. **Potential water requirements of increased ethanol fuel in the USA**. Energy, Sustainability and Society, v.7, p.1-13. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318172419_Potential_water_requirements_of_increased_ethanol_fuel_in_the_USA (PDF) [Potential water requirements of increased ethanol fuel in the USA](#). Acesso em: maio de 2025.
- MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass – Coleção 9.57 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: maio de 2025.
- MEKONNEN, M. M.; ROMANELLI, T. L.; RAY, C.; HOEKSTRA, A. Y.; LISKA, A. J.; NEALE, C. M. 2018. **Water, energy, and carbon footprints of bioethanol from the US and Brazil**. Environmental Science & Technology, v.52, n.24, p.14508-14518. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b03359>. Acesso em: maio de 2025.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. 2024. **Plano Clima – Adaptação**. Disponível em: [Plano Clima - Adaptação — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](#). Acesso em: maio de 2025.
- MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. 2025. **Relação Anual de Informações Sociais**. CNAE 2.0. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojZmJmMDVhODctMTEwOS00YTZhLWJhNzItOWE3NmVlMWUwMTUxliwidCI6IjNIYzkyOTY5LTZhNTctNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025b. **Certificados da Produção ou Importação Eficiente dos Biocombustíveis**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-bi-ocombustiveis>. Acesso em: maio de 2025.

ATRIUM Forest Consulting; WWF-Brasil. 2022. **Viabilidade da macaúba para produção de biocombustíveis**. Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo_macauba_final_pt.pdf. Acesso em: julho de 2022.

BRASIL. 2017. **Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: julho de 2024.

Brasil. 2024. **Decreto n. 11.902, de 30 de janeiro de 2024**. Altera o Decreto nº 10.527, de 22 de outubro de 2020, que institui o Selo Biocombustível Social e dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o Programa de Integração Social e para o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público e da Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social, incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, e sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d11902.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024. **Lei n. 14.993, de 09 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm. Acesso em: outubro de 2024.

_____. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria nº 28, de 27 de junho de 2024**. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jun. 2024. Seção 1, p. 37.

_____. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria nº 36, de 9 de setembro de 2025**. Altera a Portaria MDA nº 28, de 27 de junho de 2024, que dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 set. 2025. Seção 1, p. 131.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP; ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2022. **PIB, Emprego e Comércio Exterior nas Cadeias Agropecuárias – Cadeia da Soja e Biodiesel**. Piracicaba, São Paulo. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Abiove_Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel_Marco22.pdf. Acesso em: setembro de 2022.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2020. **Resolução n. 14, de 09 de dezembro de 2020**. Estabelece as diretrizes para a comercialização de biodiesel em todo território nacional, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/arquivos/conselhos-e-comites/res-14-cnpe.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2021a. **Resolução n. 2, de 10 de fevereiro de 2021**. Estabelece orientações sobre pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de energia do país. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/arquivos/2021/resolucao-2-cnpe.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2021b. **Resolução n. 7, de 20 de abril de 2021**. Institui o Programa Combustível do Futuro, cria o Comitê Técnico Combustível do Futuro e dá outras providências. Disponível em:

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/resolucoes-2021/ResCNPE72021.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023. **Resolução n. 3, de 20 de março de 2023**. Altera a Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2023/ResCNPE32023.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023. **Resolução n. 8, de 19 de dezembro de 2023**. Reduz o prazo para os aumentos dos teores de biodiesel, previstos pela Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, alterada pela Resolução CNPE nº 3, de 20 de março de 2023, com base em estudos de oferta, demanda e impactos econômicos. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2023/ResolucaoCNPE8Publicada.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

MORAES, Danielle Rodrigues. 2022. **DIR-FCEV powered by different fuels – Part I: Well-to-wheel analysis for the Brazilian and Spanish contexts**. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 47, Issue 38, Pages 17069-17081, ISSN 0360-3199. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922013027>. Acesso em: julho de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2019. **Cientistas produzem compostos químicos de alto valor a partir de coproduto do biodiesel**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/44763112/cientistas-produzem-compostos-quimicos-de-alto-valor-a-partir-de-coproduto-do-biodiesel>. Acesso em: julho de 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2025. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2024**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-904/NT-EPE-DPG-SDB-2025-06_An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura_Ano%20base%202024.pdf. Acesso em: agosto de 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2024. **Potencial das técnicas “poupa-terra” na produção de biocombustíveis no Brasil**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-843/FS-EPE-DPG-SDB-2024-03-Poupa_Terra.pdf. Acesso em: maio de 2025.

GALUSNYAK, S. C.; PETRESCU, L.; ARPAD, I. L.; CORMOS, C. C. 2024. **Towards value-added chemicals: Technical and environmental life cycle assessment evaluation of different glycerol valorisation pathways**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v.72, 104043. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138824004399?via%3Dihub>. Acesso em: maio de 2025.

GUJAR, J. P.; MODHERA, B. 2025. **Optimizing glycerol conversion to hydrogen: A critical review of catalytic reforming processes and catalyst design strategies**. International Journal of Hydrogen Energy, v.109, p.823-850. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.077>. Acesso em: maio de 2025.

HERRERA-BEURNIO, M. C.; LÓPEZ-TENLLADO, F. J.; HIDALGO-CARRILLO, J.; MARTÍN-GÓMEZ, J.; ESTÉVEZ, R.; URBANO, F. J.; MARINAS, A. 2024. **Glycerol photoreforming for photocatalytic hydrogen production on binary and ternary Pt-g-C₃N₄-TiO₂ systems: a comparative study**. Catalysis Today, v. 430, p. 114548. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920586124000427?via%3Dihub>. Acesso em: maio de 2025.

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. 2025. **Relação das Empresas Produtoras de Biodiesel detentoras do Selo Biocombustível Social**. Disponível em: <https://www.gov.br/mda/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades/selo-biocombustivel-social/documentos/RELAOATUALIZADAEMPRESASSBS03JUN2025.pdf>. Acesso em: agosto de 2025.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria n. 28, de 27 de junho de 2024**. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jun. 2024. Seção 1, p. 37.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria n. 36, de 9 de setembro de 2025**. Altera a Portaria MDA n. 28, de 27 de junho de 2024, que dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 set. 2025. Seção 1, p. 131.

MME – Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. **Renovabio**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>. Acesso em: outubro de 2022.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. 2025. **Relação Anual de Informações Sociais**. CNAE 2.0. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaZmJmMDVhODctMTEwOS00YTZhLWJhNzI-tOWE3NmVIMWEwMTUxliwidCI6IjNIYzkyOTY5LTZhNTctNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9>. Acesso em: setembro de 2025.

PERALTA-REYES, E.; VIZARRETEA-VÁSQUEZ, D.; NATIVIDAD, R.; AIZPURU, A.; ROBLES-GÓMEZ, E.; ALANIS, C.; REGALADO-MENDEZ, A. 2022. **Electrochemical reforming of glycerol into hydrogen in a batch-stirred electrochemical tank reactor equipped with stainless steel electrodes: parametric optimization, total operating cost, and life cycle assessment**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v.10, n.4, 108108. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108108>. Acesso em: maio de 2025.

PIRES, P. D. C. L.; DA SILVA CÉSAR, A.; CARDOSO, A. N.; FAVARO, S. P.; CONEJERO, M. A. 2023. **Strategies to improve the competitiveness of an agroindustrial system for a macauba based oil production in Minas Gerais State, Brazil**. Land Use Policy, v. 126, 106552. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106552>. Acesso em: maio de 2025.

SILVEIRA, N. T.; DOS SANTOS BELLO, R. K.; NETO, V. R. P.; TIBÚRCIO, I. M.; DE SANTANA, S. H. C.; CAVALCANTI, L. A. P. 2024. **Avaliação da produção de biodiesel a partir das vísceras de Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)**. Meio Ambiente (Brasil), v.6, n.2. Disponível em: <https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/470>. Acesso em: maio de 2025.

UCHÔA, I. M. A. 2015. **Combustíveis base diesel microemulsionados com glicerina: formulação e avaliação de desempenho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/22386>. Acesso em: julho de 2024.

Biometano

AIE – Agência Internacional de Energia. 2020. **Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2023. **Renewables 2023. Special section: Biogas and Biomethane**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023/special-section-biogas-and-biomethane>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025. **Global Methane Tracker 2025**. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2c0cf2d5-3910-46bc-a271-1367edfed212/GlobalMethaneTracker2025.pdf>. Acesso em maio de 2025

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2025. **Renovabio**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2020. **Biometano**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>. Acesso em maio de 2025.

BAUER, F.; PERSSON, T.; HULTEBERG, C.; TAMM, D. **Biogas upgrading – technology overview, comparison and perspectives for the future**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251375862_Biogas_upgrading_-_technology_overview_comparison_and_perspectives_for_the_future. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, Wiley, v. 7, n. 5, p. 499-511, 2013. DOI: 10.1002/bbb.1423. Acesso em: setembro de 2025.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2024. **A hora do biometano no Brasil. Textos para discussão 159.** Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/24146/1/PRFol_216049_TD%20n.%20159_A%20hora%20do%20biometano%20no%20Brasi.pdf. Acesso em maio de 2025.

BRASIL. 2022a. **Programa Metano Zero.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/ozonio/ProgramaMetanoZero.pdf>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2022b. **Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11003.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2022c. **MMA lança Escolas +Verdes para estimular ações sustentáveis na educação.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/mma-lanca-escolas-verdes-para-estimular-acoes-sustentaveis-na-educacao>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2023. **Resolução CNPE n. 1 de 2023.** Institui o Grupo de Trabalho do Programa Gás para Empregar para elaboração de estudos visando à promoção do melhor aproveitamento do gás natural produzido no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-bicombustiveis/gas-para-empregar/legislacao/despacho-do-presidente-da-republica-despacho-do-presidente-da-republica-dou-imprensa-nacional.pdf>. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025. **Lei n. 15.103, de 06 de março de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nº 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 06 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/L15103.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025. **Lei n. 12.614, de 05 de setembro de 2025.** Regulamenta a Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, para dispor sobre o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano, e altera o Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/decreto/D12614.htm. Acesso em setembro de 2025.

2025a. **Governo Federal lança iniciativa para promover o uso de energia limpa proveniente de biodigestores em Cozinhas Solidárias — Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome.** Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/governo-federal-lanca-iniciativa-para-promover-o-uso-de-energia-limpa-proveniente-de-biodigestores-em-cozinhas-solidarias>. Acesso em maio de 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2023. **Captura e armazenamento de carbono biogênico: Bio-CCS.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-767/FS-EPE-DPG-SDB-2023-05-BioCCS.pdf>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2024. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2023.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2023>. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025a. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2024.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2024>. Acesso em agosto de 2025.

_____. 2025b. **Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano – PNIIGB.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-875/topico-760/Webinar_Lan%C3%A7amento%20da%20ChP%20de%20In-forma%C3%A7%C3%B5es_PNIIGB_final.pdf. Acesso em maio de 2025.

FERREIRA, S. F.; BULLER, L. S.; BERNI, M.; FORSTER-CARNEIRO, T. 2019. **Environmental impact assessment of end-uses of biomethane.** Journal of Cleaner Production. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619315501>. Acesso em: maio de 2025.

FLORIO, C.; FIORENTINO, G.; CORCELLI, F.; ULGIATI, S.; DUMONTET, S.; GÜSEWELL, J.; ELTROP, L. **A life cycle assessment of biomethane production from waste feedstock through different upgrading technologies**. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/4/718>. Energies, MDPI, v. 12, n. 4, art. 718, 2019. DOI: 10.3390/en12040718. Acesso em: setembro de 2025.

GALLONI, M.; DI MARCOBERARDINO, G. **Biogas upgrading technology: conventional processes and emerging solutions analysis**. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/12/2907>. Energies, MDPI, v. 17, n. 12, art. 2907, 2024. DOI: 10.3390/en17122907. Acesso em: setembro de 2025.

GLOBAL METHANE PLEDGE. 2021. **About the Global Methane Pledge**. Disponível em: <https://www.globalmethanepledge.org/#about>. Acesso em maio de 2025.

GONG, R.; LUNELLI, B.H. 2024. **Exergy Analysis of Biogas Production from Sugarcane Vinasse**. Bioenerg. Res. 17, 1208–1216. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10558-3>. Acesso em maio de 2025.

INSTITUTO TOTUM. 2025. **O que é o Gas-Rec?** Disponível em: <https://institutototum.com.br/totum-services/gas-rec/>. Acesso em maio de 2025.

KEOGH, N.; CORR, D.; MONAGHAN, R. F. D. **An environmental and economic assessment for biomethane injection and natural gas heavy goods vehicles**. Applied Energy, v. 360, p. 122800, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924001831>. Acesso em: maio de 2025.

LEMO, G. L.; CARDOSO, M. F. O.; COSTA, H. K. de M. 2024. **Biogás e biometano no Brasil: panorama e perspectivas**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, 63, 464-485. Acesso em maio de 2025.

MME EPE & CIBIOGÁS. 2023. **Panorama do Biometano: Setor sucroenergético**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama%20de%20Biometano.pdf>. Acesso em maio de 2025.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2024. **Projeção de Oferta de Biometano**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/eventos/serie-de-workshops-proximos-passos-combustivel-do-futuro-e-novas-politicas-do-setor-de-oleo-e-gas/workshop-biometano/06-mesa-2-heloisa-borges-bastos-esteves-epe.pdf>. Acesso em maio de 2025.

MME - Ministério de Minas e Energia. 2025. **MME promove debate sobre decreto do biometano em audiência pública com ampla participação do setor**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-promove-debate-sobre-decreto-do-biometano-em-audiencia-publica-com-ampla-participacao-do-setor>. Acesso em maio de 2025.

RAVINA, M.; GENON, G. 2015. **Global and local emissions of a biogas plant considering the production of biomethane as an alternative end-use solution**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615004242>. Journal of Cleaner Production, 102, 115–126. Acesso em: maio de 2025.

BOX “Combustíveis de baixo carbono”

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Pesquisa em Bioenergia (BIOEN). 2025. **Biofuels as an immediate and effective solution for decarbonization of transportation – Factsheet**. Disponível em: <https://bioenfapesp.org/biofuels-as-an-immediate-and-effective-solution-for-decarbonization-of-transportation-factsheet/>. Acesso em: maio de 2025.