

# TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA

## Cenários Brasil



## Transição Energética Justa / Cenários Brasil

### © CAF 2024

CORPORAÇÃO ANDINA DE FOMENTO - Av. Luis Roche, Torre CAF Urb.  
Altamira, Caracas (Chacao) Miranda 1060, Venezuela. RIF: G200015470

Contribuição do CAF para a Facilidade Climática do Clube de Bancos para  
o Desenvolvimento

Relatório coordenado pela Gerência de Ação Climática e Biodiversidade Positiva  
(GACBP), a Gerência de Conhecimento (GC) e a Gerência de Infraestrutura Física  
e Transformação Digital (GIFTD).

Edgar Salinas, executivo principal, Direção de Operações e Financiamento Verde  
(GACBP).

Walter Cont, executivo sênior, Direção de Análise Setorial (GC).

Juan Ríos, executivo principal, Direção de Transportes e Energia (GIFTD).

### Autores

A equipe da GME (em ordem alfabética) incluiu Agustín Ghazarian, Coline  
Champetier, Darío Quiroga, Francisco Baqueriza, Nicolás Barros, Laura Souilla,  
Ramón Sanz e Roberto Gomelsky.

Os autores agradecem a Edgar Salinas, Walter Cont e Juan Ríos pelos comentários,  
sugestões e apoio no desenvolvimento deste documento.

### Gestão Editorial

Direção de Comunicação Estratégica da CAF.

### Design gráfico universal neuroinclusivo, com princípios de acessibilidade e visualização para leitores neurodivergentes

CLEIMAN - <https://cleiman.com>

### Fotografias

Capa: ©AdobeStock

Internas: © CAF - © Pexels - © Unsplash

Versão digital disponível em [scioteca.caf.com](https://scioteca.caf.com) com acesso aberto sob a licença  
Deed - Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - Creative Commons



As ideias e opiniões expressas nesta obra são dos autores e não refletem  
necessariamente o ponto de vista da CAF, nem comprometem a Organização. Os  
termos utilizados e a apresentação dos dados aqui contidos não implicam qualquer  
posição por parte da CAF quanto ao status jurídico dos países, territórios, cidades ou  
regiões, nem em relação às suas autoridades, fronteiras ou limites.

---

# Transição Energética Justa

## Cenários Brasil



## ÍNDICE



---

# Lista de abreviaturas **19**

---

# Prefácio **21-27**

---

**1. Objetivo geral** 22

---

**2. Objetivos específicos** 23

---

**3. Organização da série Transição Energética Justa** 24

---

**4. Aspectos organizativos** 25

---

**5. Cenários: Brasil** 26

---

---

# Capítulo 1

## Diagnóstico e linha de base

---

# 28-98

### 1. Caracterização geral

29

<b>Aspectos socioeconômicos</b>	<b>29</b>
<b>Indicadores socioeconômico-energéticos</b>	<b>35</b>
Intensidade energética da economia	35
Consumo per capita	36
<b>Preços locais</b>	<b>37</b>
<b>Aspectos energéticos</b>	<b>38</b>
Reservas e oferta total de combustíveis (produção, importação e exportação)	38
Consumo final por fontes e setores	44
<b>Perfil climático</b>	<b>47</b>
Cenários de mudança climática e riscos para o setor energia	47
Contribuição GEE ano base	49
Compromissos nacionais (NDC e Acordo de Paris)	52

---

### 2. Aspectos institucionais, regulatórios e de políticas públicas

55

<b>Governo setorial</b>	<b>55</b>
<b>Principais conceitos regulatórios</b>	<b>56</b>
<b>Aspectos de políticas públicas</b>	<b>57</b>
Políticas de eficiência energética	57
Políticas de preços, subsídios e incentivos	59
Criação de um mercado de carbono	62

---

### **3. Balanço energético, 2019 e 2022**

64

### **4. Evolução da demanda energética por setor e fontes**

67

Setor residencial	29
Setor comercial, serviços e público	70
Setor industrial	72
Setor transporte	74
Demanda por fonte	74
Frota automotiva e consumos por tipo	76
Setor agropecuario, pesca, mineração e construção	79

### **5. Comércio exterior**

81

### **6. O setor elétrico**

84

Demanda elétrica	84
Capacidade instalada	86
Generação elétrica	89

### **7. Redes elétricas e de gasodutos existentes**

92

### **8. Conclusões**

95

---

# Capítulo 2

## Metodologia de projeção energética

---

# 99-115

---

### 1. Ano base e horizonte de planejamento 100

---

### 2. Confeção de projeção 101

<b>Descrição geral</b>	<b>101</b>
<b>Demanda por setor</b>	<b>103</b>
Setor residencial	103
Setor comercial, serviços e público	104
Setor industrial	105
Setor transporte	105
Setor agropecuario, pesca, mineração e construção	109
<b>Setor eléctrico</b>	<b>109</b>

---

### 3. Cenários e marco global 111

<b>Definição dos cenários</b>	<b>111</b>
<b>Projeções das variáveis socioeconômicas</b>	<b>112</b>
PIB per capita e PIB	112
População	113

---

### 4. Principais premissas do setor energia 114

---

---

# Capítulo 3

## Cenários de transição

---

# 116-176

---

### 1. Resultados globais 117

Emissões por setor	117
Demanda energética por setor	120
Demanda energética por fonte	123
Intensidade energética e ambiental	126

---

---

### 2. Resultados y premissas por setor 128

Setor residencial	128
Setor comercial, serviços e público	132
Setor industrial	136
Projeções por ramo	136
Resultados	140
Setor transporte	144
Transporte rodoviário de passageiros	144
Transporte rodoviário de cargas	146
Transporte aéreo, naval e ferroviário	148
Resultados	148
Setor agropecuario, pesca, mineração e construção	155
Setor elétrico	158

---

---

### 3. Financiamento da transição energética 164

Inverstimentos totais	165
Setor eléctrico	167
Usos finais	171

---

#### 4. Principais indicadores da transição

176

---

## Capítulo 4 Roteiro de uma transição energética justa Recomendações

# 177-194

---

### 1. O ambiente para a transição

178

As projeções	178
As implicações para as políticas públicas	182
Etapa I – Preparação	182
Etapa II – Implantação	186
Etapa III – Desenvolvimento	187

---

### 2. O roteiro

191

---

## Trabalhos citados

# 195

## TABELAS E GRÁFICOS



<b>Tabela 1.</b>	Indicadores socioeconômicos	<b>29</b>
<b>Tabela 2.</b>	Preços dos principais energéticos do Brasil, corte 2018	<b>37</b>
<b>Tabela 3.</b>	Reservas de combustíveis, potencial hidrelétrico e infraestruturas, 2019, Brasil	<b>40</b>
<b>Tabela 4.</b>	Recursos eólico e solar, Brasil	<b>40</b>
<b>Tabela 5.</b>	Mapeamento de instituições do setor energético	<b>55</b>
<b>Tabela 6.</b>	Principais conceitos regulatórios por setor e segmento	<b>56</b>
<b>Tabela 7.</b>	Eficiência energética no Brasil	<b>58</b>
<b>Tabela 8.</b>	Quantidade de veículos rodoviários, total e por tipo, 2019, Brasil	<b>76</b>
<b>Tabela 9.</b>	Consumo por tipo de transporte e por tipo de combustível, 10 <sup>3</sup> TJ e %, 2019, Brasil	<b>77</b>
<b>Tabela 10.</b>	Indicadores socioeconômicos e TCMC entre 2019 e 2060, %	<b>113</b>

---

**Tabela 11.**

---

---

Demanda total por cenário,  
milhares de TJ e TCMC (%) **123**

---

---

**Tabela 12.**

---

---

Indicadores por horizonte de tempo  
e cenário **176**

---

---

**Tabela 13.**

---

---

Roteiro a ser promovido pelo CAF **191**

---

---

**Gráfico 1.**

---

---

PIB e taxa de crescimento anual,  
MUSD constantes de 2010 e % **31**

---

---

**Gráfico 2.**

---

---

PIB por setor, 2021, % **32**

---

---

**Gráfico 3.**

---

---

PIB per capita, USD constantes de 2010  
per capita **33**

---

---

**Gráfico 4.**

---

---

Incidência da pobreza e da pobreza  
extrema por ano, % **34**

---

---

**Gráfico 5.**

---

---

Consumo final total versus intensidade  
energética final, 10<sup>3</sup>TJ e GJ/MUSD  
constantes de 2010 **35**

---

---

**Gráfico 6.**

---

---

Consumo final total versus consumo final  
per capita, 10<sup>3</sup>TJ e GJ per capita **36**

---

---

**Gráfico 7.**

---

---

Recurso solar potencial (kWh/kWp)  
e velocidade média do vento a 100 m (m/s) **39**

---

---

## Gráfico 8.

---

---

Produção, importação e exportação  
por principais fontes, 2019, 10<sup>3</sup> TJ **41**

---

---

## Gráfico 9.

---

---

Evolução das reservas provadas de  
petróleo, gás natural e carvão, 10<sup>3</sup> TJ **43**

---

---

## Gráfico 10.

---

---

Brasil, segundo produtor mundial  
de bioetanol combustível **44**

---

---

## Gráfico 11.

---

---

Consumo final por setores, 10<sup>3</sup> TJ y % **45**

---

---

## Gráfico 12.

---

---

Consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ y % **46**

---

---

## Gráfico 13.

---

---

Emissões totais líquidas, MtCO<sub>2</sub>e **50**

---

---

## Gráfico 14.

---

---

Emissões estimadas do setor energético,  
por setor e por fonte, MtCO<sub>2</sub>e, 2019 **51**

---

---

## Gráfico 15.

---

---

Balanco energético, ano 2019 **64**

---

---

## Gráfico 16.

---

---

Balanco energético, ano 2022 **66**

---

---

## Gráfico 17.

---

---

Setor residencial: evolução do consumo  
final por fontes (10<sup>3</sup> TJ) e consumo final  
residencial per capita (GJ per capita) **69**

---

---

## Gráfico 18.

---

---

Setor residencial: consumo de energia  
por usos finais, 2018 **70**

---

---

## Gráfico 19.

---

---

Sector comercial e público: evolução do consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ **71**

---

---

## Gráfico 20.

---

---

Setor comercial e público: consumo de energia por usos finais, 2004 **72**

---

---

## Gráfico 21.

---

---

Setor industrial: evolução do consumo final por fontes (10<sup>3</sup>TJ) e intensidade energética industrial (GJ/milhares USD contantes de 2010) **73**

---

---

## Gráfico 22.

---

---

Setor industrial: consumo de energia por usos finais, 2004 **74**

---

---

## Gráfico 23.

---

---

Setor transporte: evolução do consumo final por fontes (10<sup>3</sup>TJ) e intensidade energética industrial (GJ/milhares USD contantes de 2010) **75**

---

---

## Gráfico 24.

---

---

Frota de veículos versus PIB/capita entre 2010 e 2019 **77**

---

---

## Gráfico 25.

---

---

Setor transporte: consumo final por tipo e por combustível, 10<sup>3</sup> TJ **78**

---

---

## Gráfico 26.

---

---

Outros setores: evolução do consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ **79**

---

---

## Gráfico 27.

---

---

Brasil: reservas, produção, e consumo de petróleo **82**

---

---

## Gráfico 28.

---

Brasil: reservas, produção, e consumo de gás natural **83**

---

## Gráfico 29.

---

Consumo final elétrico por setor, entre 2000 e 2019, e o ano 2019, GWh **84**

---

## Gráfico 30.

---

Capacidade instalada entre 2000 e 2020, MW **87**

---

## Gráfico 31.

---

Capacidade instalada por fonte 2019, % **88**

---

## Gráfico 32.

---

Geração de eletricidade por fonte entre 2000 e 2020, GWh e  $10^3$  TJ **90**

---

## Gráfico 33.

---

Geração de eletricidade por fonte entre 2000 e 2020, %, e índice de emissões de CO<sub>2</sub> do setor elétrico, g/kWh **91**

---

## Gráfico 34.

---

Sistema Interconecção Nacional existente (2020) e futuro (2024) **93**

---

## Gráfico 35.

---

Rede de gasodutos, 2019 **94**

---

## Gráfico 36.

---

Setores, níveis de atividade e variáveis explicativas **102**

---

## Gráfico 37.

---

Emissões directas (consumo final e geração) por setor (MtCO<sub>2</sub>e) **118**

---

---

## Gráfico 38.

---

Consumo final setor e consumo próprio,  
por cenário (milhares de TJ) **121**

---

## Gráfico 39.

---

Consumo final e consumo próprio  
por fonte e cenário, milhares de TJ **124**

---

## Gráfico 40.

---

Intensidade energética unitária (2019=1),  
milhares de TJ/MUSD PPP 2017 (esquerda)  
e milhares de TJ per capita (direita) **126**

---

## Gráfico 41.

---

Intensidade ambiental unitária (2019=1),  
tCO<sub>2</sub>e/milhares USD PPP 2017 (esquerda)  
e tCO<sub>2</sub>e per capita (direita) **127**

---

## Gráfico 42.

---

Setor residencial: resultados por  
combustível e por cenário (10<sup>3</sup> TJ) **129**

---

## Gráfico 43.

---

Setor residencial: emissões diretas  
por cenário (MtCO<sub>2</sub>e) **131**

---

## Gráfico 44.

---

Setor CSP: resultados por combustíveis  
e por cenário (10<sup>3</sup> TJ) **133**

---

## Gráfico 45.

---

Setor CSP: emissões diretas  
por cenário (MtCO<sub>2</sub>e) **135**

---

## Gráfico 46.

---

Setor industrial: consumo energético  
por subsetor industrial, 2019 (%) **136**

---

## Gráfico 47.

---

Setor industrial: consumo energético por  
uso para principais subsetores (%) **137**

---

---

## Gráfico 48.

---

Setor industrial: evolução por cenário para principais usos em ramas más relevantes de la industria (%) **139**

---

---

## Gráfico 49.

---

Setor industrial: consumo final por combustíveis e por cenário ( $10^3$  TJ) **140**

---

---

## Gráfico 50.

---

Setor industrial: emissões diretas por cenário ( $\text{MtCO}_2\text{e}$ ) **142**

---

---

## Gráfico 51.

---

Quantidade de veículos privados por 1.000 habitantes e participação de motos (%) **145**

---

---

## Gráfico 52.

---

Quantidade de veículos de carga total **147**

---

---

## Gráfico 53.

---

Transporte: consumo final por tipo/combustíveis e por cenário ( $10^3$  TJ) **149**

---

---

## Gráfico 54.

---

Consumo final transporte rodoviário de passageiros e de cargas, por combustíveis e por cenário ( $10^3$  TJ) **152**

---

---

## Gráfico 55.

---

Setor transporte: emissões diretas por cenário ( $\text{MtCO}_2\text{e}$ ) **154**

---

---

## Gráfico 56.

---

Resultados do setor agropecuário, pesca, mineração e construção, por cenário ( $10^3$  TJ) **156**

---

---

## Gráfico 57.

---

Setor agropecuario, pesca, mineração e construção: emissões diretas por cenário ( $\text{MtCO}_2\text{e}$ ) **157**

---

---

## Gráfico 58.

---

Projeção capacidade instalada por fonte e por cenário (GW) **159**

---

## Gráfico 59.

---

Projeção da geração elétrica por fonte e por cenário **162**

---

## Gráfico 60.

---

Investimento estimado anual (milhões de USD) **165**

---

## Gráfico 61.

---

Investimento estimado anual total em % do PIB **166**

---

## Gráfico 62.

---

Setor elétrico: investimentos acumulados no período de transição (bilhões de USD) **168**

---

## Gráfico 63.

---

Setor elétrico: investimentos anuais por tipo (milhões de USD/ano) **169**

---

## Gráfico 64.

---

Setor elétrico: investimentos anuais por período (milhões de USD/ano) **170**

---

## Gráfico 65.

---

Usos finais: investimentos acumulados no período de transição (bilhões de USD) **172**

---

## Gráfico 66.

---

Transporte rodoviário: investimentos anuais por período (milhões de USD/ano) **173**

---

## Gráfico 67.

---

Usos finais: investimentos anuais por tipo (milhões de USD/ano) **174**

---

## Gráfico 68.

---

Roteiro: etapas **179**

---

# Lista de abreviaturas

---

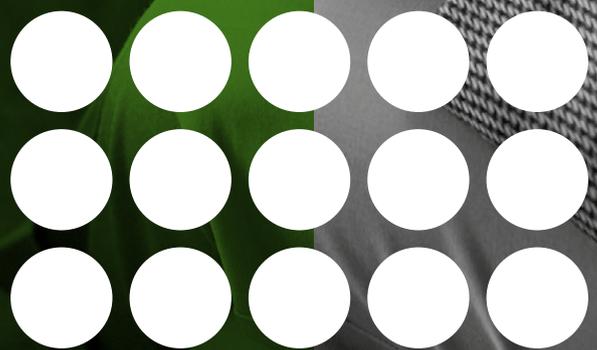
<b>ACS</b>	água quente doméstica
<b>AFOLU</b>	agricultura, silvicultura e outros usos da terra ( <i>agriculture, forestry and other land use</i> )
<b>AIE</b>	Agência Internacional de Energia
<b>AMI</b>	Infraestrutura de medição avançada ( <i>advanced metering infrastructure</i> )
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
<b>BAU</b>	negócios, como sempre
<b>CAPEX</b>	despesas de capital ( <i>capital expenditures</i> )
<b>CCUS</b>	tecnologia de uso e armazenamento de captura de carbono ( <i>carbon capture, use and storage</i> )
<b>CDE</b>	conta de desenvolvimento energético
<b>CEPAL</b>	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
<b>CGIEE</b>	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
<b>CIU</b>	Classificação Industrial Uniforme Internacional
<b>CMNUCC</b>	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
<b>CONPET</b>	Programa Nacional de Racionalização da Utilização de Derivados do Petróleo e do Gás Natural
<b>EE</b>	eficiência energética
<b>ENCE</b>	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
<b>EPE</b>	Empresa de Pesquisa Energética
<b>ERNC</b>	energias renováveis não convencionais
<b>GEI</b>	gases de efeito estufa
<b>GLP</b>	gás liquefeito de petróleo
<b>GNC</b>	gás natural comprimido

<b>GNL</b>	gás natural liquefeito
<b>IDH</b>	índice de desarrollo humano
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
<b>IRC</b>	índice global de risco climático
<b>LEAP</b>	plataforma de análise de baixas emissões ( <i>low emissions analysis platform</i> ) SEI
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>MUSD</b>	milhões de dólares americanos
<b>NDC</b>	contribuições determinadas nacionalmente ( <i>nationally determined contributions</i> )
<b>NZ</b>	Zero líquido
<b>OLADE</b>	Organização Latino-Americana de Energia
<b>ONS</b>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<b>PEE</b>	Programa de Eficiência Energética
<b>PIB</b>	produto Interno bruto
<b>PIBpc</b>	produto Interno bruto <i>per capita</i>
<b>PNEf</b>	Plano Nacional de Eficiência Energética
<b>PNUD</b>	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
<b>PPP</b>	paridade de poder de compra ( <i>purchasing power parity</i> )
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>RJ</b>	Rio de Janeiro
<b>SEI</b>	Instituto Ambiental de Estocolmo ( <i>Stockholm Environment Institute</i> )
<b>sieLAC</b>	Sistema de Informação Energética da América Latina e do Caribe
<b>SP</b>	São Paulo
<b>TCMC</b>	taxa média composta de crescimento ( <i>compound average growth rate</i> )
<b>TEJ</b>	transição energética justa
<b>TJ</b>	terajoule
<b>VE</b>	veículos elétricos
<b>WEC</b>	Conselho Mundial de Energia ( <i>World Energy Council</i> )

---



# Prefácio



# 1. Objetivo geral

O objetivo geral do projeto foi desenvolver uma abordagem metodológica para a definição do conceito de transição energética justa (TEJ) no contexto nacional, com potencial de aplicação nos países membros do CAF – banco de desenvolvimento da América Latina e do Caribe – e avaliar a abordagem proposta no Brasil, Colômbia, México, Peru e República Dominicana.



## 2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste relatório são:

1. definir uma abordagem metodológica para a abordagem abrangente da transição energética justa na região;
2. estabelecer o diagnóstico dos sistemas energéticos e - em particular, elétricos nacionais (países-alvo) no âmbito do processo de transição energética;
3. definir cenários nacionais do modelo de desenvolvimento de baixo carbono da transição energética nos países-alvo, que inclua os elementos a serem eletrificados em setores energéticos atualmente não servidos pelo setor elétrico, dentro dos requisitos prospectivos;
4. modelar alternativas viáveis de transição energética no contexto previamente definido.

# 3. Organização da série Transição Energética Justa

O trabalho para atingir os objetivos indicados foi realizado entre outubro de 2022 e outubro de 2023. A série foi organizada em sete relatórios.

1. Transição Energética Justa / Marco conceitual para a região, Análise no contexto nacional
2. Premissas de Transição Energética Justa / Projeção
3. Transição Energética Justa / Cenários do Brasil
4. Transição Energética Justa / Cenários da Colômbia
5. Transição Energética Justa / Cenários do México
6. Transição Energética Justa / Cenários do Peru
7. Transição Energética Justa / Cenários da República Dominicana

Os relatórios foram organizados seguindo a ordem alfabética de seus nomes.

## 4. Aspectos organizativos

Este relatório foi financiado pelo CAF e é publicado para comunicar os resultados e conclusões obtidos à comunidade interessada no desenvolvimento da América Latina. Consequentemente, o documento não foi elaborado seguindo os procedimentos de um documento oficial. Algumas das fontes citadas neste relatório podem ser documentos informais difíceis de obter.

As conclusões e opiniões aqui expressas são de responsabilidade exclusiva dos autores e não devem ser atribuídas ao CAF ou GME, às suas organizações afiliadas ou aos seus diretores executivos e não refletem necessariamente os seus pontos de vista.

O CAF e a GME não garantem a exatidão dos dados incluídos nesta publicação e não assumem qualquer responsabilidade pelas consequências da sua utilização. As cores, fronteiras, nomes e classificações de qualquer mapa neste relatório não implicam julgamento por parte do CAF em relação ao status legal ou outro dos territórios, ou aprovação ou aceitação de tais limites.

Os relatórios desta série são documentos para discussão e, portanto, estão sujeitos aos mesmos direitos autorais que outras publicações do CAF.

O CAF promove a divulgação de suas obras e autoriza sua reprodução imediata, gratuita, caso não sejam utilizadas para fins comerciais.

Edgar Salinas, Juan Ríos e Walter Cont do CAF formaram um grupo de trabalho que estabeleceu os termos de referência e supervisionou o desenvolvimento dos relatórios dos consultores do GME.

A equipe do GME, em ordem alfabética, foi composta por Agustín Ghazarian, Coline Champetier, Darío Quiroga, Francisco Baqueriza, Nicolás Barros, Laura Souilla, Ramón Sanz e Roberto Gomelsky.

## 5. Cenários: Brasil

O presente relatório contém a análise da transição energética para o Brasil e está organizado em quatro capítulos.

- **Diagnóstico e linha de base.** Este capítulo estabelece o diagnóstico da linha de base em termos de fontes e usos de energia, características do setor elétrico, aspectos ambientais (inventários de gases de efeito estufa [GEE], compromissos) e aspectos institucionais, regulatórios e de políticas públicas, entre outros. Permite-nos apresentar o ponto de partida das projeções energéticas e identificar as principais características que podem condicionar a estratégia de transição energética justa.
- **Metodologia de projeção de energia.** Este capítulo descreve brevemente o modelo da Plataforma de Análise de Baixas Emissões (LEAP) e seu uso para modelar as emissões do setor energia<sup>1</sup>. São apresentadas metodologias de projeção da demanda energética por setor, subsetor, usos e fontes, e modelagem de geração de eletricidade. Descreve também os três cenários de projeção contemplados e as principais premissas consideradas.
- **Cenários de transição.** Este capítulo apresenta as projeções em termos de emissões e demanda de energia para os três cenários apresentados anteriormente (Business As Usual [BAU], Net Zero 2050 [NZ 2050] e Net Zero 2060 [NZ 2060]). Detalha os resultados por setor e as principais premissas explicativas. Apresenta as necessidades em termos de

<sup>1</sup> Mais especificamente, o modelo LEAP (*Low Emissions Analysis Platform*) foi utilizado para modelar as emissões relacionadas à combustão de combustíveis.

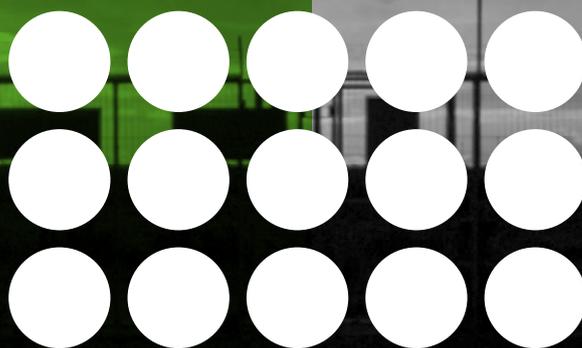
investimentos na transição energética relacionados com o setor elétrico e utilizações finais. Conclui com o ponto de partida e chegada dos principais indicadores da transição por cenário.

- **Proposta do roteiro para uma transição energética justa.** O roteiro descreve as políticas públicas a serem desenvolvidas e os segmentos que requerem financiamento concessional ou de apoio para acompanhar os cenários de transição energética justa propostos previamente.



# 1

**Diagnóstico e  
linha de base**



# 1. Caracterização geral



## Aspectos socioeconômicos

O Brasil, oficialmente República Federativa do Brasil, é o maior país da América Latina, com área de 8,5 milhões de quilômetros quadrados. É o quinto maior país do mundo em área e o sexto maior do mundo em população. O Brasil faz fronteira com a maioria dos outros países da América do Sul (exceto Equador e Chile) e cobre 47% da área terrestre do continente.

**Tabela 1**

► Indicadores socioeconômicos

Indicador/País	Brasil
População total (2021, milhões)	213,99
Densidade de população (hab./km <sup>2</sup> )	25
População urbana (%)	87 %
PIB per capita 2021 (USD a preços constantes de 2010)	8.551
Índice de pobreza extrema 2020	5,1 %

Fonte: Elaboração própria baseada em dados do Banco Mundial e CEPALSTAT.

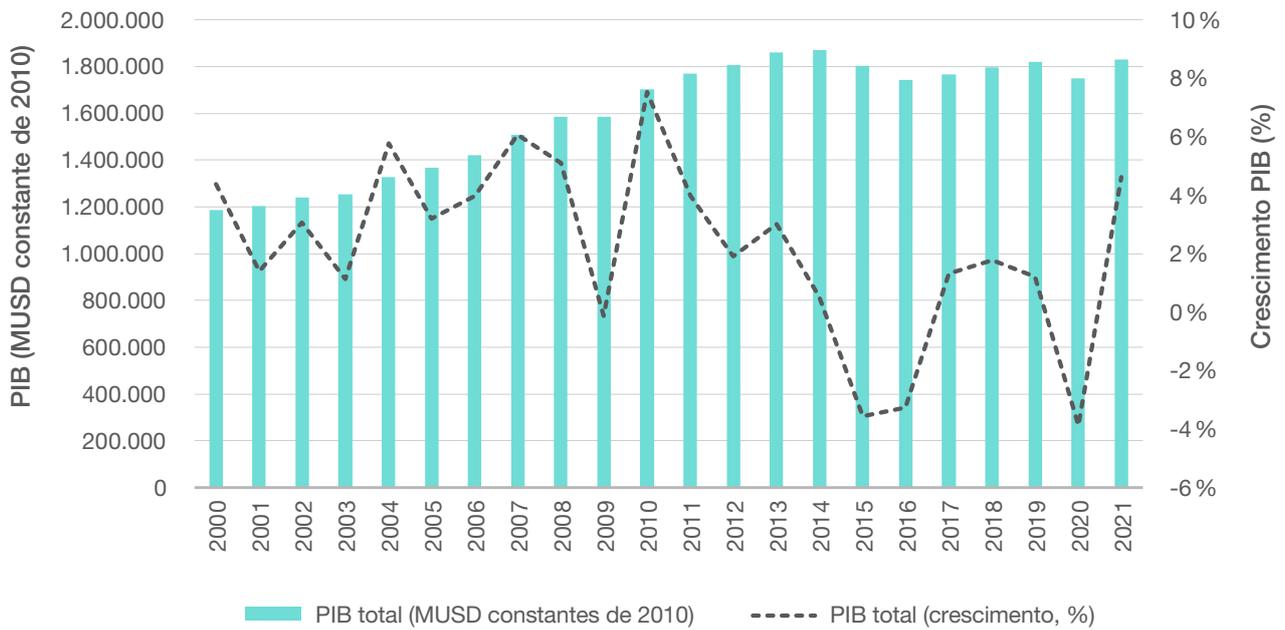
A população é estimada em 213,99 milhões (2021), com densidade de 25 habitantes/km<sup>2</sup>. A maioria da população vive em cidades (87%) e, mais especificamente, em cidades com mais de um milhão de habitantes (42%). Sua capital é Brasília e sua cidade mais populosa é São Paulo.

O Brasil tem uma economia mista em desenvolvimento, que é a nona maior do mundo com base no produto interno bruto (PIB) nominal de 2020 e a primeira da América Latina. De acordo com o Banco Mundial, o produto interno bruto per capita (PIBpc) a preços constantes de 2010 foi de 8.551 dólares em 2021.

Após anos de instabilidade, tanto política como económica, o Brasil conseguiu estabilizar a sua economia e registou um elevado crescimento económico. Em 1994, o lançamento do Plano Real deu um primeiro passo em direção a uma maior estabilidade económica e criou uma moeda (ainda em uso hoje), o real. De 2000 a 2013, o Brasil beneficiou do boom dos preços das matérias-primas e foi uma das principais economias com crescimento mais rápido no mundo (parte dos BRICS), com uma taxa média anual de crescimento do PIB de cerca de 4% em dólares americanos constantes (USD). No entanto, o crescimento económico do Brasil abrandou em 2014 e o país entrou em recessão em 2015 e 2016. A economia começou a recuperar em 2017, com uma taxa de crescimento de 1,3% nos últimos 3 anos. Em 2020, o impacto da pandemia da COVID-19 na economia do Brasil foi significativo, assim como na maioria dos países da região, pois encerrou o ano com uma redução de 4,1%.

**Gráfico 1**

► PIB e taxa de crescimento anual, MUSD constantes de 2010 e %



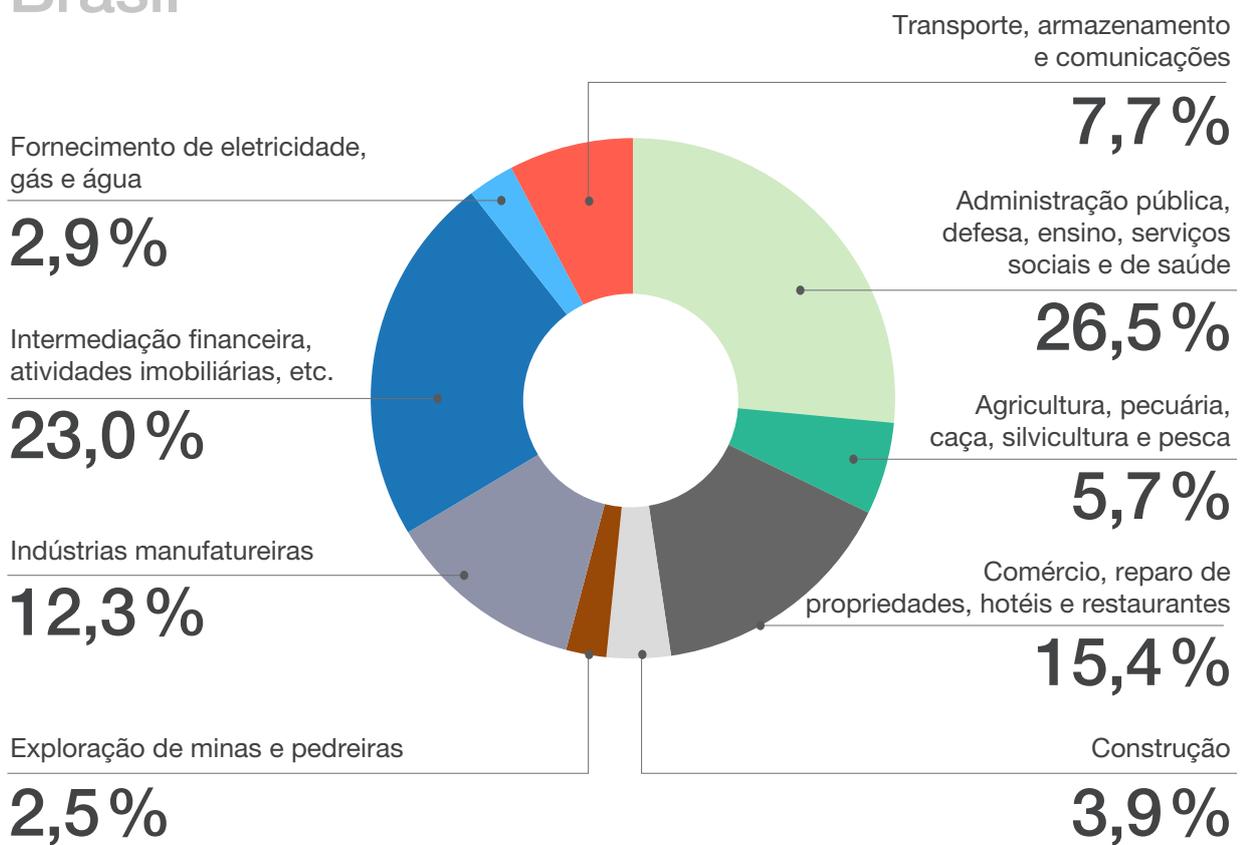
Fonte: Elaboração própria baseada em dados do Banco Mundial.

O Brasil tem uma economia diversificada, na qual o setor de administração pública, defesa, educação, serviços sociais e saúde representou 26,5% do PIB em 2021, seguido pelo setor financeiro (23%), comércio (15,4%) e indústrias de transformação (12,3%).

Gráfico 2

► PIB por setor, 2021, %

## Brasil

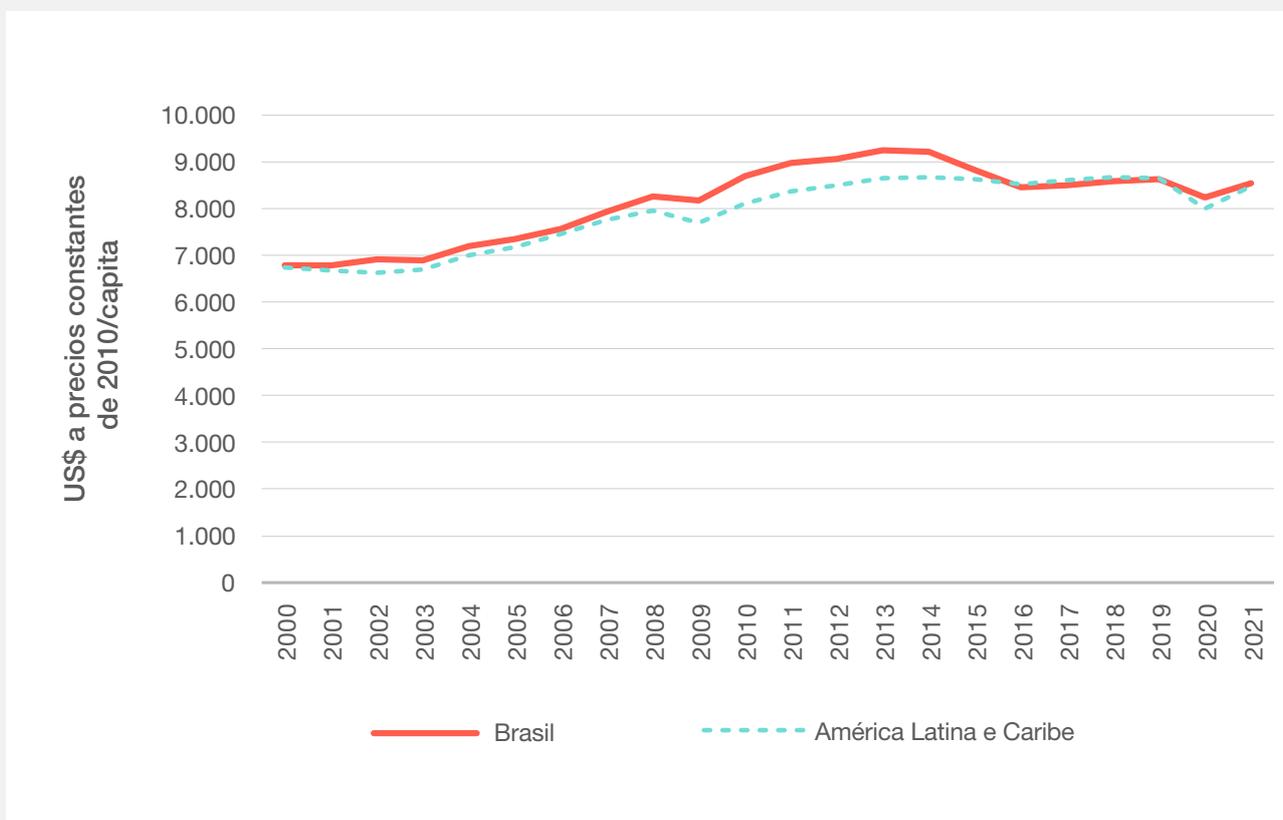


Fonte: Elaboração própria baseada em dados da CEPAL.

Com exceção de alguns anos específicos, o PIBpc registou uma tendência crescente nos últimos 20 anos.

**Gráfico 3**

► PIB per capita, USD constantes de 2010 per capita

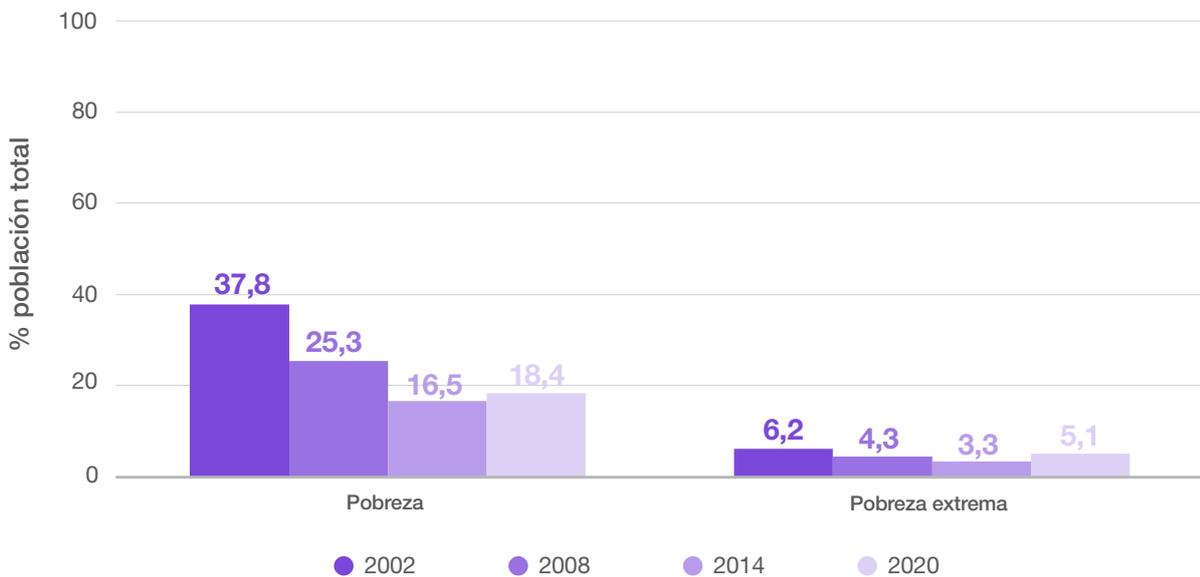


Fonte: Elaboração própria baseada em dados do Banco Mundial.

Nos últimos vinte anos, observou-se uma forte redução da pobreza, exceto em 2020, quando aumentou como parte das consequências sociais e económicas da COVID-19.

**Gráfico 4**

► **Incidência da pobreza e da pobreza extrema por ano, %**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados de CEPALSTAT.



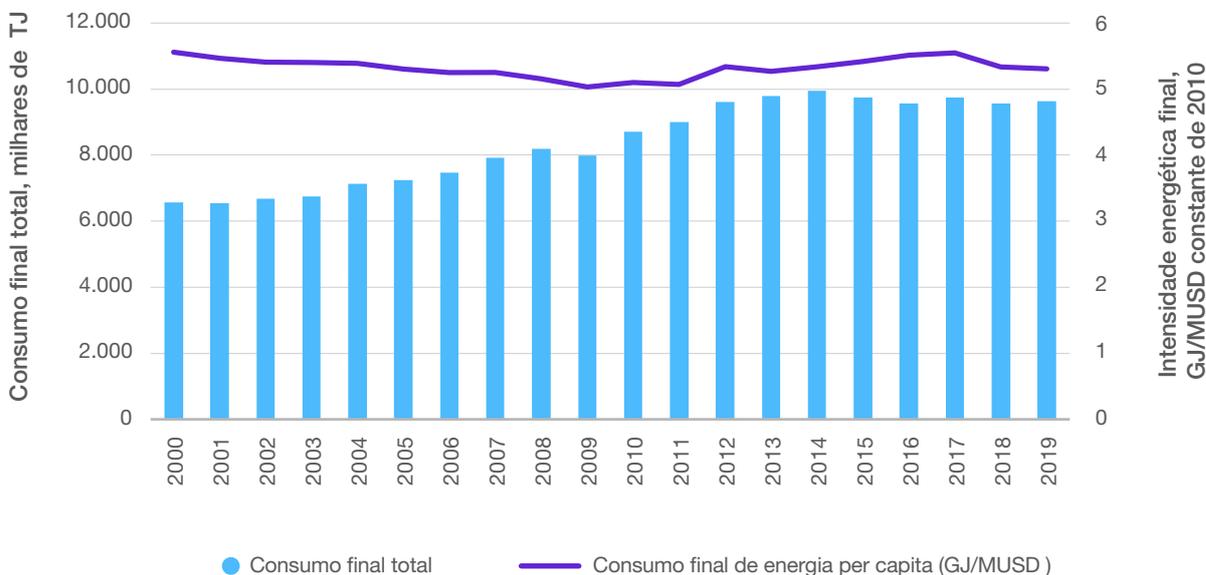
## Indicadores socioeconômico-energéticos

### Intensidade energética da economia

A intensidade energética final<sup>2</sup> foi ligeiramente reduzida no período entre 2000 e 2019 (-4,2% acumulado) enquanto o consumo final total cresceu a uma taxa média anual de 2,4%.

Gráfico 5

► Consumo final total versus intensidade energética final, 10<sup>3</sup> TJ e GJ/MUSD constantes de 2010



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Define-se como a relação entre o consumo final de energia e o PIB a USD constantes de 2010.

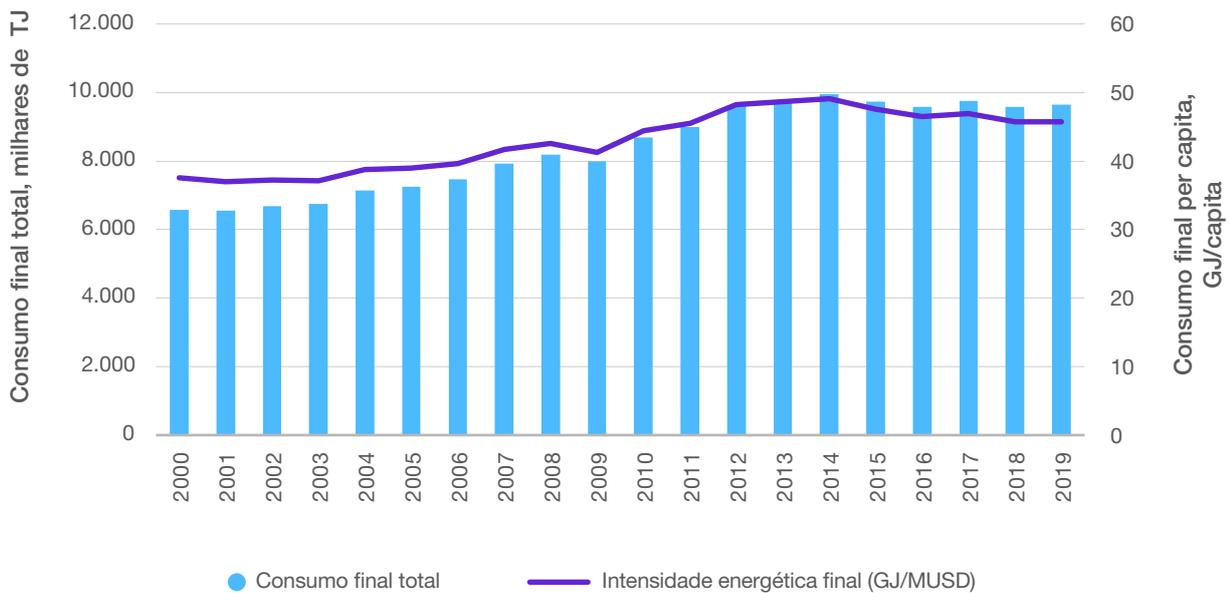
<sup>3</sup> Dados sobre intensidades energéticas calculadas internamente no sistema, com dados do PIB do Banco Mundial e consumo de energia dos balanços energéticos nacionais.

## Consumo per capita

O crescimento do consumo final de energia per capita foi inferior ao do consumo final total no período entre 2000 e 2019 (2,4% vs. 1,1%) e abrandou desde 2014.

Gráfico 6

► Consumo final total versus consumo final per capita, 10<sup>3</sup>TJ e GJ per capita



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do sieLAC, OLADE.



## Preços locais

Os seguintes preços ao consumidor final correspondem ao Brasil. Tanto para a eletricidade como para o gás natural e outros combustíveis, estes preços estão próximos da média da região, com exceção do óleo combustível que, tal como no Peru, apresenta preços elevados em comparação com o resto da região.

**Tabela 2**

► Preços dos principais energéticos do Brasil, corte 2018

Energético	ICMS %	Impostos especiais <sup>4</sup>	Preço
Eletricidade (residencial)	-	Sim	187,0 USD/MWh
Eletricidade (comercial)	-	Sim	169,1 USD/MWh
Eletricidade (industrial)	-	Sim	161,5 USD/MWh
GLP (residencial)	-	Sim	1,32 USD/kg
Gasolina regular	21%	-	1,14 USD/l
Diesel	21%	-	0,90 USD/l
Óleo combustível	-	Sim	0,66 USD/l

Fonte: OLADE - <https://www.olade.org/publicaciones/precios-de-la-energia-en-america-latina-y-el-caribe-informe-anual-abril-2021/>

<sup>4</sup> O imposto especial de maior peso é o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e de Comunicação Intermunicipal (ICMS) que, dependendo do produto transportado e do estado considerado, pode chegar a 25%. Os demais impostos especiais aplicados aos produtos energéticos somam menos de 5% do valor.



## Aspectos energéticos

### Reservas e oferta total de combustíveis (produção, importação e exportação)

O Brasil possui recursos energéticos significativos, especialmente petróleo, urânio e energia hidrelétrica. A energia hidrelétrica representa uma parte significativa da produção de eletricidade. Ao final de 2021, o Brasil era o segundo país do mundo em capacidade hidrelétrica instalada. Também possui grande potencial eólico e solar.

Em relação ao seu recurso solar, segundo a plataforma Global Solar Atlas, o Brasil apresenta valor de 1.694 kWh/kWp para os 10% das áreas com maior produção fotovoltaica e média de 1.606 kWh/kWp. Para referência, o recurso global para 10% principais áreas irradiadas é fixado em 1.736 kWh/kWp e o recurso global médio é fixado em 1.576 kWh/kWp. A maior concentração de recursos solares encontra-se nas regiões centro e nordeste do país.

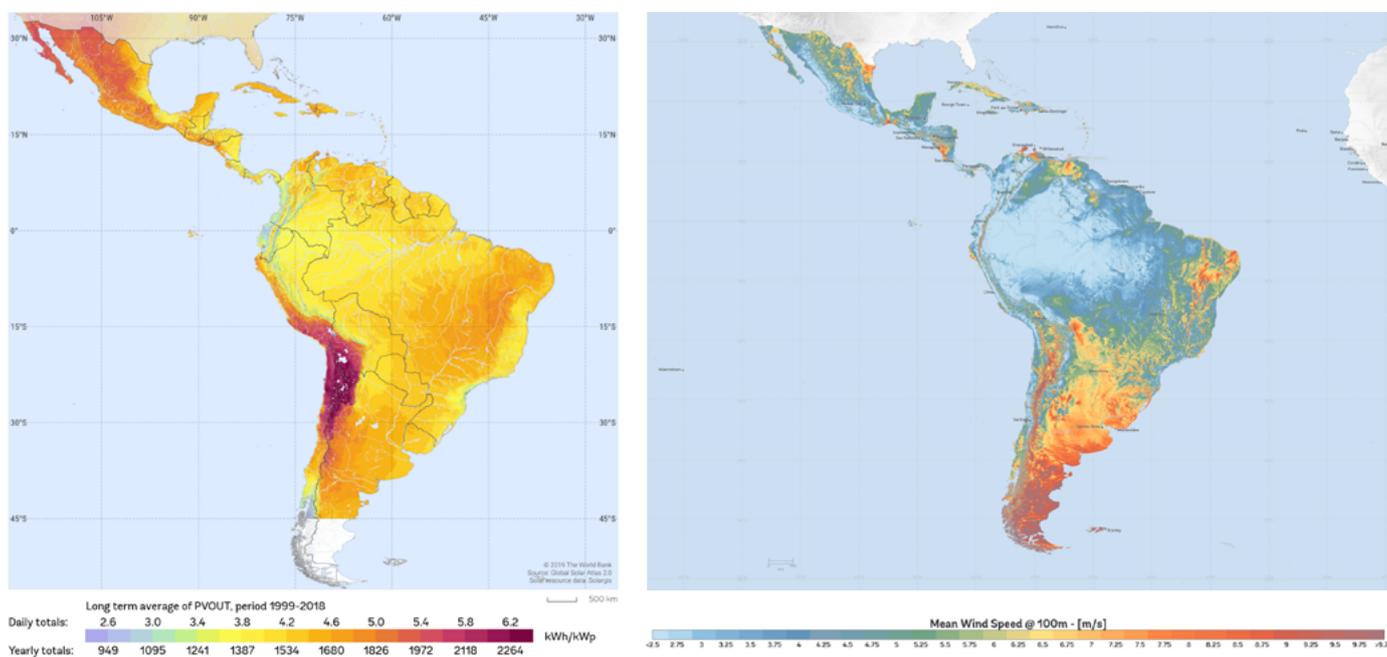
Por outro lado, de acordo com o Atlas Mundial do Vento, o recurso eólico do Brasil para os 10% das áreas mais ventosas é igual ou superior a 326 W/m<sup>2</sup>, onde a velocidade média do vento a 100 metros é igual ou superior a 7 m/s. A Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) estimou o potencial bruto do recurso eólico onshore do Brasil em cerca de 500 GW, com fator médio de usina superior a 40%, atingindo valores próximos a 60% e 70% na região Nordeste do país. Além disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que, para áreas com velocidades de vento superiores a 7 m/s a 100 m de altitude, há potencial para 697 GW adicionais em recursos *offshore* em áreas locais com profundidades marítimas profundas em até 50 m<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> EPE, *Roadmap Eólica Offshore Brasil*, 30 de abril de 2020 (<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-eolica-offshore-brasil>)

O gráfico 7 ilustra os recursos solares e eólicos na América Latina e o Caribe.

**Gráfico 7**

► **Recurso solar potencial (kWh/kWp) e velocidade média do vento a 100 m (m/s)**



Fonte: Global Solar Atlas (Banco Mundial)<sup>6</sup> e Atlas Eólico Mundial (Banco Mundial)<sup>7</sup>.

A capacidade de refino do Brasil permite abastecer a maior parte do seu consumo interno. O Brasil também é considerado líder internacional em biocombustíveis e é o segundo maior produtor de etanol do mundo.

<sup>6</sup> Global Solar Atlas, Grupo do Banco Mundial, <https://globalsolaratlas.info/download/latin-america-and-caribbean>

<sup>7</sup> [ws\\_LAC.pdf](#)

**Tabela 3**

► Reservas de combustíveis, potencial hidrelétrico e infraestruturas, 2019, Brasil

Reservas				Potenciais	Capacidade instalada	
Petróleo	Gás natural	Carvão mineral	Urânio	Hidroenergia	Refino	Geração elétrica
						
12.714	364	6.596	12.652	260,1	2.411	172,3
Mbbl	Gm <sup>3</sup>	Mt	10 <sup>6</sup> bep	GW	kbbl/dia	GW

Fonte: sieLAC, OLADE.

**Tabela 4**

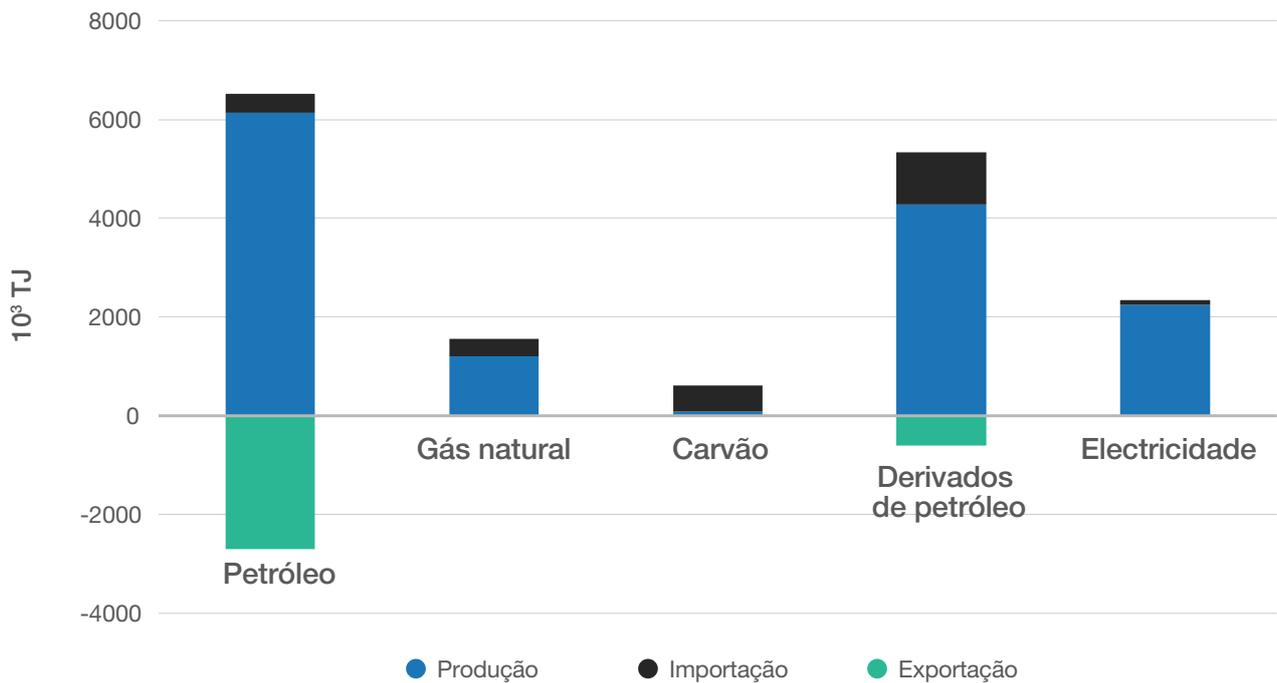
► Recursos eólico e solar, Brasil

Recursos		
Eólico (10% das áreas com mais vento)	Solar (media)	Solar (10% maior produção)
		
7,02	1.606	1.694
m/s	kWh/kWp	kWh/kWp

Fonte: Elaboração própria baseada na PV Magazine - Latinoamérica, ABEEólica e EPE.

**Gráfico 8**

► **Produção, importação e exportação por principais fontes, 2019, 10<sup>3</sup>TJ**



Fonte: Elaboración propia con base en datos del sieLAC, OLADE.

O Brasil é o primeiro produtor de petróleo da América Latina (9º produtor do mundo em 2021). Exporta pouco menos de metade da sua produção de petróleo. Consome localmente a sua produção de gás natural e importa o volume que falta para satisfazer a sua demanda. As importações vêm da Bolívia e da Argentina ou de países mais distantes (GNL). O Brasil possui reservas de carvão, mas é principalmente um importador de carvão. Por outro lado, possui a sexta maior reserva de urânio do mundo.

No âmbito elétrico, a maior parte das trocas com países vizinhos que possuem infraestruturas elétricas (Argentina, Bolívia, Paraguai, Uruguai e Venezuela<sup>8</sup>) são - em geral - trocas de oportunidade<sup>9</sup>, dependendo dos excedentes e carências que ocorrem em cada país e dos seus preços. Os volumes de troca por meio de linhas de transmissão de energia elétrica são pequenos se comparados ao tamanho do sistema de geração brasileiro. Em vez disso, há uma troca através das centrais binacionais<sup>10</sup>.

No âmbito global, o Brasil tem um balanço de importação/exportação de energia próximo ao equilíbrio. É levemente exportador líquido de energia<sup>11</sup>.

As suas reservas comprovadas de gás natural e petróleo permaneceram estáveis nos últimos anos, enquanto as reservas de carvão diminuíram entre 2000 e 2010, permanecendo depois estáveis.

**8** No caso da Venezuela, uma linha de transmissão de 230 kV com capacidade de 200 MW liga a cidade de Boa Vista (Roraima, Brasil) à cidade de Santa Elena (Venezuela). Até o momento, Boa Vista não está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Existe um contrato de fornecimento com valores e preços estabelecidos.

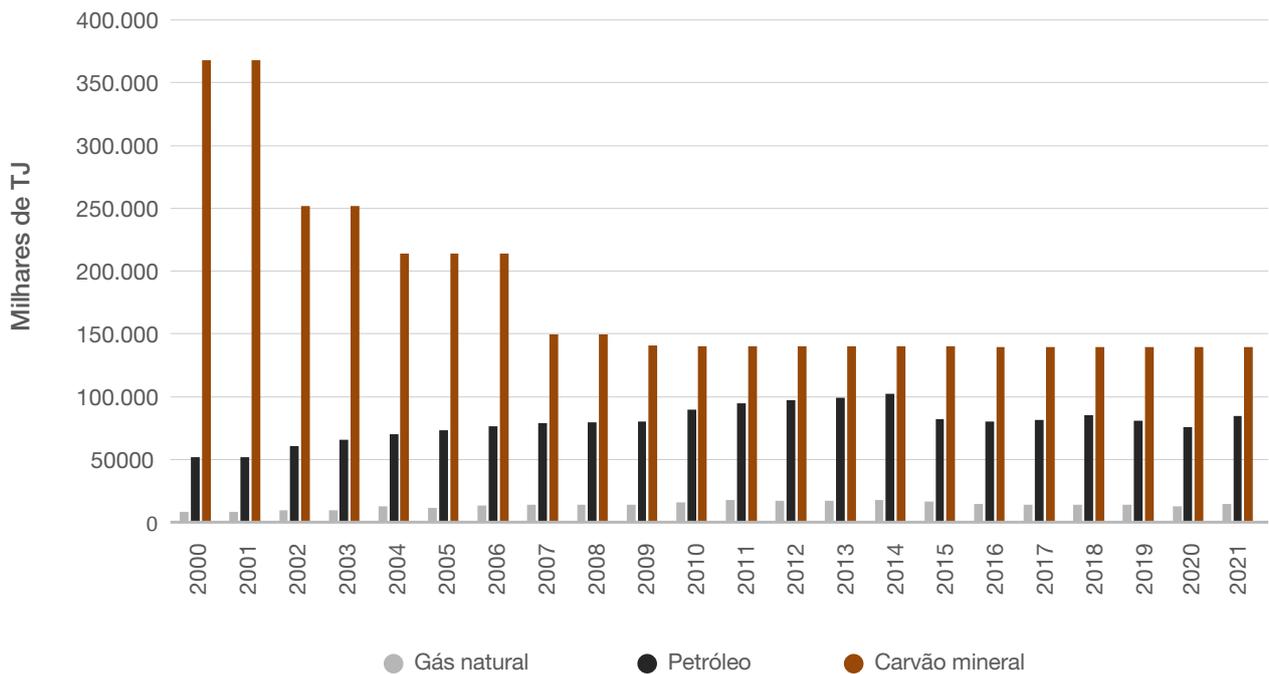
**9** Com exceção do caso das permutas relacionadas à produção da hidrelétrica de Itaipú entre o Paraguai e o Brasil (50% da capacidade total da usina) e as permutas que correspondem a um contrato onde o Brasil realizou a totalidade do investimento na usina, central e o Paraguai entrega a energia como contrapartida ao capital emprestado pelo Brasil.

**10** Até 2022, 50% da produção elétrica de Itaipu que correspondia ao Paraguai será enviada ao sistema brasileiro como parte do pagamento do investimento feito pelo Brasil. A usina produz 5 vezes a demanda energética do Paraguai; portanto, espera-se que a energia produzida na usina seja destinada ao mercado brasileiro, sendo a única importante troca de energia entre o Brasil e algum de seus vizinhos com ligações elétricas.

**11** Desde 2017, o seu índice de dependência energética externa (razão entre o total das importações de energia menos o total das exportações dividido pela oferta total de energia) é negativo e aproximou-se dos -6% em 2019.

Gráfico 9

► Evolução das reservas provadas de petróleo, gás natural e carvão, 10<sup>3</sup> TJ



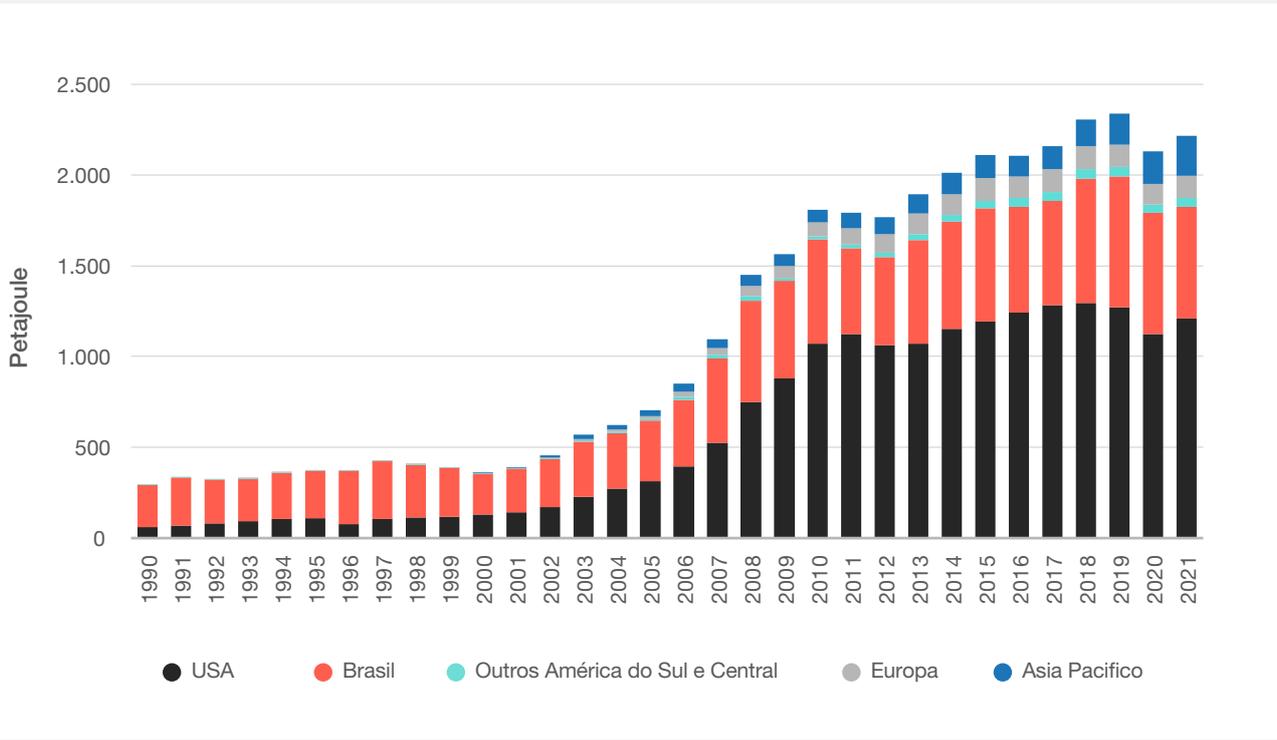
Fonte: sieLAC, OLADE.

O Brasil é um produtor global de biocombustíveis, especialmente bioetanol. É o segundo maior produtor do mundo, depois dos Estados Unidos, que o produz a partir do milho, enquanto o Brasil o produz a partir da cana-de-açúcar.

O desenvolvimento do bioetanol em larga escala foi um esforço conjunto de desenvolvimento de longo prazo da indústria sucroalcooleira e da indústria automotiva. Esta indústria desenvolveu um motor de ciclo Otto (motor Flex) especialmente adaptado para a utilização de gasolina de origem hidrocarbonada misturada com proporções adicionais de álcool anidro ou hidratado até 100%, ou de álcool 100% hidratado sem mistura com qualquer tipo de gasolina. A gasolina de origem hidrocarbonada pode conter até 25% de etanol anidro.

**Gráfico 10**

► **Brasil, segundo produtor mundial de bioetanol combustível**



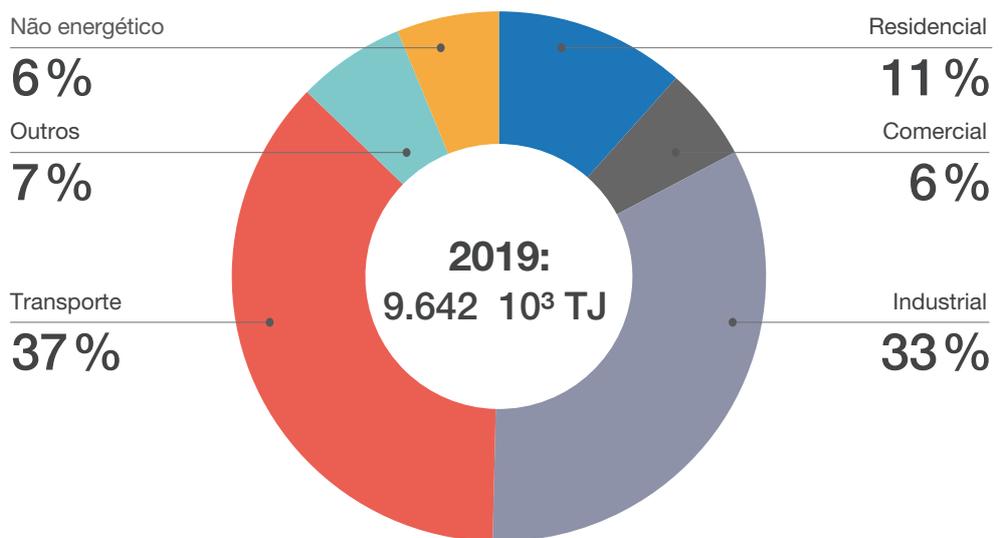
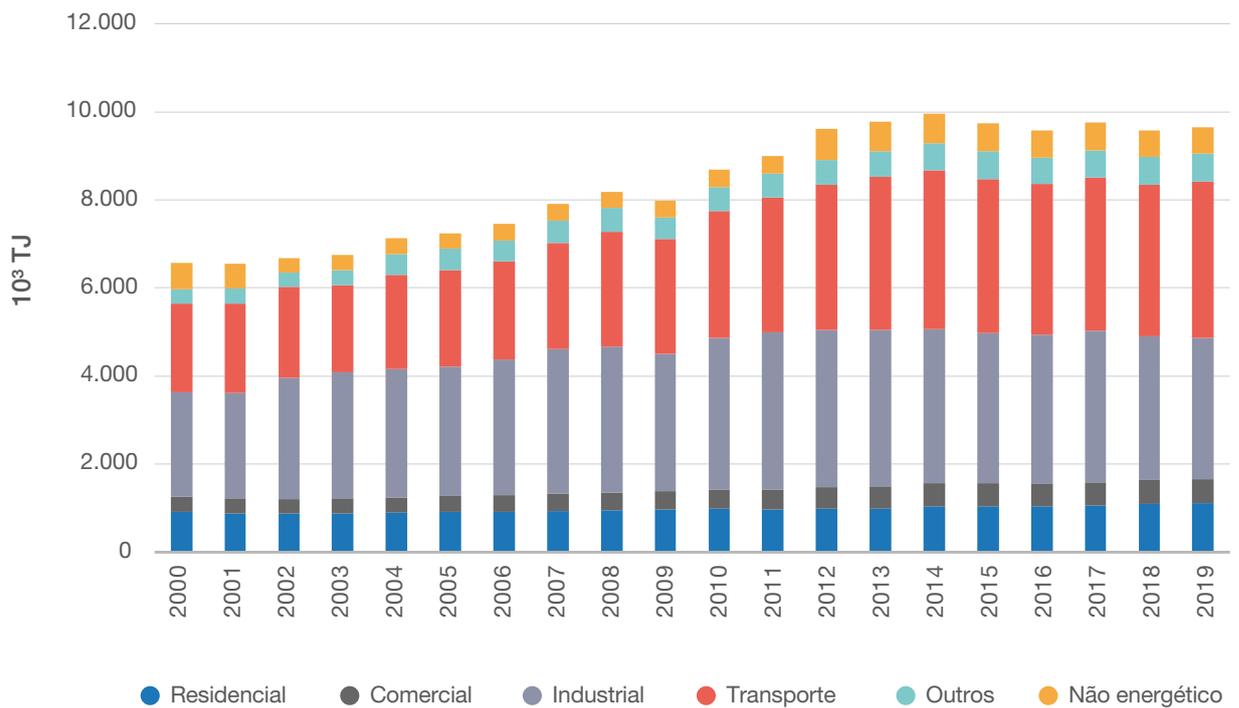
Fonte: Elaboração própria baseada em dados do BP Statistical Review of World Energy 2022 e OPEC Annual Statistical Bulletin 2022.

## Consumo final por fontes e setores

Os transportes foram o setor com maior consumo em 2019 e o seu peso relativo aumentou nos últimos 20 anos de 31% para 37%. O setor industrial representa cerca de um terço do consumo final; o seu peso relativo diminuiu ligeiramente, de 36% para 33%. A demanda residencial tem um peso muito menor no consumo final total.

**Gráfico 11**

► Consumo final por setores, 10<sup>3</sup> TJ e %

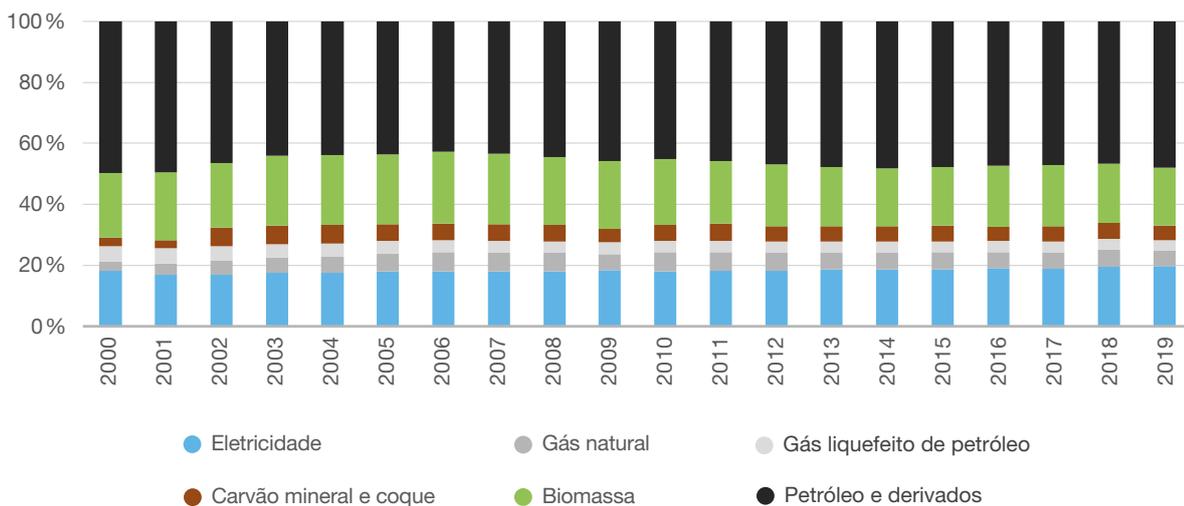


Fonte: Elaboração própria baseada em dados do SiELAC, OLADE.

Por fonte, o peso relativo de cada fonte manteve-se bastante estável no período entre 2000 e 2019. O petróleo e seus derivados correspondem a perto de metade do consumo final total. A biomassa<sup>12</sup> desempenha um papel mais significativo em comparação com outros países da região, enquanto o gás desempenha um papel menor.

**Gráfico 12 A**

► Consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ e %

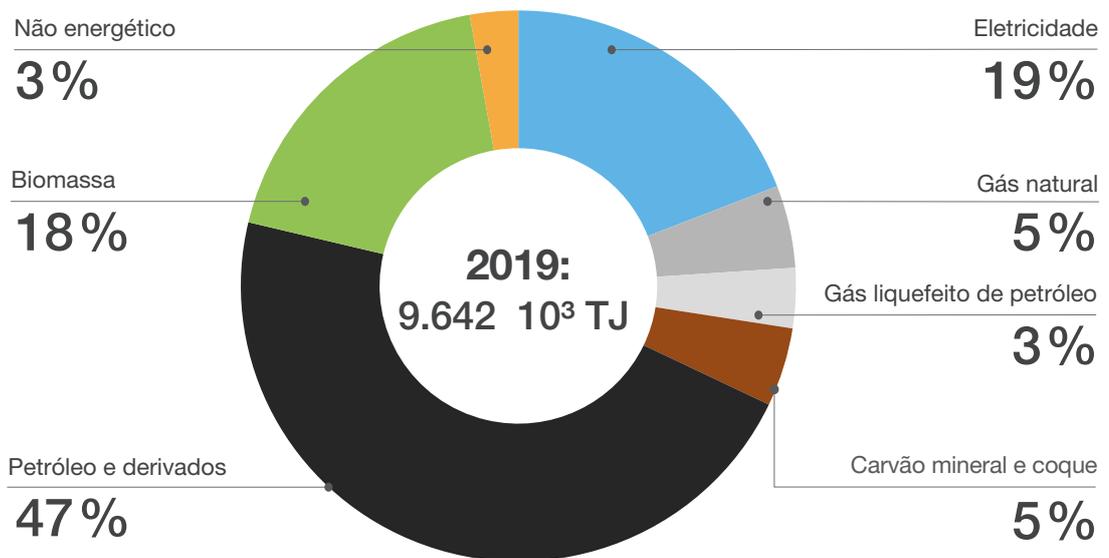


**Fonte:** Elaboração própria baseada em dados do sieLAC, OLADE. A categoria 'não energético' não está incluída na evolução histórica. A categoria 'Petróleo e derivados' inclui gasolina/álcool.

<sup>12</sup> Diferentemente de outros países da região, no Brasil existem diversas indústrias que geram biomassa para uso energético, como a indústria florestal e a indústria açucareira.

**Gráfico 12 B**

► Consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ e %



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.



## Perfil climático

### Cenários de mudança climática e riscos para o setor energia

O Brasil é caracterizado por um clima predominantemente tropical (ou subtropical no Sudeste) e um grande potencial hidrográfico (utilizado principalmente para produção de eletricidade, transporte e irrigação).

As hidrelétricas estão distribuídas em inúmeras bacias hidrográficas em diversas regiões do país. Alguns dos principais rios do Brasil incluem o Amazonas, o segundo maior rio do mundo e o maior em termos de volume de água; o Paraná e seu principal afluente, o Iguaçu, que inclui as Cataratas do Iguaçu; o preto; São Francisco e os rios Xingu, Madeira e Tapajós. A produção hidrelétrica apresenta certa inércia no Brasil devido à presença de grandes reservatórios cuja otimização é plurianual em alguns casos<sup>13</sup>. Entretanto, no Brasil, a capacidade de regulação hidrelétrica global é menor (em proporção) a décadas anteriores devido à entrada em serviço de grandes centrais de passada e de uma quantidade mais limitada de centrais hidrelétricas com reservatórios<sup>14</sup>.

O índice de risco climático global (IRC) indica o nível de exposição e vulnerabilidade a fenômenos climáticos extremos. No período entre 2000 e 2019, o Brasil ficou em 81º lugar entre 180 países (a posição 1 é a posição com maior exposição e vulnerabilidade).

De acordo com o estudo *Índice de Vulnerabilidade a Desastres Naturais de Seca no Contexto da Mudança do Clima*<sup>16,17</sup>:

<sup>13</sup> O maior reservatório em termos de volume útil é o de Serra da Mesa (cerca de 43.250 hm³).

<sup>14</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544214011888>

<sup>15</sup> O IRC é composto por quatro indicadores: número de óbitos; número de óbitos por 100 mil habitantes; soma das perdas em dólares americanos em paridade de poder de compra e perdas por unidade de PIB. A classificação final considera estes indicadores com pesos diferentes e num período de 20 anos. <https://www.germanwatch.org/en/19777>

<sup>16</sup> <https://www.wwf.org.br/?59423/IVDNS-ndice-de-Vulnerabilidade-a-Desastres-Naturais-de-Seca-no-Contexto-da-Mudana-do-Clima>

<sup>17</sup> <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

[...] Em uma sub-bacia do rio Amazonas (um dos hotspots de produção hidrelétrica no Brasil), o potencial hidrelétrico da estação seca deverá diminuir entre -7,4% e -5,4% em relação às condições históricas de referência de acordo com o cenário RCP4.5 (Arias et al., 2020). Na Bacia do São Francisco, no Brasil, a produção hidrelétrica deverá diminuir de -15% a -20% até 2100 no cenário A1B do IPCC (Jong et al., 2018), o que afetará a produção hidrelétrica.

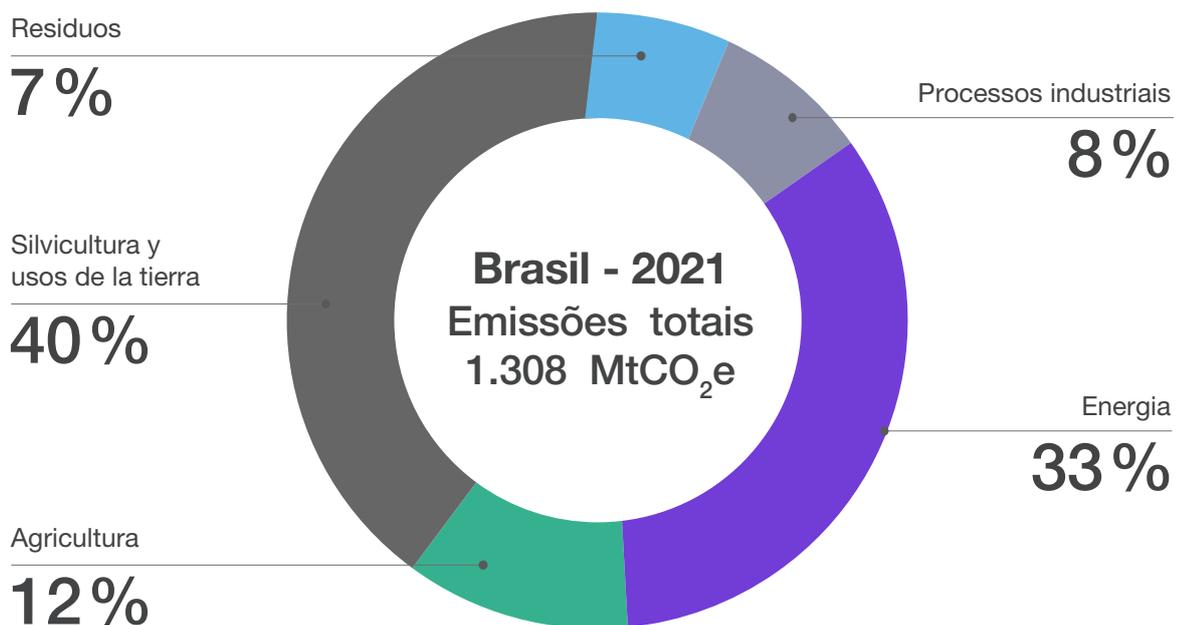
Por outro lado, para o setor energético, os outros riscos potenciais associados às alterações climáticas incluem o aumento da demanda de energia para ar-condicionado, uma eventual redução da produção solar e eólica em algumas regiões do país, uma diminuição da produção agrícola utilizada em a produção de biocombustíveis e eventuais riscos para a infraestrutura energética relacionados com eventos climáticos extremos (tempestades, inundações, etc.), entre outros.

Devido ao perfil climático do país e, dependendo do cenário climático, poderá ser necessário desenvolver mais projetos de geração de energia renovável para compensar as reduções estimadas na produção hidroelétrica, solar ou eólica e garantir o cumprimento futuro dos compromissos nacionais de redução de emissões energéticas.

## Contribuição GEE ano base

De acordo com o último Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (INGEE), as emissões líquidas totais em 2021 foram de 1.308 MtCO<sub>2</sub>e, das quais 33% corresponderam ao setor energético (ou seja, emissões provenientes da queima de combustíveis e correspondentes emissões fugitivas), 40% para a silvicultura e outros usos da terra (representativos do desmatamento, entre outras coisas) e 12% para o setor agrícola.

Gráfico 13

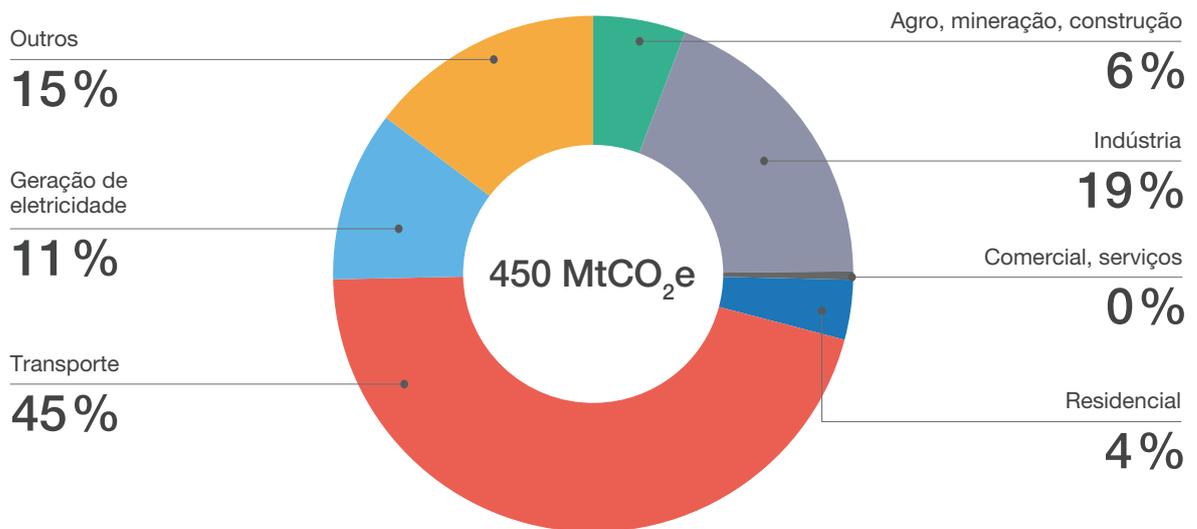
► Emissões totais líquidas, MtCO<sub>2</sub>e

Fonte: Elaboração própria baseada no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2021).

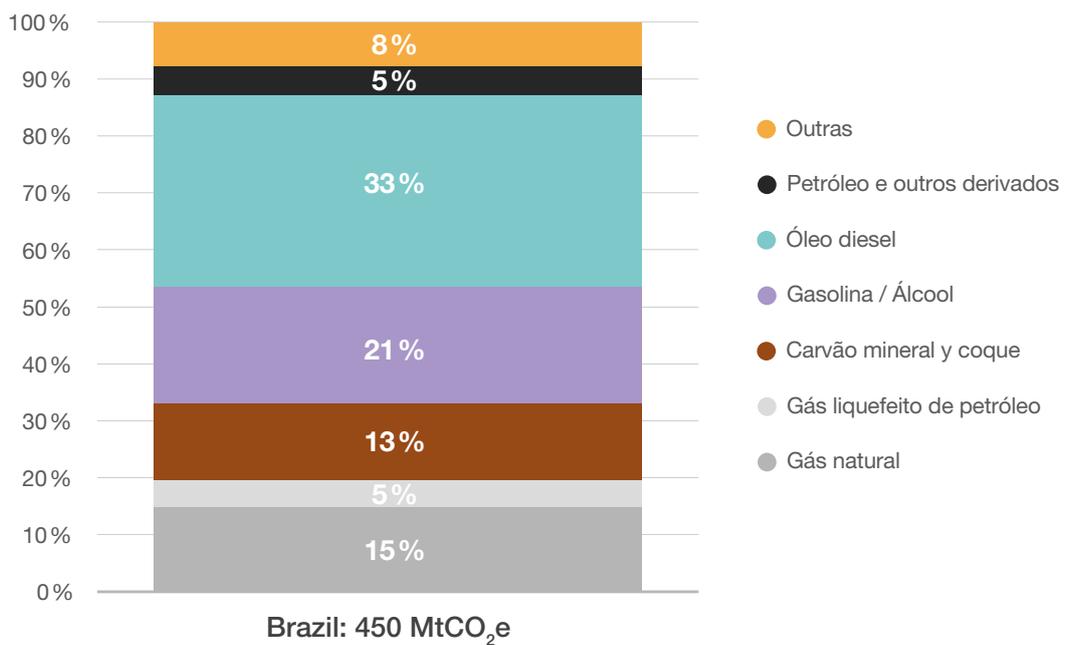
Olhando especificamente para o setor energético (emissões resultantes da queima de combustíveis e emissões fugitivas), é possível analisar as emissões por setor e por fonte. Os dados do gráfico 14 provêm de uma estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> realizada pela Organização Latino-Americana de Energia (OLADE) (sieLAC).

**Gráfico 14**

► Emissões estimadas do setor energético, por setor e por fonte, MtCO<sub>2</sub>e, 2019



### Emissões por fonte



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.

O setor dos transportes é responsável por quase metade das emissões relacionadas com a energia. O diesel e a gasolina são os principais combustíveis consumidos pelo setor. Na segunda posição, a indústria explica 19% das emissões do setor, principalmente devido à queima de carvão mineral e derivados de petróleo. As emissões do setor de geração de eletricidade são limitadas pela sua composição.

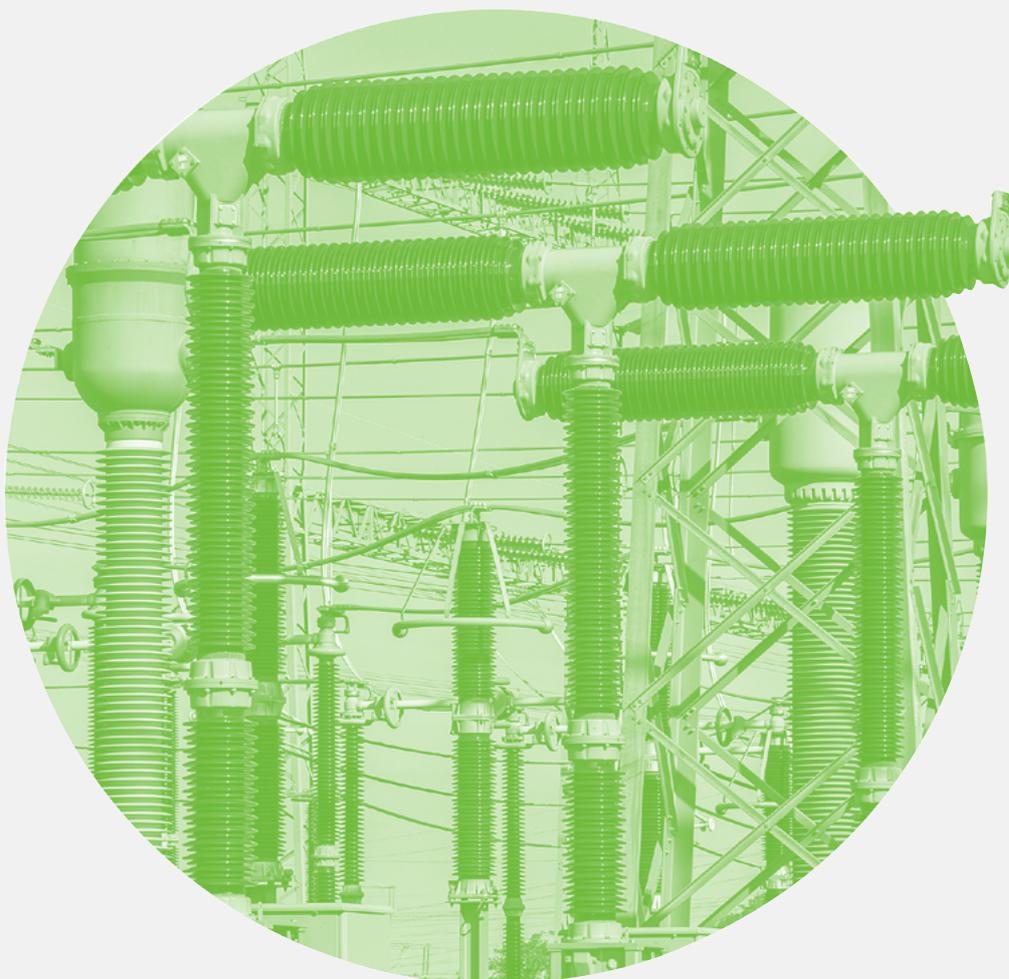
## Compromissos nacionais (NDC e Acordo de Paris)

Com relação aos compromissos de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, destacam-se os seguintes elementos:

- O Brasil apresentou uma segunda atualização das contribuições nacionalmente determinadas (NDC) em 2022; esta atualização melhora os objetivos de emissões em comparação aos apresentados em 2020. No entanto, essas contribuições não excedem as metas apresentadas originalmente em 2016. De acordo com a NDC 2022, o Brasil se compromete a:
  - o reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 37% em 2025 em comparação com 2005 e
  - o reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 50% em 2030, em comparação com 2005.
- Plano Nacional de Adaptação. Este plano inclui 55 tipos de políticas, planos e programas governamentais para diferentes setores.
- O Brasil assinou o Acordo de Paris; portanto, compromete-se a “reduzir substancialmente as emissões de gases com efeito de estufa para limitar

o aumento da temperatura global neste século a 2°C e esforçar-se para limitar ainda mais este aumento, a apenas 1,5°C. Na prática, compromete-se a alcançar a neutralidade carbónica até 2050”.

A Lei nº 12.187 (2009) estabelece a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil e inclui seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. Por outro lado, o Plano de Expansão da Geração Elétrica contém as ações previstas para cumprir a meta de emissões do setor energético.



“O setor de transporte compreende cerca de metade das emissões de origem energética. O diesel e a gasolina são os principais combustíveis que o setor consome.”

## 2. Aspectos institucionais, regulatórios e de políticas públicas



### Governo setorial

A tabela 5 inclui uma lista das principais instituições do setor energético.

**Tabela 5**

► Mapeamento de instituições do setor energético

Instituição	Função
Ministério de Minas e Energia (MME)	Definição de políticas dos setores petróleo, gás e elétrico
Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	Planejamento dos setores petróleo, gás e elétrico
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Expansão do mercado elétrico, regulação do mercado elétrico
Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)	Expansão do mercado de combustíveis, regulação do petróleo e gás
Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)	Administrador do mercado elétrico

Fonte: Elaboração própria.



## Principais conceitos regulatórios

A Tabela 6 indica a existência de regulação de preços e de mercado competitivo e de livre acesso para cada setor e segmento energético.

**Tabela 6**

► Principais conceitos regulatórios por setor e segmento

Setor	Segmentos	Regulação de preços	Mercado
Elétrico	Geração Distribuição Transmissão Marketing	Transmissão Distribuição e marketing de varejo	Competitivo em geração e marketing atacadista Acesso gratuito em todos os segmentos da rede
Gás natural	Exploração e aproveitamento Transporte Distribuição Marketing	Preços de referência estabelecidos pela ANP para petróleo e seus derivados nos segmentos de transporte, distribuição e marketing de varejo	Competitivo na produção e marketing no atacado Acesso gratuito em todos os segmentos da rede
Petróleo	Exploração y exploração Transporte Refinação Distribuição e comercialização	Preços de referência estabelecidos pela ANP para petróleo e seus derivados	Competitivo com liderança da Petrobras Refinação fortemente dominada pela Petrobras
Carvão	Exploração Comercialização		Livre fixação de preços

Fonte: Elaboração própria.



## Aspectos de políticas públicas

### Políticas de eficiência energética

O Brasil trabalha em aspectos de eficiência energética há mais de 40 anos. O Programa Brasileiro de Etiquetagem, criado em 1984, institui a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), de caráter voluntário ou obrigatório. Este programa, ainda em vigor, visa induzir a escolha por produtos mais eficientes. A partir de 2003, o programa de rotulagem foi alargado aos aparelhos a gás (fornos e esquentadores).

Em 1985, foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) administrado pela Eletrobrás, cujo objetivo é realizar estudos, treinamentos e programas de eficiência energética.

Nos transportes, em 1991, foi desenvolvido o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), que tem como objetivo principal incentivar o uso de combustíveis fósseis.

Em 2000 foi aprovada a Lei nº 9.991/2000, que criou o Programa de Eficiência Energética (PEE) administrado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e, em 2001, foi aprovada a Lei de Eficiência Energética (10.295/2001) que estabelece índices mínimos de eficiência energética para equipamentos comercializados no Brasil e edificações. Essa lei instituiu o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), coordenado pelo MME e formado por representantes de instituições governamentais e da sociedade.

Em 2011, a Lei nº 10.295 instituiu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Todas estas políticas estão refletidas no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEE) que indica ações e diretrizes específicas destinadas a promover a eficiência energética. Este programa está alinhado com o NDC.

As principais políticas, medidas e programas de eficiência energética estão brevemente descritos na tabela 7.

Tabela 7

## ► Eficiência energética no Brasil

Aspecto	Conceito	Avanço do país
Regulamentação de rotulagem	Setor	Construção, comércio e indústria.
	Programa	Programa Brasileiro de Rotulagem que inclui eletrodomésticos, motores, aparelhos a gás.
	Padrões mínimos de eficiência energética (MEPS, por suas siglas em inglês)	Sim, existem leis que estabelecem eficiência mínima em motores trifásicos, lâmpadas fluorescentes e motores em geral.
Políticas setoriais	Setor público	✓
	Transporte	✓
	Residencial	✓
	Comércio e indústria	✓
Fundo de eficiência energética	Tipo	
	Nome	
	Outros	Recursos financeiros específicos para a implementação de políticas de eficiência energética.
Promoção e mudança cultural	Rotulagem	✓
	Programas de treinamento e workshops para o setor público e privado	
	Promoção de programas e campanhas de divulgação e demonstração	
	Participação social, consultas e acesso à informação pública	✓
	Inclusão da eficiência energética nos programas de estudo	
	Prêmios, distinções e/ou reconhecimentos pela eficiência energética.	

Fonte: Documento *Leis de Eficiência Energética na América Latina e o Caribe*, OLADE.

## Políticas de preços, subsídios e incentivos

### Subsídios e impostos sobre os preços de combustíveis

#### Impostos sobre os combustíveis

Os impostos aplicados aos combustíveis são os detalhados a seguir.

- a.** Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS). O objetivo da aplicação desse imposto é financiar o desenvolvimento social do Brasil. A alíquota da COFINS é de 3% (artigo 8º da Lei nº 9.718, de 1998).
- b.** Contribuição para o Programa de Integração Social (PIS) e contribuição para o Programa de Formação Patrimonial do Servidor Público (PASEP). A alíquota de contribuição para o PIS/PASEP (faturamento/Renda Bruta) é de 0,65% (inciso I, art. 8º da Lei n.º 9.715, de 25 de novembro de 1998; Medida Provisória [MP] n.º 1.807, de 28 de janeiro de 1999).
- c.** Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira (CPMF). A contribuição provisória sobre movimentação ou transmissão de valores mobiliários, crédito e dinheiro de natureza financeira incide sobre a alíquota de 0,38% prevista na Lei nº 9.311, de 24 de novembro de 1996, e modificada pela Lei nº 9.539, de 12 de dezembro de 1997 e suas alterações.
- d.** Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte de Comunicações Interestaduais e Intermunicipais (ICMS). Este imposto corresponde ao tipo de imposto sobre o valor acrescentado. É um imposto que incide no Brasil sobre a circulação de mercadorias e serviços, incluindo a importação e exportação de mercadorias. A alíquota de ICMS incidente sobre produtos energéticos varia de acordo com o combustível considerado e o estado brasileiro em que o consumidor final está localizado. No caso da importação de gasolina, diesel e etanol, é aplicada alíquota de 18% na maioria dos estados brasileiros. No caso do consumo local de combustíveis, a alíquota geral de 25% do ICMS é imposta na maioria dos estados.

- e. Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) sobre combustíveis instituída pela Lei nº 10.336, de 19 de dezembro de 2001. Embora o imposto esteja em vigor, sua alíquota atualmente é de 0%.

### Subsídios

Não há subsídios relatados para os preços dos combustíveis no Brasil. É importante indicar que há dispensas de recolhimento de impostos COFINS, PIS e CIDE, o que implica reduções nas alíquotas gerais destes impostos<sup>18</sup>.

## Subsídios e impostos às tarifas

O mercado atacadista brasileiro possui uma conta de desenvolvimento energético (CDE)<sup>19</sup> que a ANEEL estima de forma anual e funciona como fonte de uma série de programas de subsídios cruzados explícitos. Mediante esta conta, financia-se:

- o custo do combustível para áreas isoladas;
- o custo das taxas sociais, rurais e de irrigação dos serviços de água potável;
- o custo de promover a geração distribuída;
- suporte para pequenos distribuidores.

<sup>18</sup> Em 2022, havia subsídios ao GPL destinados às camadas mais carentes da população; também foi subsidiado o programa Auxílio Combustível Brasil, que oferece subsídios específicos para mães solteiras e famílias de baixa renda para serviços de transporte.

<sup>19</sup> <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrjoiY2Q1YjdlZTEtMzQ2ZS00OTIyLTU0ODctZDY2NTRhMD-FhMmFjliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>

## Incentivos para as energias renováveis

Nos últimos anos, os projetos de energias renováveis têm beneficiado de vários incentivos regulatórios para incentivar o seu desenvolvimento através de programas específicos (por exemplo, Proinfa) ou descontos em tarifas e leilões específicos de energia.

### **Generação distribuída**

Desde 17 de abril de 2012, quando foi emitida a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, os clientes brasileiros podem gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou autogeração qualificada, e ainda vender o excedente para a rede local.

A norma visa regular a eletricidade produzida pelos consumidores por meio de painéis solares, autogeração ou outra forma de fornecimento de geração por clientes residenciais ou comerciais. O regulamento foi desenvolvido em resposta a alguns clientes que começaram a investir em painéis fotovoltaicos ou em cogeração.

### **Descontos em tarifas**

Os primeiros descontos nas tarifas de transmissão e distribuição de energia renovável foram definidos na Lei nº 9.427/1996. Em 2015, a Lei nº 13.203/2015 estabeleceu novos objetivos para redução das tarifas de transmissão e distribuição de instalações de energia renovável; essas metas foram revisadas novamente para usinas de energia solar em 2017.

Em 2021, a Lei nº 14.120/2021 definiu novas regras para o desconto da Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST). A lei reduz gradativamente o desconto. Esse desconto é concedido aos empreendimentos que obtiveram autorização de geração antes de março de 2022 e iniciaram operação em menos de 48 meses de sua outorga.

Além disso, foi criada uma categoria de consumidores livres, os consumidores “especiais”. Esses consumidores especiais podem adquirir energia no mercado livre se esta energia for produzida a partir de pequenas centrais hidrelétricas (capacidade inferior a 5 MW) ou usinas solares, eólicas ou de biomassa com capacidade inferior a 50 MW. Isso cria um mercado dedicado às energias renováveis.

### **Leilões a longo prazo**

Desde 2004, alguns leilões têm como alvo específico as energias renováveis, especialmente Leilões de Fontes Alternativas (LFA), Leilões de Energia de Reserva (LER) e Leilões de Geração Distribuída.

Em 2007, 2010 e 2015, respectivamente, foram realizados três leilões de fontes alternativas com o objetivo de desenvolver fontes renováveis e fazê-las competir entre si e nove leilões de energia de reserva.

As fontes renováveis também provaram ser bem-sucedidas em leilões regulares, tais como leilões de “novas energias”, onde competem com outras tecnologias. Os preços oferecidos pelos projetos eólicos e solares são atualmente mais competitivos que os dos projetos hidrelétricos e térmicos.

## **Criação de um mercado de carbono**

---

Em maio de 2022, o governo federal publicou o Decreto nº 11.075, que estabelece os procedimentos para a elaboração de Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e cria o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE). O decreto estabelece que os Ministérios do Ambiente e da Economia desenvolvam planos setoriais de mitigação das alterações climáticas, que incluam objetivos específicos de emissões; também estabelece um roteiro para esse processo.

A Câmara dos Deputados do Brasil estuda o Projeto de Lei nº 412/2022 de 2022; O projeto tem meia sanção. O objetivo é regulamentar o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), que foca em grandes emissões e impõe um limite máximo de emissões de 10 mil tCO<sub>2</sub>e-ano por atividade.

Empresas que emitem mais de 10 mil tCO<sub>2</sub>e/ano estarão sujeitas ao controle da SBCE. As empresas com emissões entre 10.000 tCO<sub>2</sub>e por ano e 25.000 tCO<sub>2</sub>e por ano terão que apresentar ao órgão gestor da SBCE um plano de monitoramento de emissões e um relatório anual sobre emissões e absorções de gases. As atividades com emissões superiores a 25.000 tCO<sub>2</sub>e por ano terão também a obrigação de submeter à entidade gestora um relatório anual de reconciliação periódica de obrigações.

O projeto estabelece que as empresas que ultrapassarem o limite de 10 mil tCO<sub>2</sub>e por ano deverão adquirir créditos de carbono para compensar suas emissões. Por outro lado, as empresas que não ultrapassarem os limites poderão vender títulos no mercado.

Esses níveis de emissões poderão ser aumentados levando em consideração o impacto na rentabilidade da regulação e no cumprimento dos compromissos do Brasil com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC).

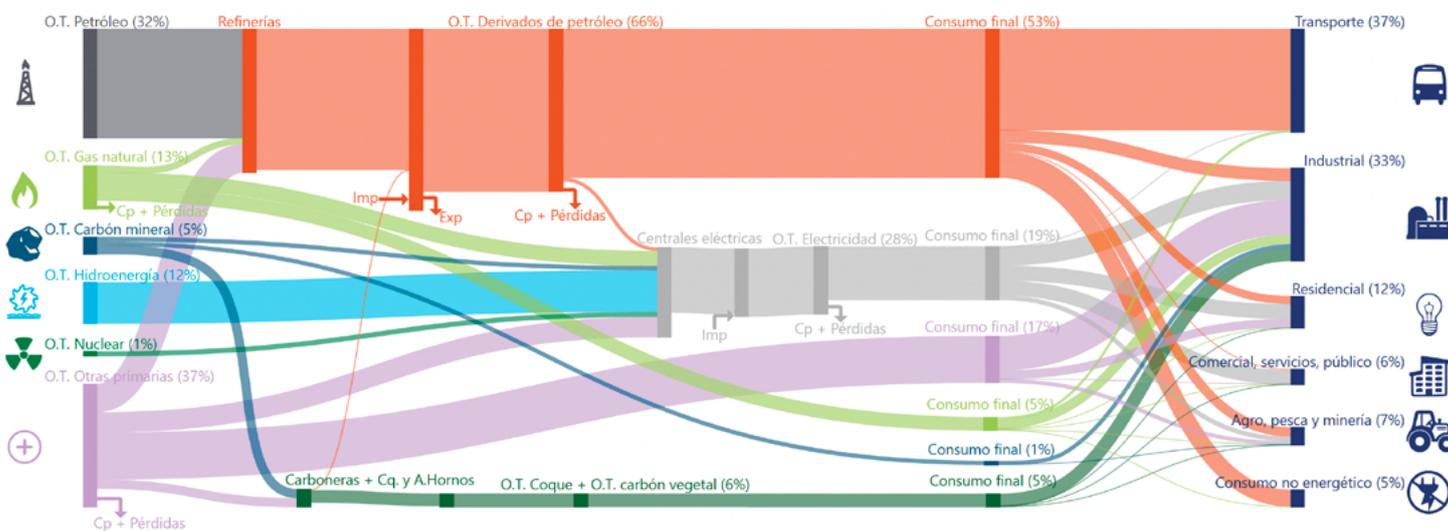
Além disso, o projeto de lei estabelece um mercado para créditos de carbono e a geração de créditos para reduções de emissões.

# 3. Balanço energético, 2019 e 2022

O balanço energético regista os fluxos energéticos desde a produção, exportação e importação de energia e transformação até o consumo final nos diferentes setores socioeconómicos durante um determinado período (um ano). O Gráfico 15 é uma apresentação gráfica (diagrama de Sankey) do ano de 2019, considerado ano base para este estudo.

Gráfico 15

Balanço energético, ano 2019



Fonte: Panorama energético de América Latina y el Caribe 2020, OLADE, noviembre de 2020

O balanço energético permite enxergar algumas das principais características do setor energético brasileiro de forma sintética:

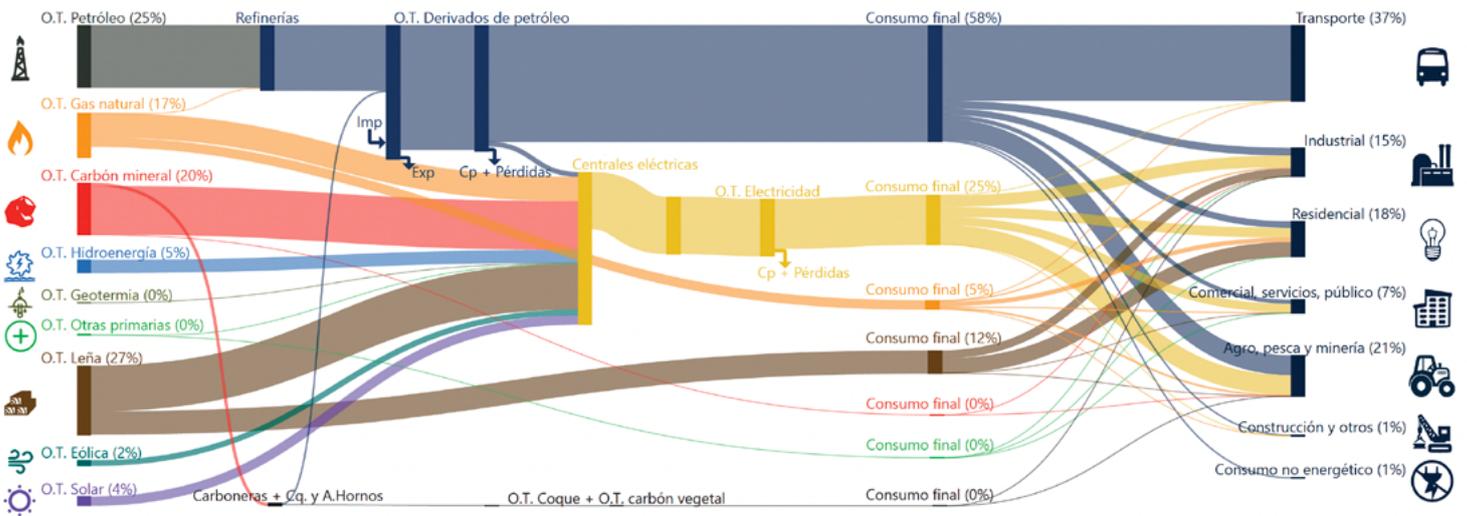
- a matriz energética brasileira é muito mais renovável que a global (49% versus 19%) devido ao papel predominante da biomassa (derivada da cana-de-açúcar), energia hidráulica e outras energias renováveis;
- o carvão e a energia nuclear desempenham um papel menor no fornecimento de energia primária (o Brasil é um dos poucos países da região que possui usinas nucleares);
- ou uma proporção significativa da produção hidroelétrica sobre a eletricidade total;
- o papel da eletricidade no consumo final ainda é limitado (19%);
- ou os setores com maior consumo final (transportes com 37% e indústria com 33%, muito acima dos restantes setores)

É também apresentado o último balanço energético disponível (ano 2022), que apresenta algumas ligeiras diferenças com o balanço energético de 2019:

- um maior peso do petróleo (36%) e um menor peso do gás (10%) em termos de oferta energética primária, e
- um maior peso do setor transporte (39%) e um menor peso do setor industrial (30%) em termos de consumo final.

Gráfico 16

Balço energético, ano 2022



Fonte: Panorama energético de América Latina y el Caribe 2020, OLADE, dezembro de 2023.

## 4. Evolução da demanda energética por setor e fontes

O balanço energético nacional permite visualizar a dinâmica do setor energético ao longo do tempo através da análise de séries temporais das principais variáveis que compõem a matriz energética do país e da comparação de estruturas e indicadores em diferentes anos de um período histórico.

---

Os próximos parágrafos incluem, além da demanda energética por fonte, dados adicionais necessários à caracterização desta demanda, como a distribuição da demanda por usos (balanço energético útil), a descrição da frota automóvel, a intensidade energética setorial, etc.



## Setor residencial

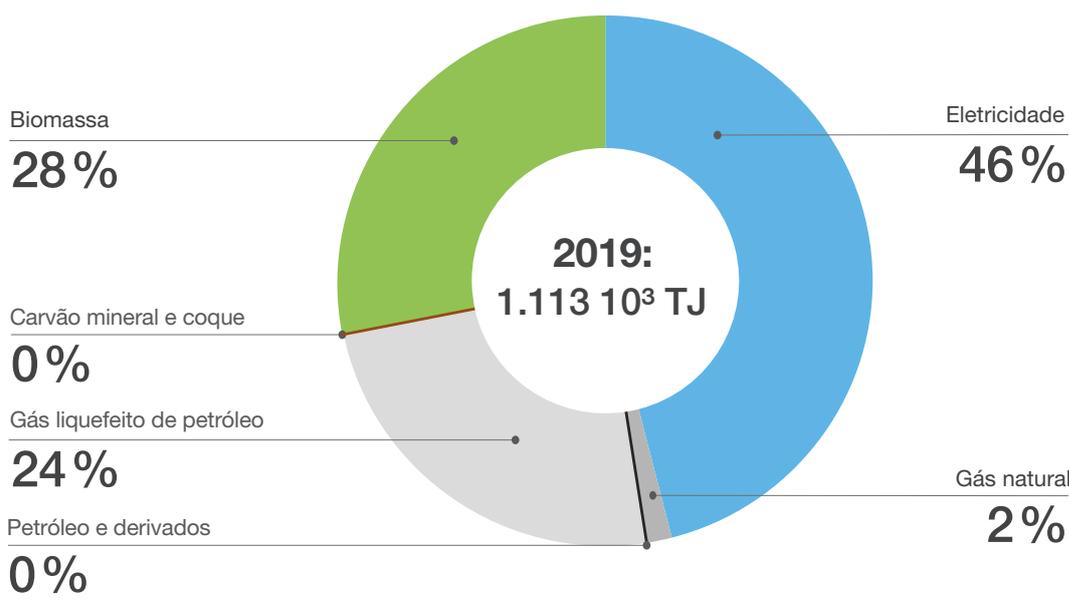
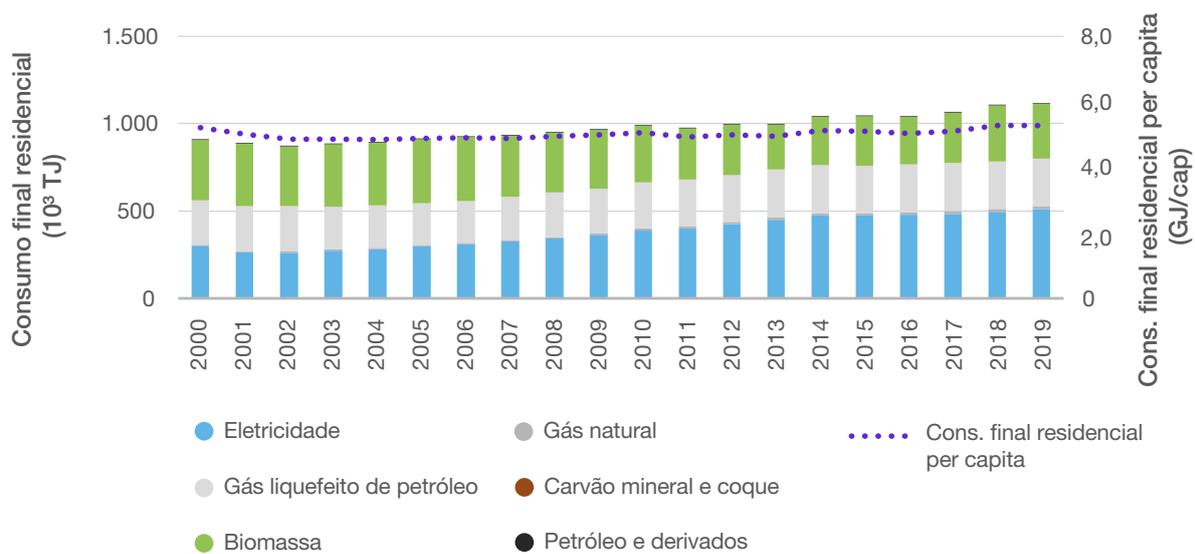
O consumo final residencial aumentou ligeiramente nos últimos 20 anos (de  $909 \cdot 10^3$  TJ em 2000 para  $1.113 \cdot 10^3$  TJ em 2019). Por fonte, podem ser destacadas as seguintes características:

- um aumento acentuado no consumo final de eletricidade, que passou de 33% para 46% no período do estudo. Um aumento interessante, embora ainda marginal, do consumo de gás natural, que quadruplicou a sua participação no consumo final de energia (de 0,5% em 2000 para 2% em 2019); porém, só atingiu  $17.103$  TJ em 2019;
- por outro lado, diminuiu a participação tanto da biomassa quanto dos derivados de petróleo no setor.



**Gráfico 17**

► **Setor residencial: evolução do consumo final por fontes (10<sup>3</sup> TJ) e consumo final residencial per capita (GJ per capita)**

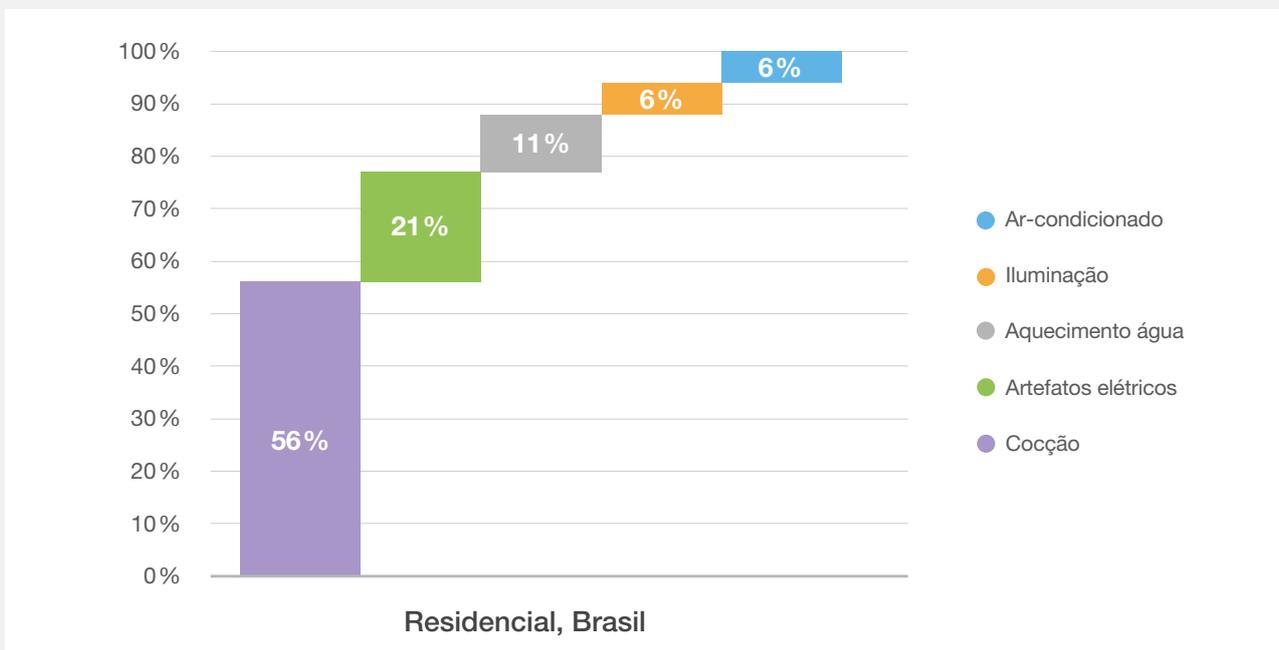


Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.

Em termos de consumo de energia por usos finais, 68% do total corresponde a calor direto (isto é, cocção ou aquecimento, em sua maioria). Os usos reservados à eletricidade são limitados (iluminação, refrigeração, eletrônicos).

**Gráfico 18**

► **Setor residencial: consumo de energia por usos finais, 2018**



Fonte: (EPE, 2019).



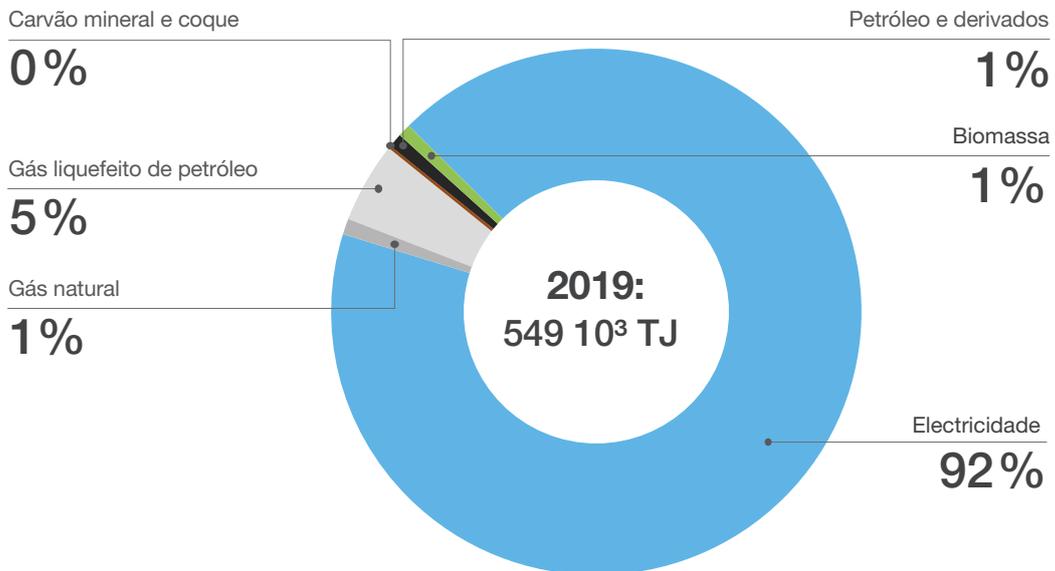
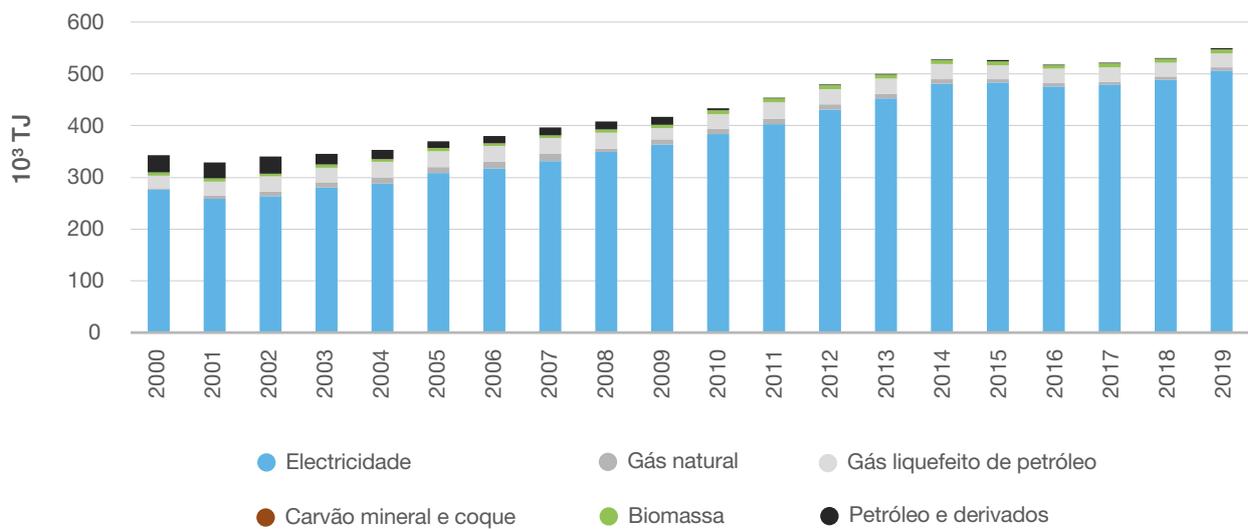
## Setor comercial, serviços e público

O consumo final dos setores comercial, de serviços e público aumentou nos últimos 20 anos (média anual de 2,5%). Por fonte, podem ser destacadas as seguintes características:

- alta participação da eletricidade no consumo total (92% em 2019) e
- fornecimento, principalmente de GLP, gás natural e biomassa para cobrir o resto da demanda.

**Gráfico 19**

► **Setor comercial e público: evolução do consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ**



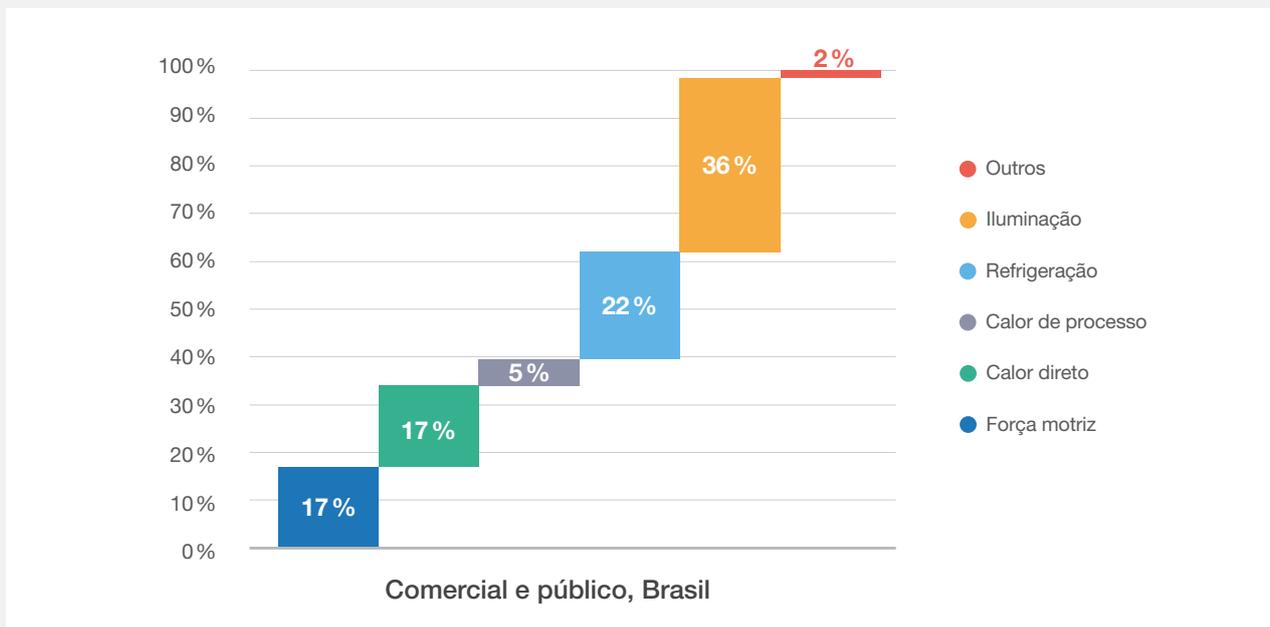
Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.

Em termos de consumo de energia por utilizações finais, as utilizações para refrigeração, iluminação e força motriz, que têm uma grande percentagem da sua

demanda energética sob a forma de eletricidade, são as que apresentam maior consumo. A distribuição por usos finais é muito diferente da do setor residencial.

**Gráfico 20**

► **Setor comercial e público: consumo de energia por usos finais, 2004**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados de balanço de energia útil, 2004, Secretaria de Energia/Ministério de Minas e Energia.



## Sector industrial

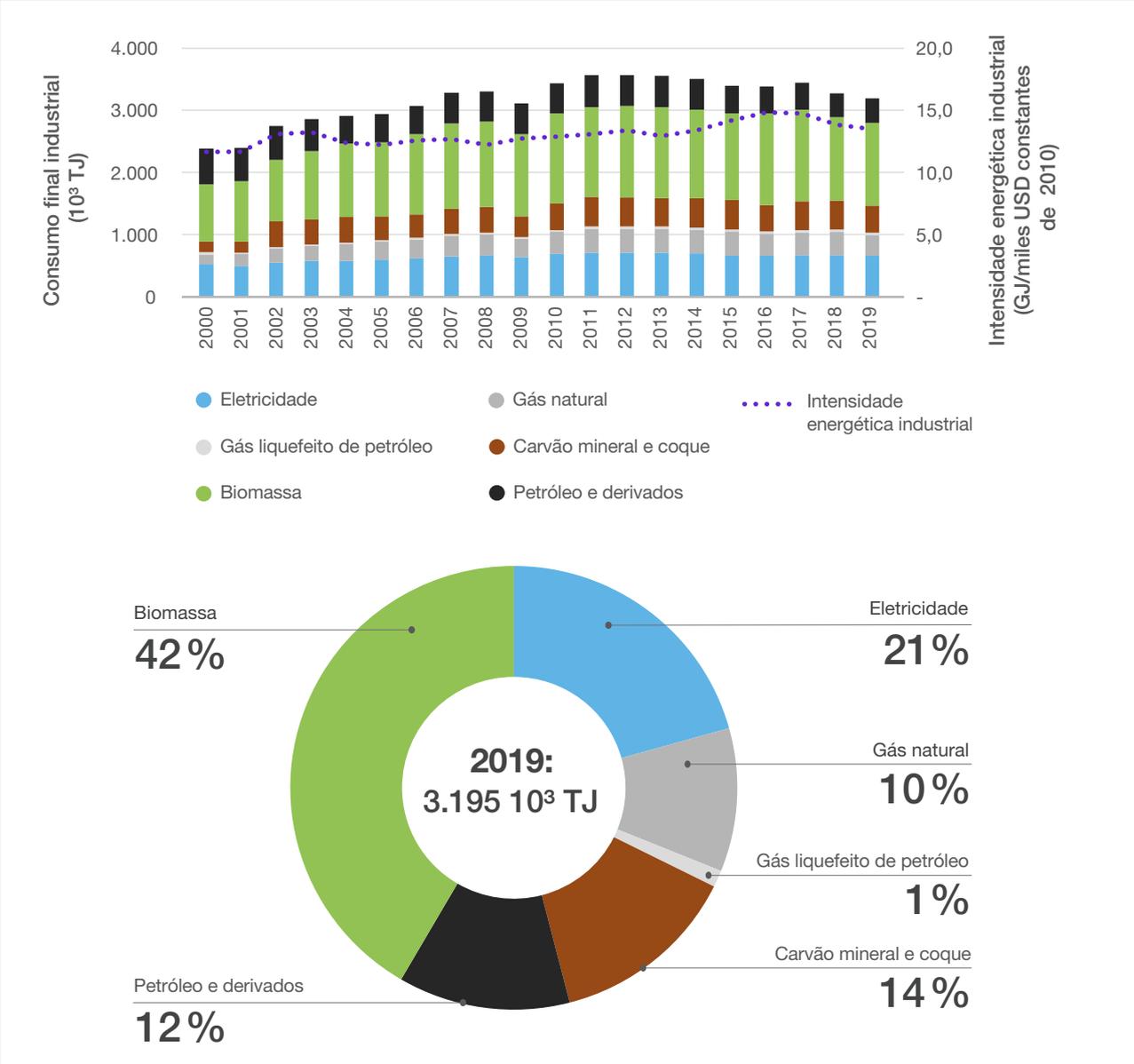
O consumo final industrial aumentou nos últimos 20 anos (1,6% média anual), mas este crescimento diminuiu nos últimos anos, e até chegou a registrar um leve decréscimo entre 2012 e 2019 em linha com uma diminuição da atividade econômica do país. Por unidade de PIB, a intensidade energética do setor industrial tendeu a aumentar. Por fonte, podem ser destacadas as características seguintes:

- a biomassa desempenha um papel fundamental no abastecimento energético final do setor; cresceu de  $917 \cdot 10^3$  TJ em 2000 para  $1.329 \cdot 10^3$  TJ em 2019;
- o consumo de gás natural cresceu 86% e atingiu 10% de participação como fonte de energia final;

- o consumo de carvão e coque cresceu mais de 100% entre 2001 e 2002 e permaneceu relativamente constante desde então;
- o uso de petróleo e derivados diminuiu.

**Gráfico 21**

► **Setor industrial: evolução do consumo final por fontes (10<sup>3</sup>TJ) e intensidade energética industrial (GJ/milhares USD constantes de 2010))**

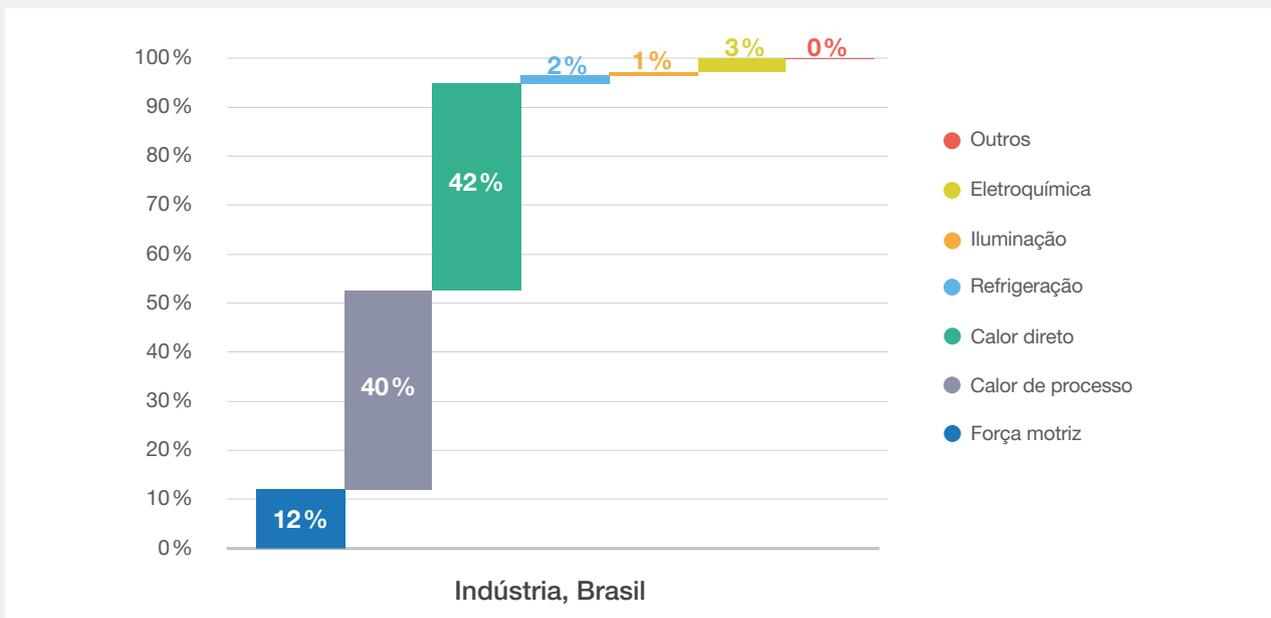


Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.

Em termos de consumo de energia por usos finais, os usos de calor de processo e calor direto são os que apresentam maior consumo e somam 82 %.

**Gráfico 22**

► **Setor industrial: consumo de energia por usos finais, 2004**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do balanço de energia útil, 2004, Secretaria de Energia/Ministério de Minas e Energia.



## Setor transportes

### Demanda por fonte

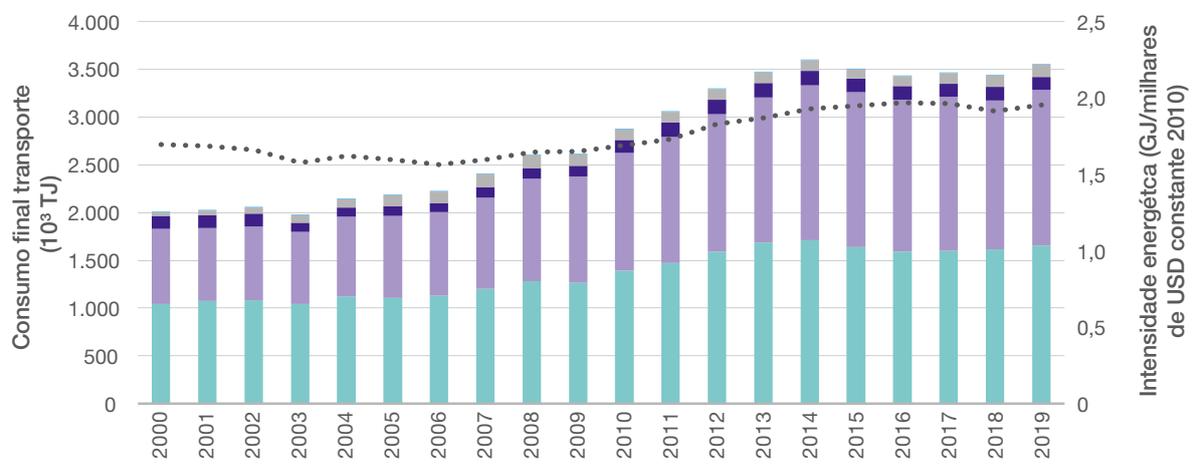
O consumo final do setor de transportes aumentou de forma constante nos últimos 20 anos (média anual de 3,0%). Por unidade do PIB, a intensidade energética do setor de transporte<sup>20</sup> também aumentou no período, embora de forma mais ligeira, a uma taxa média de 0,8% ao ano. Por fonte, podem ser destacadas as seguintes características:

<sup>20</sup> A intensidade energética do setor dos transportes é calculada como consumo de energia nos transportes/PIB total. O PIB do setor de transportes por si só não é considerado. O consumo de transporte é realizado por toda a economia.

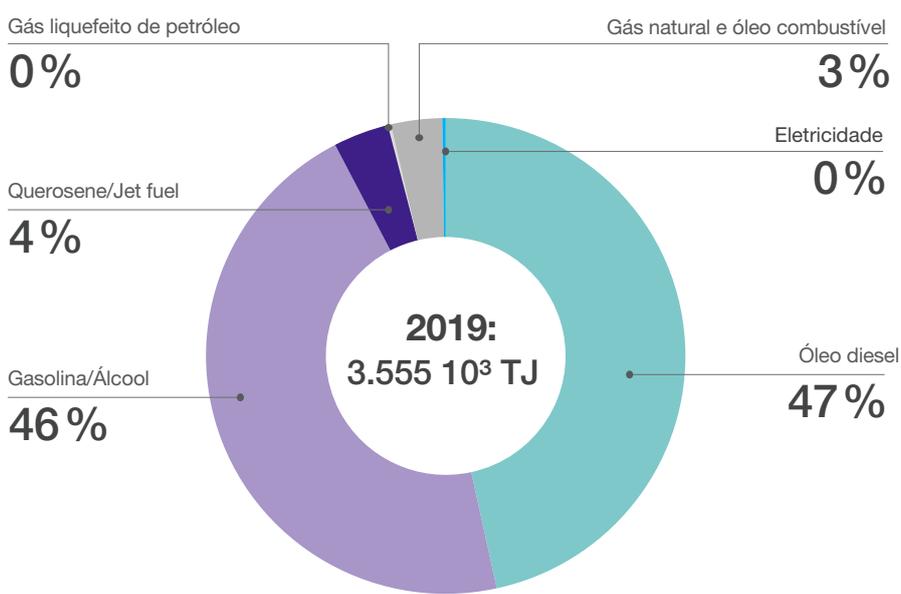
- um alto consumo de diesel e gasolina/álcool que, entre ambos, atinge 93% do consumo final e
- um papel do gás e da eletricidade bem menor no setor atualmente.

**Gráfico 23**

► **Setor transporte: evolução do consumo final por fontes e ano 2019 (10<sup>3</sup>TJ) e intensidade energética (GJ/milhares de USD constantes de 2010)**



● Óleo diesel     
 ● Gasolina/Álcool     
 ● Querosene/Jet fuel     
 ..... Intensidade energética  
● Gás liquefeito de petróleo     
 ● Gás natural e óleo combustível     
 ● Eletricidade



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.

## Frota automotiva e consumos por tipo

A Tabela 8 apresenta o número total de veículos rodoviários e a distribuição por tipo. No Brasil, automóveis e caminhões representam 65% da frota rodoviária, enquanto motocicletas chegam a 27%.

**Tabela 8**

► Quantidade de veículos rodoviários, total e por tipo, 2019, Brasil

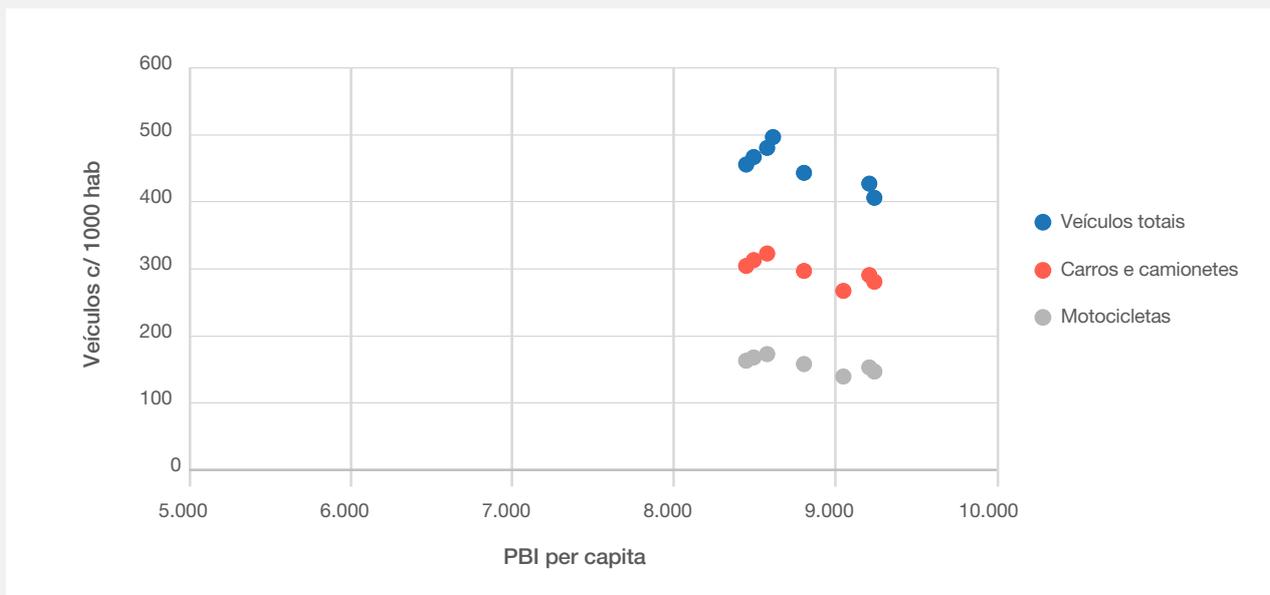
2019	
Automóveis	54%
Camionetas	11%
Motocicletas	27%
Ônibus	1%
Carga	3%
Máquinas pesadas + basculantes	3%
Outros	1%
Total	104.784.375

**Fonte:** Elaboração própria a partir de dados do Ministério de Infraestrutura do Brasil.

No Brasil, é difícil observar uma tendência do parque veicular em comparação com o PIB, já que este indicador chegou a um máximo no ano de 2013 e, depois, diminuiu consideravelmente e hoje se encontra em valores menores a esse ano.

**Gráfico 24**

► Frota de veículos versus PIB/capita entre 2010 e 2019



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do Ministério de Infraestrutura do Brasil e Banco Mundial.

A tabela 9 mostra o consumo de combustíveis por tipo de transporte e por combustível.

**Tabela 9**

► Consumo por tipo de transporte e por tipo de combustível, 10<sup>3</sup> TJ e %, 2019, Brasil

	Consumo total (10 <sup>3</sup> TJ)	Diesel	Gasolina/Alcoholes	Jet fuel/Gasolina para aviação	Óleo combustível	Gás natural	Eletricidade	Biodiesel
Carretero	3.305	43%	49%	0%	0%	3%	0%	5%
Aéreo	140	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
Naval	49	31%	0%	0%	69%	0%	0%	0%
Ferroviano	51	80%	0%	0%	0%	0%	11%	9%

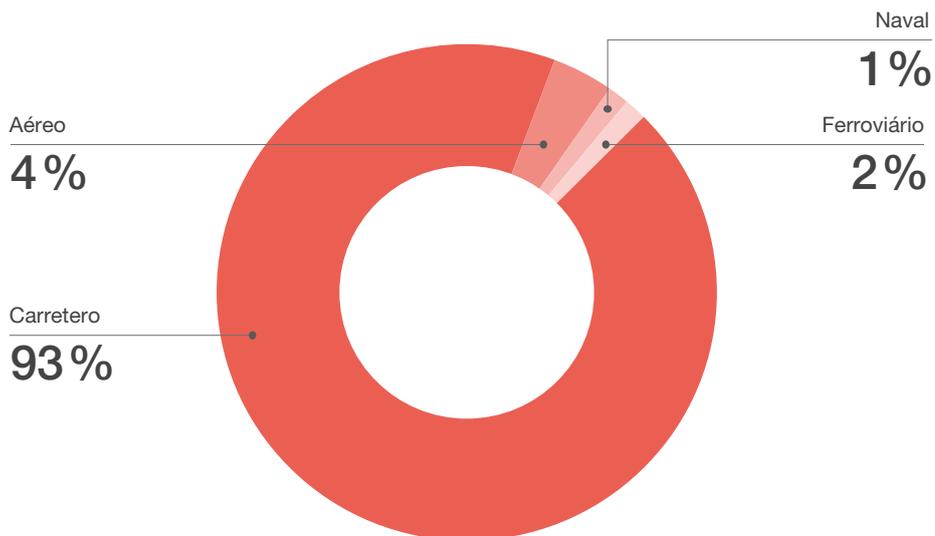
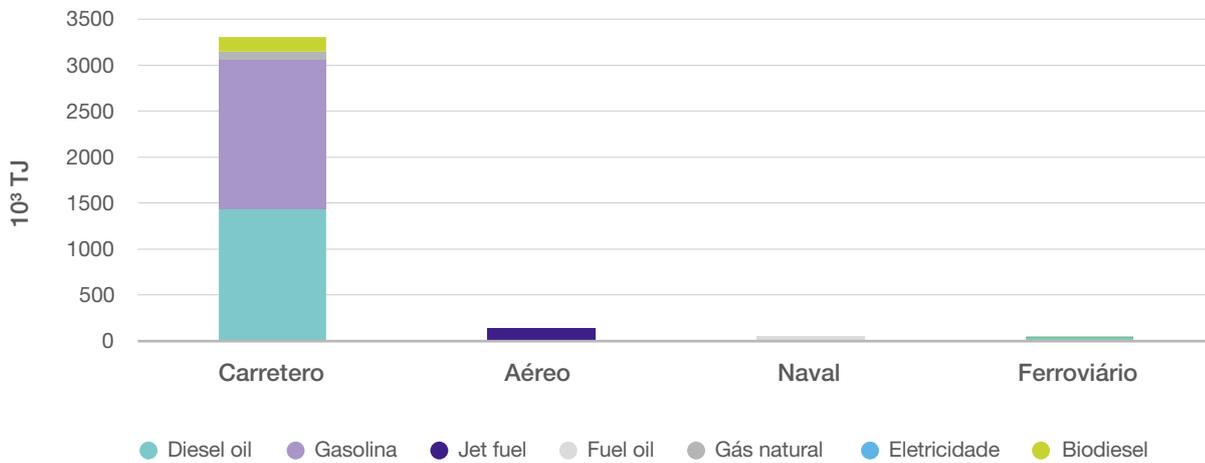
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do balanço energético do Brasil<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Por diferenças de fontes estatísticas, observa-se uma diferença menor que 0,3 % nos dados.

Em termos de consumo por combustíveis, o transporte rodoviário representa 93% do consumo total, seguido pelo aéreo com os 4%, o ferroviário com os 2% e o naval com o 1% restante.

**Gráfico 25**

► **Setor transporte: consumo final por tipo e por combustível, 10<sup>3</sup> TJ**



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do balanço energético do Brasil.



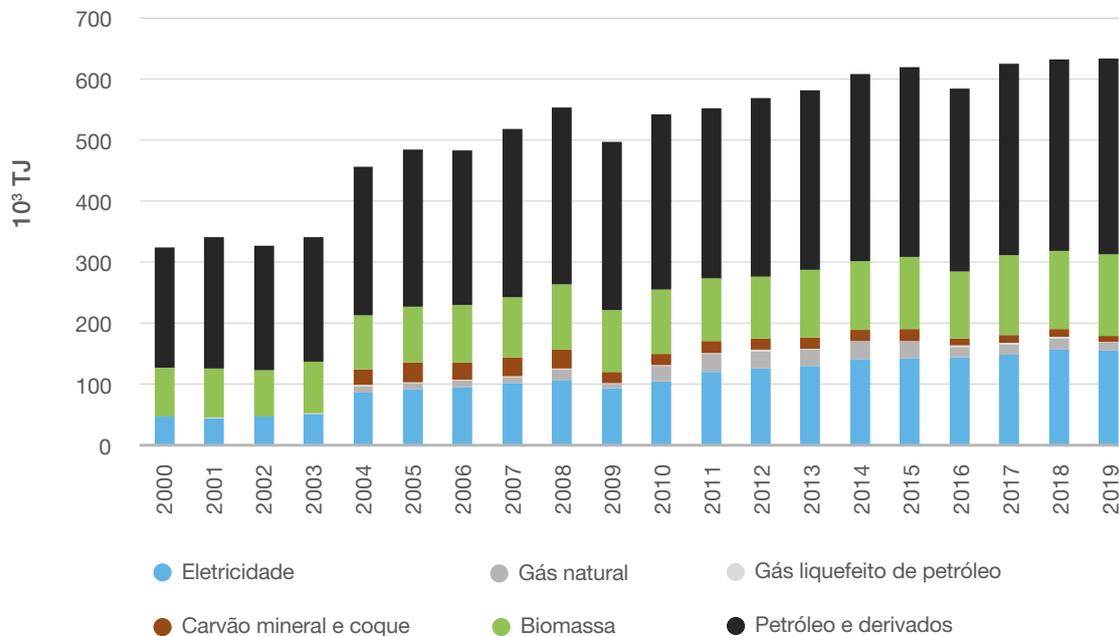
## Setor agropecuário, pesca, mineração e construção

O consumo final do setor aumentou de forma irregular nos últimos 20 anos (3,6% de média anual), com elevado crescimento observado de 2003 a 2004. Por fonte, podem ser destacadas as seguintes características:

- uma participação do petróleo e seus derivados perto de metade do consumo total em 2019 (51%) e
- fornecimento, principalmente de eletricidade e biomassa, seguido, em menor escala, de gás natural, carvão mineral e coque, para cobrir o resto da demanda.

Gráfico 26 A

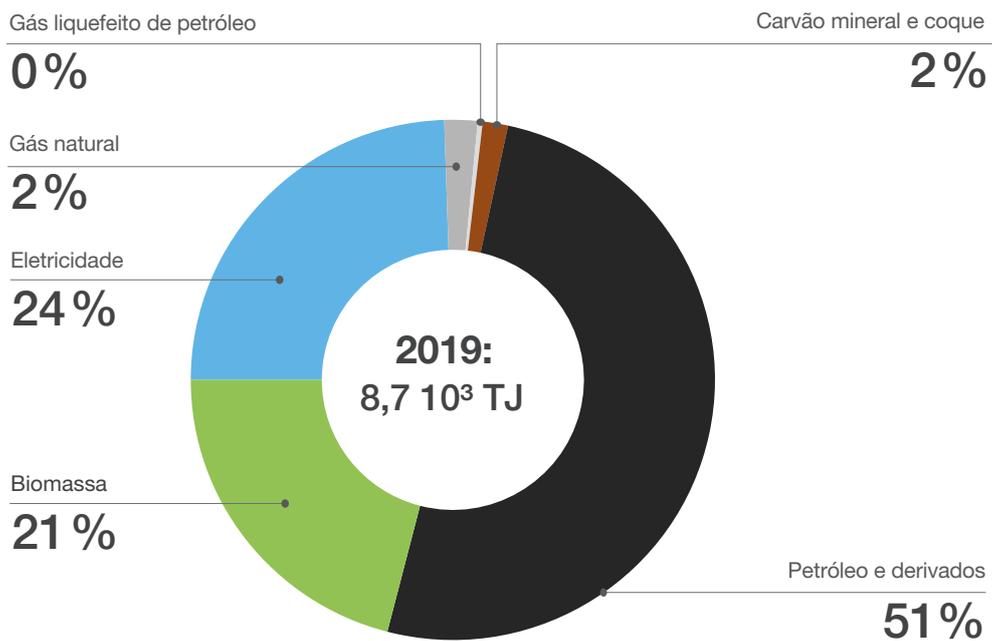
► Outros setores: evolução do consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do sieLAC, OLADE.

**Gráfico 26 B**

► **Outros setores: evolução do consumo final por fontes, 10<sup>3</sup> TJ**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do sieLAC, OLADE.

Por subsetor, pode-se mencionar que o setor agropecuário soma a grande maioria do consumo (84%), enquanto a mineração corresponde a 16% da demanda.

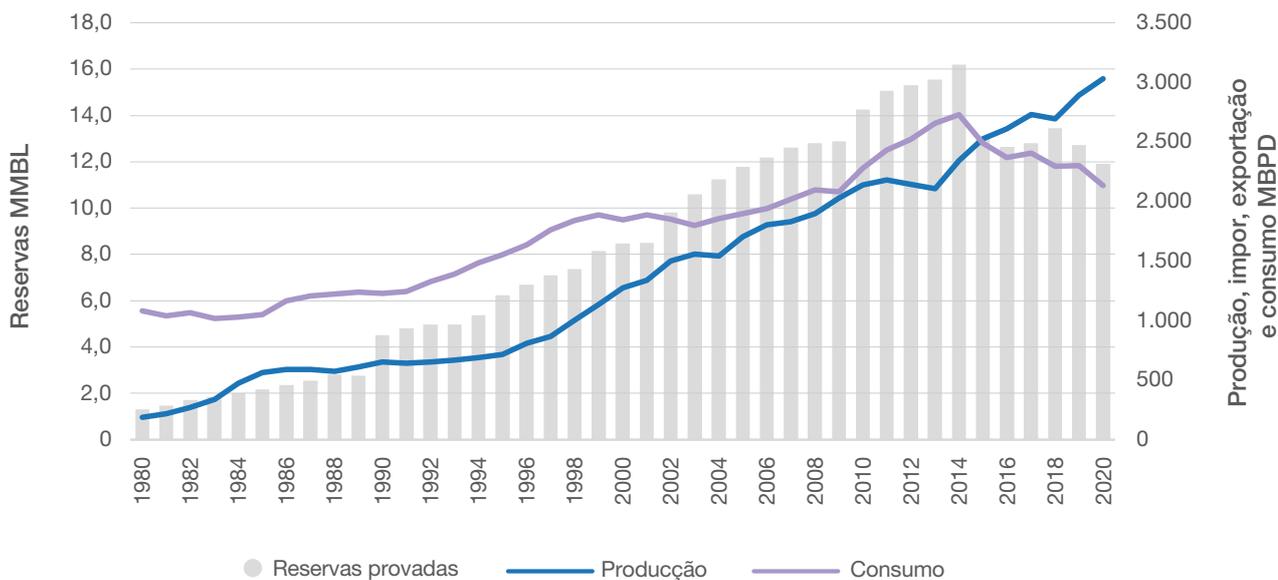
## 5. Comércio exterior

Há mais de 30 anos, O Brasil faz um esforço sistemático de investimentos na exploração de recursos de petróleo e gás, incluindo o desenvolvimento de sua própria tecnologia de plataforma para perfuração *offshore*. Este esforço permitiu confirmar reservas muito importantes que deram frutos nos últimos anos e o país tornou-se um exportador líquido de petróleo numa escala global significativa.



Gráfico 27

► Brasil: reservas, produção e consumo de petróleo



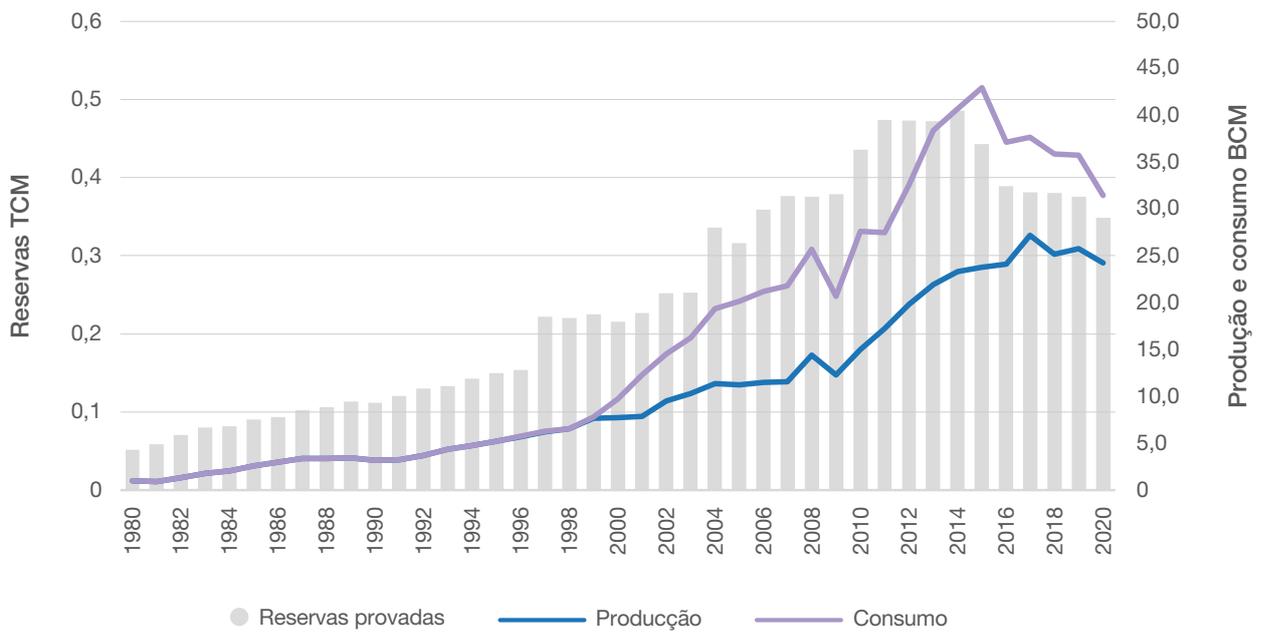
Fonte: Elaboração própria baseada em dados de BP Statistical Review, 2022.

Reservas adicionais de petróleo e gás foram confirmadas no que é conhecido como estratificação Presal (ou seja, antes do sal); isto é, abaixo de rochas com alta concentração salina que se encontram nas profundezas de bacias subaquáticas identificadas como prováveis no Golfo do México e no Atlântico, em áreas próximas ao Brasil.

Desta forma, o país tornou-se não apenas um exportador líquido de petróleo, mas as suas importações foram reduzidas e a sua dependência de compras diminuiu, especialmente da Bolívia, apesar de continuar a ser um importador líquido de gás. Esta tendência poderá afetar a renegociação do contrato de fornecimento daquele país.

Gráfico 28

► Brasil: reservas, produção e consumo de gás natural



Fonte: Elaboração própria baseada em dados de BP Statistical Review of World Energy 2022.

# 6. O sector elétrico

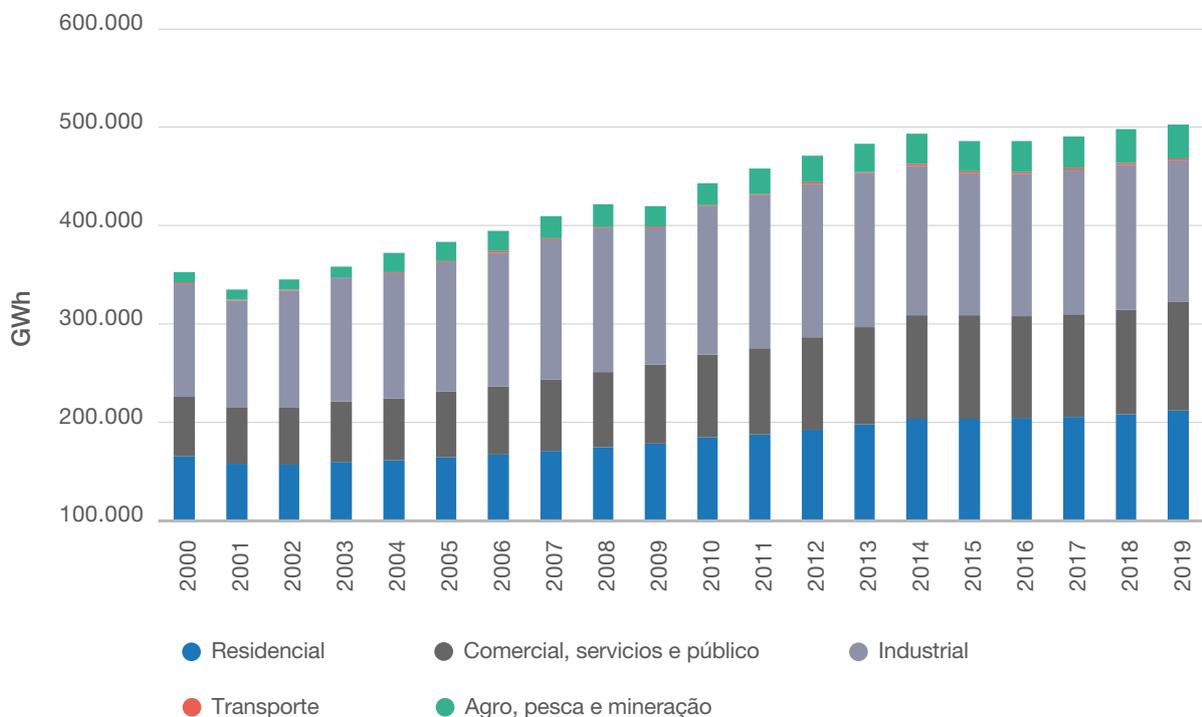


## Demanda elétrica

O gráfico 29 mostra o consumo final elétrico por setor da economia.

**Gráfico 29 A**

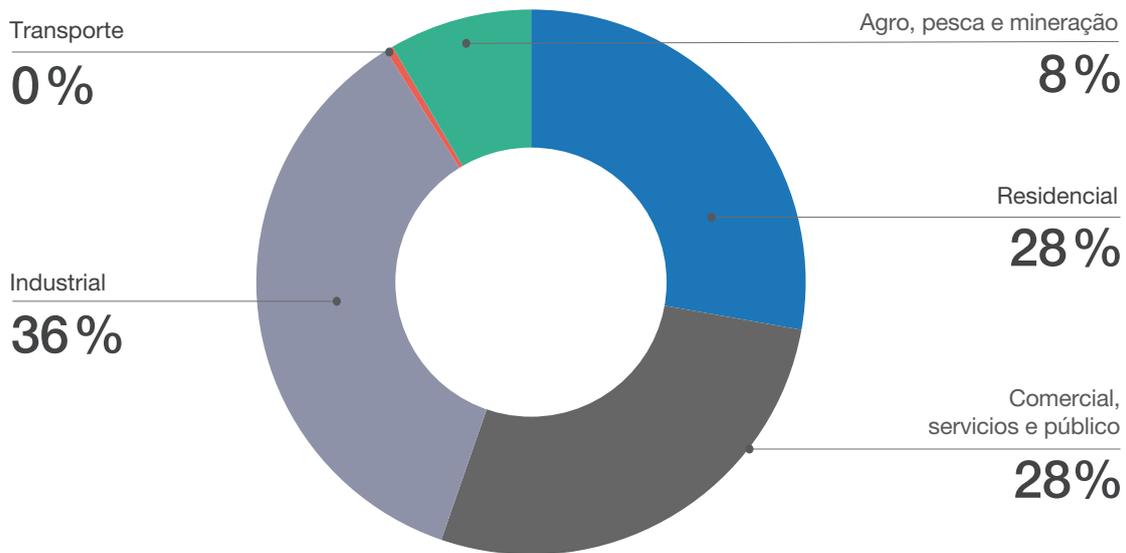
► Consumo final elétrico por setor, entre 2000 e 2019, e o ano 2019, GWh



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do sieLAC, OLADE.

**Gráfico 29 B**

► **Consumo final elétrico por setor, entre 2000 e 2019, e o ano 2019, GWh**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do siELAC, OLADE.

As tendências de crescimento de curto e longo prazo são visibilizadas mediante as taxas de crescimento dos períodos compreendidos entre 2000 e 2019, e entre 2014 e 2019.

- Longo prazo (entre 2000 e 2019): 2,5%
- Curto prazo (entre 2014 e 2019): 0,5%

No período entre 2002 e 2014, observou-se um crescimento significativo da demanda de eletricidade, juntamente com um dinamismo económico. No entanto, a demanda iniciou um período de baixo crescimento desde 2015.

Em 2019, a composição média do consumo de energia elétrica no Brasil é representada – primeiro – pelo setor industrial (36%), seguido pelo setor residencial e pelo setor comercial, de serviços e público (ambos 28%). Durante os últimos 20 anos, a participação do setor residencial no consumo total de eletricidade manteve-se constante. Por outro lado, a economia brasileira mudou para uma economia de serviços.

Em 2019, o pico de demanda no sistema interligado atingiu 90,1 GW.



## Capacidade instalada

A capacidade instalada de geração no Brasil (172,3 GW em 2019) é composta principalmente por usinas hidrelétricas distribuídas em inúmeras bacias hidrográficas em diferentes regiões do país. Alguns dos principais rios do Brasil incluem o Amazonas (o segundo maior rio do mundo e o maior em volume de água), o Paraná e outros.

Em segundo lugar, existem as centrais termelétricas de energia não renovável, movidas principalmente a gás natural, combustíveis líquidos e carvão. Estas usinas são despachadas de acordo com as condições hidrológicas atuais e previstas; isso permite gerenciar a água armazenada nos reservatórios e garantir o atendimento futuro.

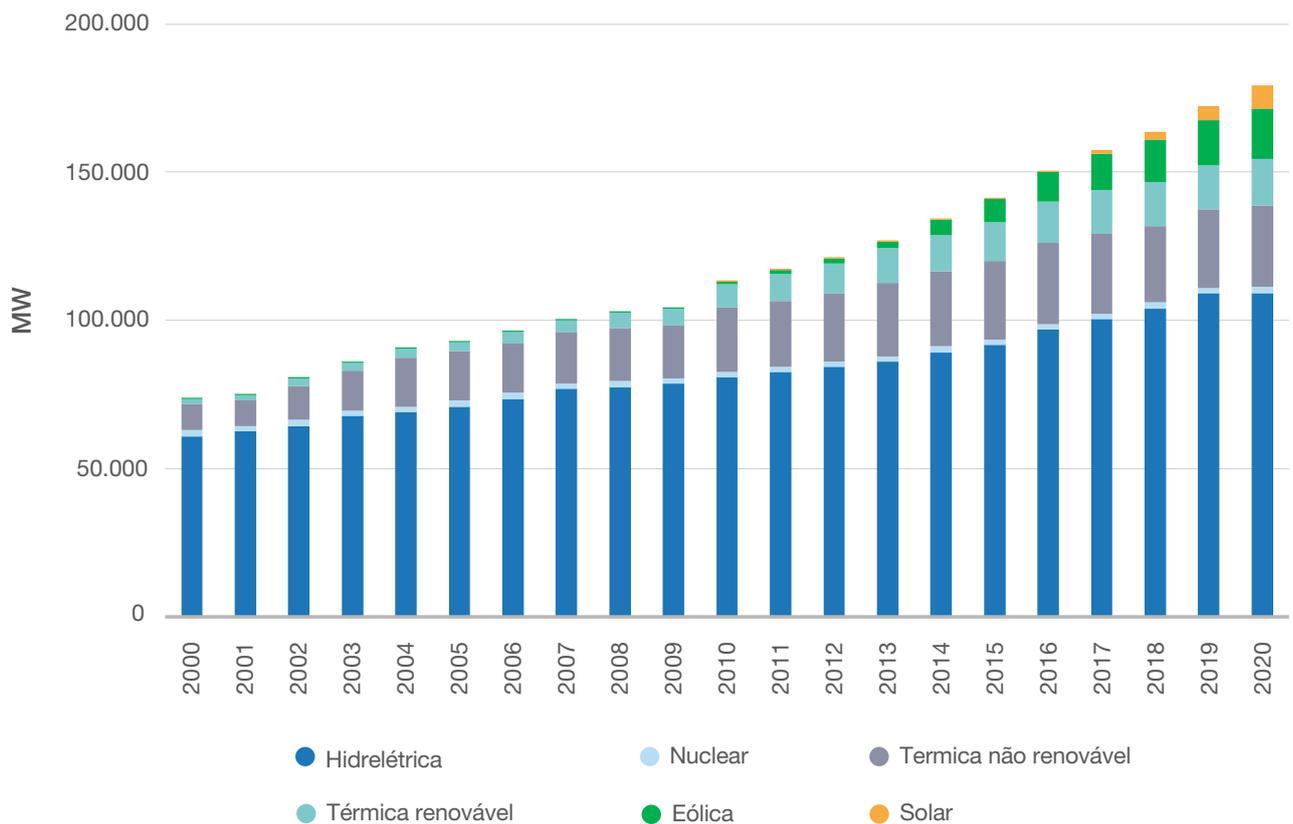
O Brasil também faz parte, junto com Argentina e México, do grupo de países da região com instalações nucleares; no caso do Brasil, esse tipo de instalação é encontrado em Angra dos Reis.

As usinas térmicas de energia renovável (biomassa e resíduos industriais) também desempenham um papel importante no mix de geração, especialmente nas usinas de cogeração do setor sucroalcooleiro.

Por último, nos últimos anos, a instalação de centrais eólicas e solares tem crescido graças à atenção especial recebida pelo governo com incentivos específicos (leilões de longo prazo, descontos nas tarifas e geração distribuída, ver secção 2.3), financiamento do Programa Nacional Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e mecanismos de promoção tributária.

**Gráfico 30**

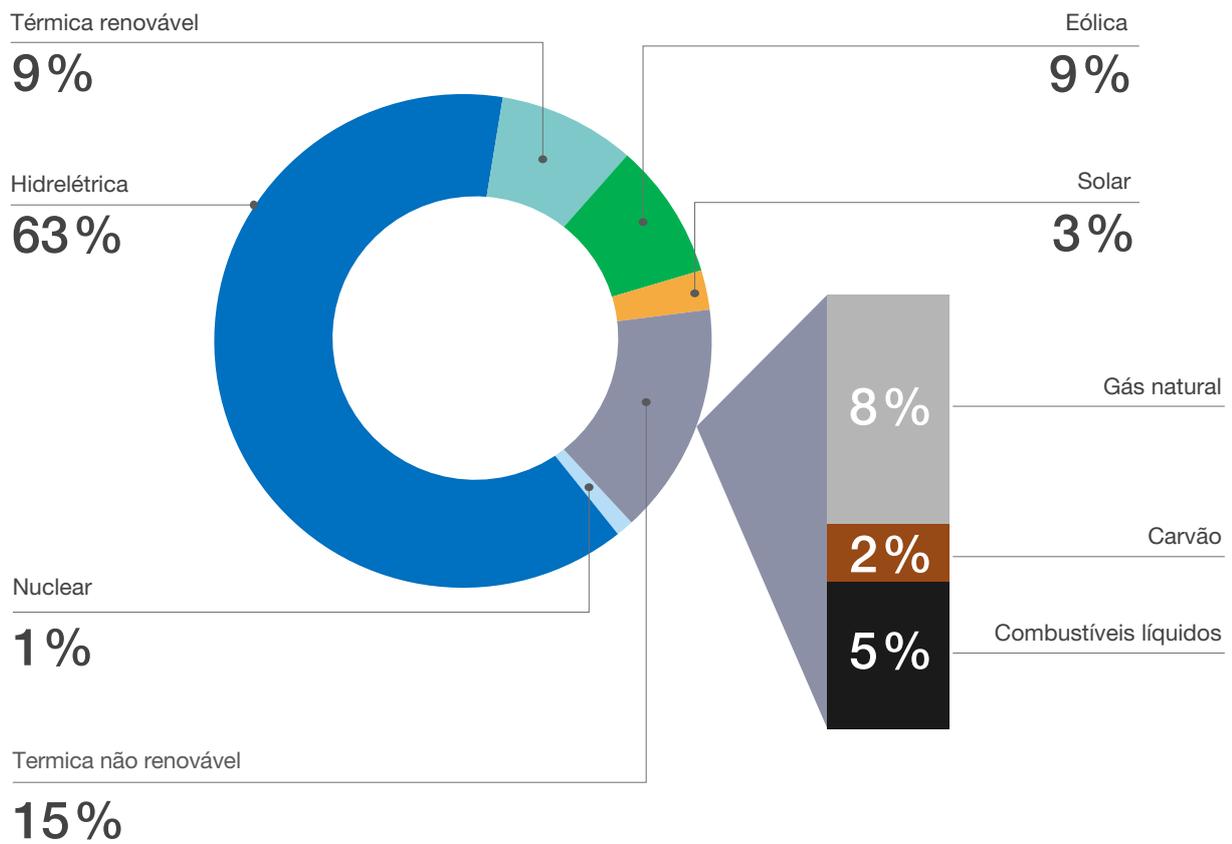
► Capacidade instalada entre 2000 e 2020, MW



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do sieLAC, OLADE.

**Gráfico 31**

► Capacidade instalada por fonte 2019, %



Fonte: Elaboração própria baseada em dados da ANEEL.

Nos últimos dez anos, a expansão do sistema tem sido muito dinâmica e é dominada por grandes hidrelétricas, térmicas e usinas de energia renovável (especialmente eólica e, mais recentemente, solar). A quota térmica manteve-se relativamente constante, enquanto a quota renovável cresceu significativamente.

Quando se trata de centrais a carvão, não existe um plano oficial de eliminação progressiva nem um mecanismo claro de transição justa. Embora o governo brasileiro tenha publicado recentemente a Lei nº 14.299/22 ou a chamada lei de “Transição Energética Justa”, esta lei garante que o Brasil continuará a usar e subsidiar o carvão como fonte de energia, pelo menos até 2040. É importante note que as usinas a carvão representam apenas 2% da capacidade total instalada e uma participação de ordem de grandeza semelhante na geração. Cerca de dois terços das usinas a carvão atualmente em operação no Brasil foram instaladas entre 2010 e hoje.



## Geração elétrica

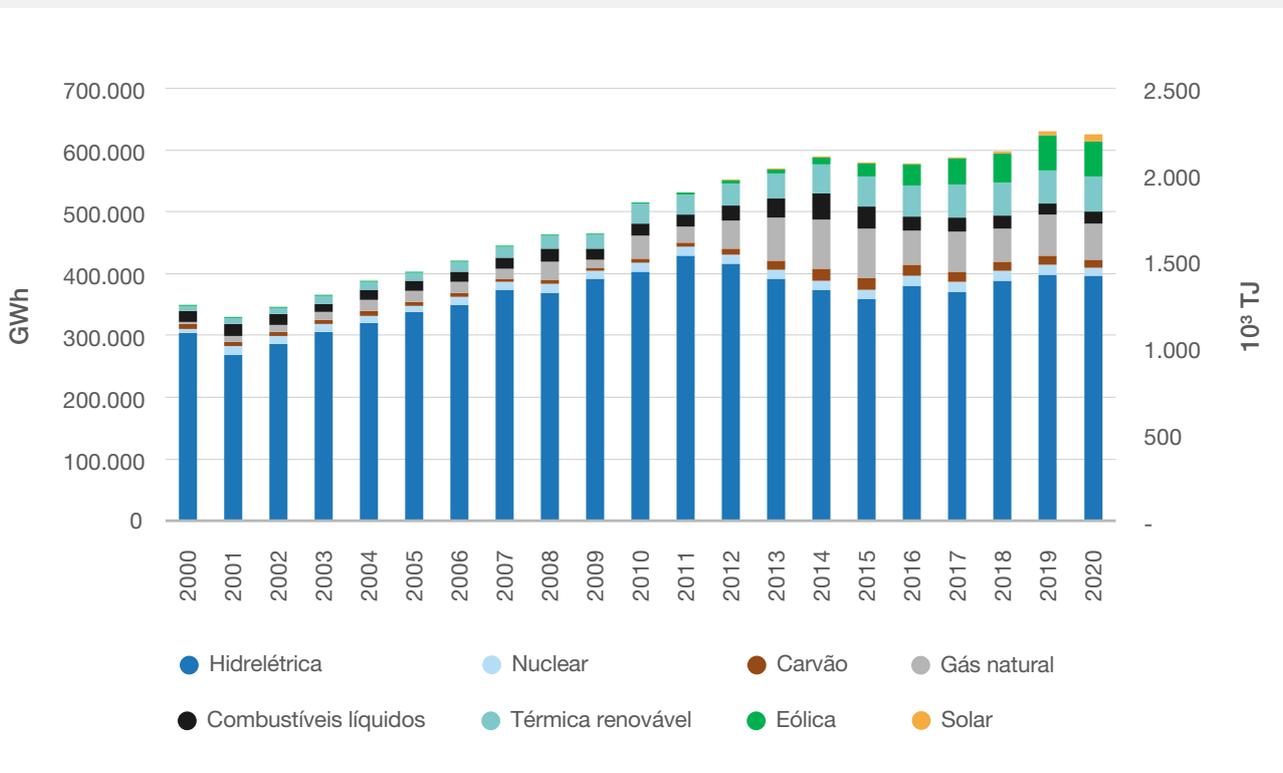
A geração hidrelétrica atende em grande parte a demanda de eletricidade do Brasil. A participação da geração hidrelétrica depende das características da hidrologia de um determinado ano (condições secas/médias ou chuvosas), bem como das condições hidrológicas iniciais (nível do reservatório), uma vez que o Brasil possui muitos reservatórios em múltiplas cadeias hidrelétricas ao longo de todo o país. Devido à grande amplitude geográfica do país, as características climáticas podem variar dependendo das regiões consideradas num determinado ano.

De 2000 a 2011, a geração hidrelétrica teve uma participação média de 83% da geração total, com uma participação máxima de 87% em 2000. Em 2001, o Brasil entrou em uma crise de abastecimento de energia e sofreu racionamento de energia elétrica em um contexto de declínio dos níveis dos reservatórios e crescente demanda por eletricidade. Em 2014 e 2015, o Brasil sofreu outra escassez de fornecimento de eletricidade e a participação hidrelétrica atingiu sua participação mínima (62% em 2015), devido à falta de capacidade de geração de backup. No período entre 2016 e 2020, a quota da produção

hidroelétrica rondou os 64 %, com uma quota crescente da produção eólica e solar (cerca de 11 %) e uma quota térmica de cerca de 17 % (incluindo a produção nuclear).

**Gráfico 32**

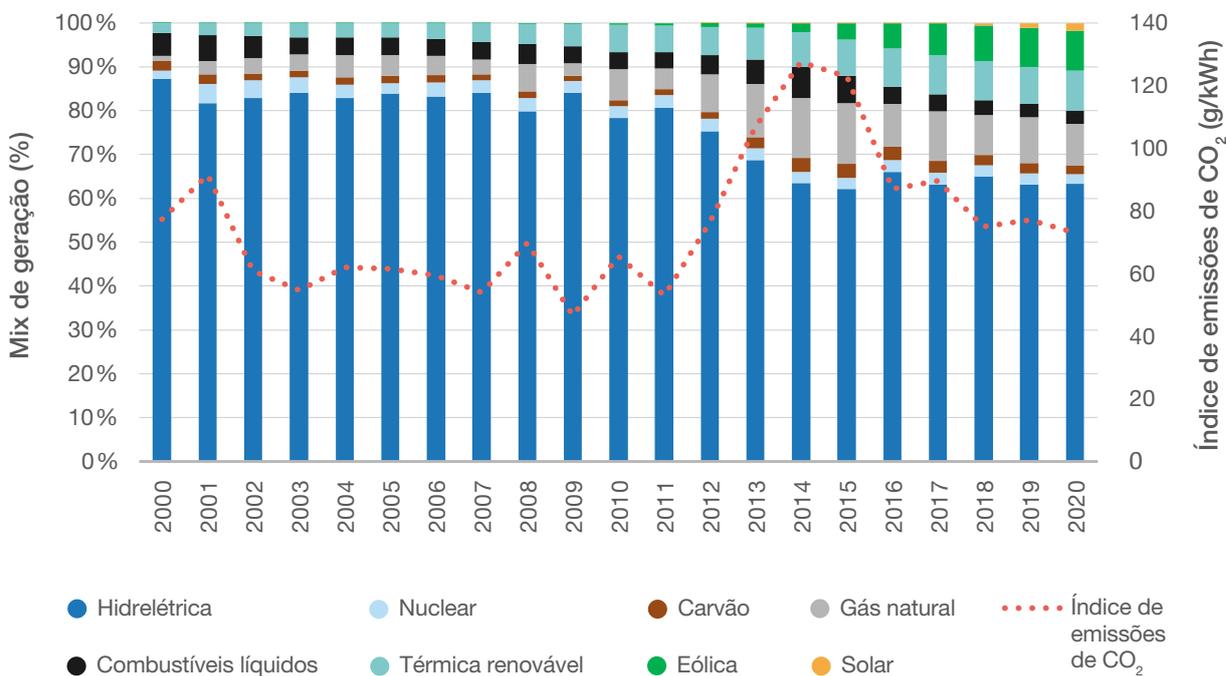
► **Geração de eletricidade por fonte entre 2000 e 2020, GWh e 10<sup>3</sup> TJ**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

**Gráfico 33**

► Geração de eletricidade por fonte entre 2000 e 2020, %, e índice de emissões de CO<sub>2</sub> do setor elétrico, g/kWh



Fonte: Elaboração própria baseada em dados da EPE e sieLAC-OLADE.

O mix de geração anual tem impacto direto no índice de emissões de CO<sub>2</sub>, com valores mais elevados nos anos em que aumenta a quota de geração térmica.

Por fim, devido à participação significativa da hidreletricidade na composição da geração, os preços de liquidação diferencial (PLD) nas quatro regiões elétricas do Brasil apresentam alta volatilidade.

## 7. Redes elétricas e de gasodutos existentes

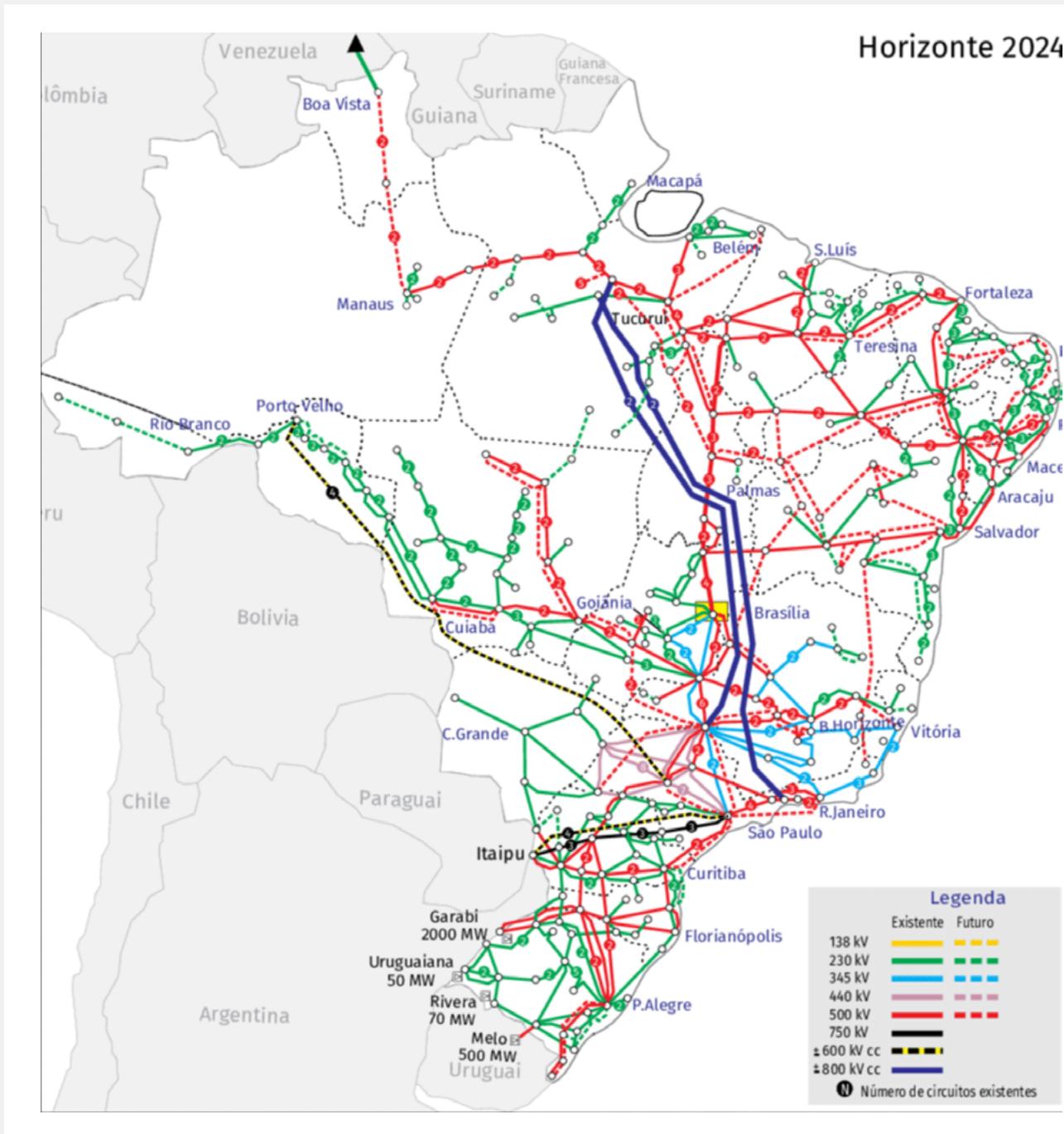
Atualmente, o Brasil possui 149 mil km de linhas de transmissão elétrica (2020, EPE) e 9.409 km de rede de transporte de gás (2019, EPE).

O sistema interligado está dividido em quatro regiões elétricas: sudeste e centro-oeste (SE/CO), sul (S), nordeste (NE) e norte (N). A região elétrica mais importante, em termos de participação na demanda total, é a SE/CO. A taxa de eletrificação está perto de 100%.

---

Gráfico 34

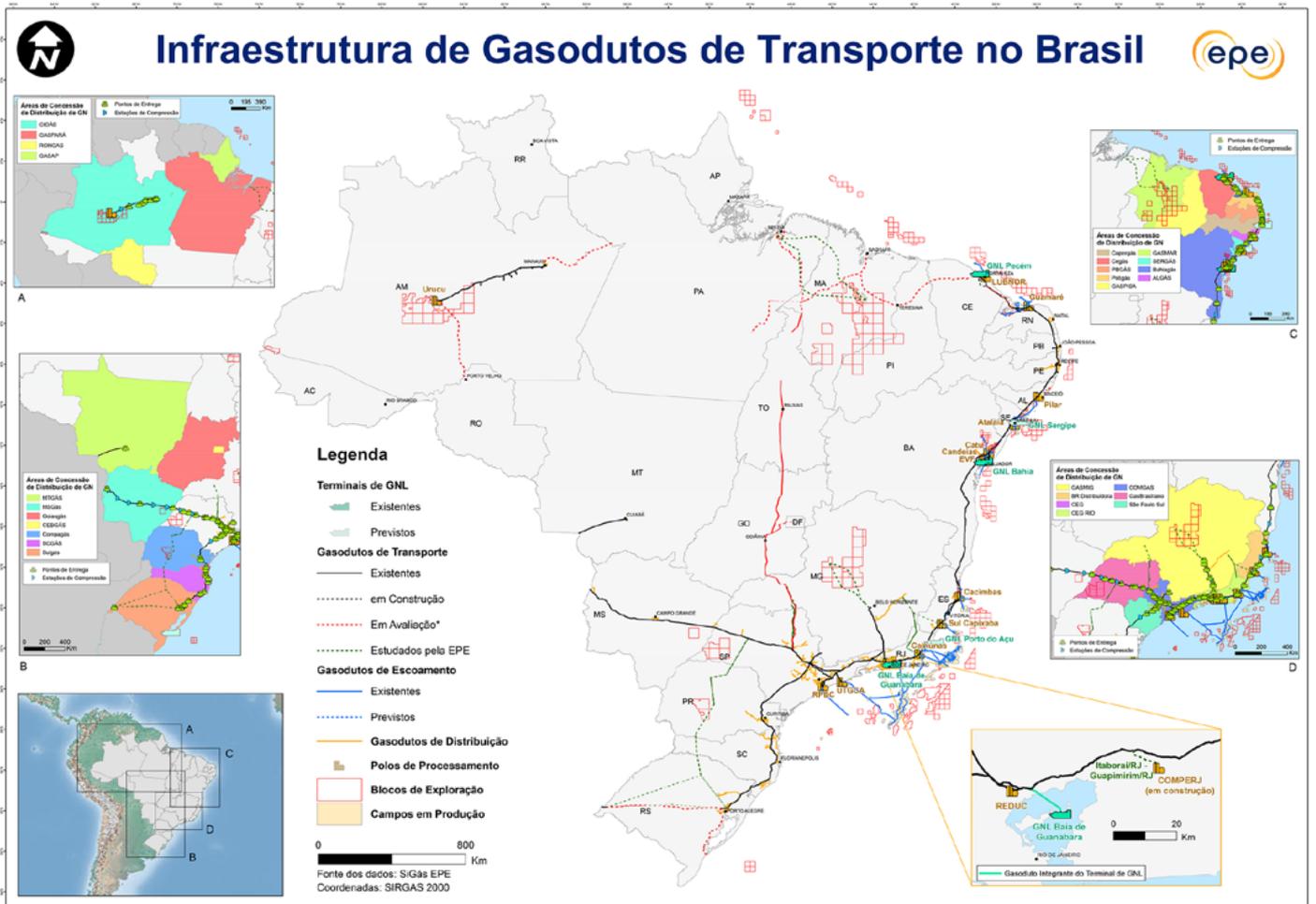
► Sistema Interconectado Nacional existente (2020) e futuro (2024)



Fonte: ONS (<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>)

Gráfico 35

► Rede de gasodutos, 2019



\* Gasodutos que haviam recebido Autorização de Construção ou se encontravam em processo de Licenciamento Ambiental na data da publicação da Lei do Gás (Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009).

Data de Atualização: 08/04/2019 Ref: DPG/SIG/Gás - GFC - 08/04/2019

Fonte: EPE.

## 8. Conclusões

O Brasil apresenta uma série de características muito especiais no seu desenvolvimento econômico e energético que condicionarão significativamente a sua estratégia para a transição energética.

### Contexto socioeconômico geral

- Crescimento econômico que abrandou nos últimos anos, o que poderá atrasar o processo de transição energética.
- Nível de pobreza que, à medida que for resolvido, levará ao crescimento da demanda de energia. Isto representaria uma oportunidade para permitir a introdução de novas tecnologias de baixas emissões através do aumento da demanda de eletricidade.

### Políticas públicas e organização do setor

- Possui órgãos reguladores sólidos e estáveis (ANEEL e ANH).
- É um dos poucos países da região que possui um sistema de planejamento energético permanente, estável e contínuo na base institucional de uma entidade com capacidade técnica reconhecida: a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

#### Do ponto de vista dos impostos e subsídios

- As tarifas de eletricidade e gás natural, bem como os combustíveis, apenas beneficiam de subsídios explícitos.
- Até agora, não são aplicados impostos sobre o carbono.

#### Do ponto de vista dos recursos energéticos.

- **Hidrelétricos.** Brasil tem um potencial hidrelétrico<sup>22</sup> de 260 GW, e ainda resta aproximadamente 60% para ser utilizado, pelo menos, em uma parte relevante.
- **Energia renovável no convencional (ERNC).** O Brasil possui grande potencial eólico onshore (247 GW), solar (307 GW) e biomassa. Também possui quase 700 GW de potencial eólico *offshore* em locais com profundidades inferiores a 50m<sup>23</sup>. No estado do Ceará, região nordeste do país, está localizada em um dos mais importantes potenciais eólicos de alto fator vegetal da América Latina.
- **Petróleo e gás.** As abundantes reservas do Pré-Sal estabelecem um horizonte de 20 ou 30 anos para recuperação dos investimentos nas exportações e no desenvolvimento e representam uma importante contribuição para a economia e a geração de divisas a partir das exportações de petróleo.
- **Biomassa.** A indústria canavieira contribui com a cogeração com a venda dos excedentes à rede pública. O bioetanol é altamente desenvolvido; O Brasil é o segundo maior produtor do mundo depois dos Estados Unidos; juntos, eles detêm 82% da produção mundial (55% Estados Unidos e 27% Brasil, 2021).

<sup>22</sup> É importante lembrar que: a) o potencial hidrelétrico deverá ser atualizado devido a alterações importantes em elementos como a declaração de áreas protegidas e restrições à construção de reservatórios de regulação associados à geração elétrica; b) parte do potencial restante corresponde a usinas a fio d'água sem capacidade de regulação além do horário.

<sup>23</sup> De acordo com o estudo *Roadmap Eólica Offshore Brasil* publicado pela EPE.

- **Urânio.** O país possui reservas de urânio que podem significar um recurso adicional em escala internacional. Em termos de capacidade instalada, Angra I e II, em operação, totalizam 1,9 GW e mais 1 GW de capacidade nuclear está incluída no Plano Decenal de Energia 2031. O Brasil é o único país da América Latina e do Caribe com reservas de urânio.

#### Demanda de energia

- Transição esperada do uso de lenha residencial para combustíveis mais limpos.
- A demanda por energia nos transportes é atendida por uma proporção relevante de biocombustíveis, em linha com a solidamente estabelecida indústria do etanol.
- Maioritariamente população urbana, o que pode facilitar o desenvolvimento de uma rede de transportes públicos mais eficiente.
- A intensidade energética histórica não foi significativamente reduzida, o que proporciona espaço para melhorias e é de alguma forma internalizado na mudança tecnológica.

#### Setor elétrico

- Dependência do clima (hidrologia) e dependência do backup de centrais térmicas em anos secos, embora os reservatórios plurianuais permitam que este efeito seja limitado.
- Cerca de 20% das centrais térmicas (incluindo centrais a carvão) foram construídas nos últimos 10 anos, o que poderá abrandar a transição do parque elétrico; contudo, o impacto económico dos combustíveis fósseis determinará o ritmo e a duração da transição.
- Cerca de dois terços das usinas a carvão em operação hoje no Brasil foram instaladas nos últimos 12 anos.

- Mix de geração com baixas emissões de CO<sub>2</sub> devido ao seu alto nível de geração hidrelétrica e eólica e, mais recentemente, solar.
- Diversos incentivos às energias renováveis: leilões de energias renováveis, redução de tarifas de transporte e distribuição. Recentemente, tem havido um forte investimento na geração renovável com o objetivo de diversificar o mix de geração.
- Potencial para desenvolvimento de centrais nucleares.

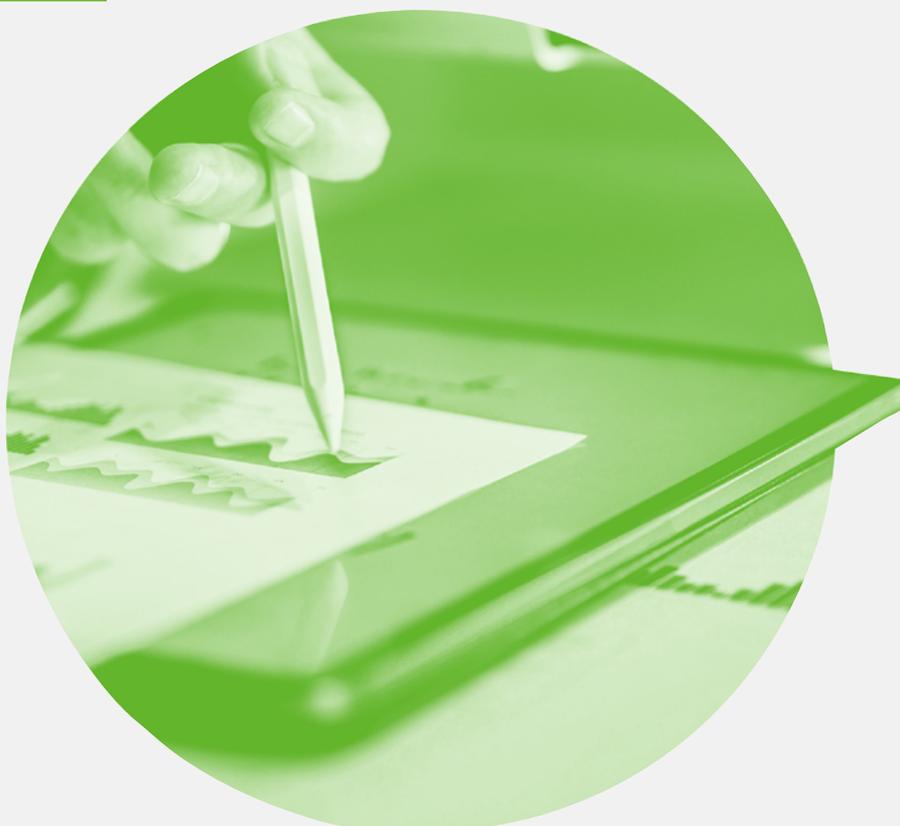
# 2

Metodologia de  
projeção energética



# 1. Ano base e horizonte de planejamento

O ano base considerado para a projeção e descrito previamente no capítulo “Diagnóstico e linha de base” é o ano 2019. O horizonte de planejamento se inicia em 2019 e termina em 2060.



## 2. Confeção de projeção



### Descrição geral

O modelo Low Emissions Analysis Platform (LEAP), desenvolvido pelo Stockholm Environmental Institute (SEI), foi utilizado para realizar o estudo. O modelo LEAP é uma ferramenta (software) utilizada para a análise de políticas energéticas e avaliação da mitigação das alterações climáticas. Neste caso, foi utilizado para modelar as emissões do setor energético relacionadas à combustão de combustíveis no Brasil.

Em termos de metodologias de modelagem, o modelo LEAP é particularmente versátil.

- O modelo LEAP parte da informação dos balanços energéticos que garantem a integridade da informação que está sendo utilizada.
- A demanda energética pode ser projetada utilizando metodologias:
  - *bottom-up* (de baixo para cima), a partir de dados específicos detalhados para chegar a uma projeção total, ou
  - *top-down* (de cima para baixo).

Neste trabalho optou-se pela modelagem *bottom-up* e a demanda foi dividida em setores (residencial, industrial, transportes, etc.) que, por sua vez, foram subdivididos em ramos e usos.

- A oferta energética oferece um vasto conjunto de metodologias de simulação que permitem estimar um despacho anual de produção de eletricidade ou incorporar os resultados de outros modelos de otimização especializados.

Os setores de demanda modelados são projetados de acordo com um nível de atividade e uma variável explicativa, que estão simplificados na figura seguinte.

**Gráfico 36**

► **Setores, níveis de atividade e variáveis explicativas**

Setor	Nível de atividade	Variável explicativa
Residencial	População	Consumo per capita
Transporte rodoviário	Variável objetivo, frota automotiva	Consumo médio por veículo
Transporte não rodoviário	PBI total	Intensidade energética
Industrial	PBI setorial	Intensidade energética por rama e usos
Comercial, serviços e setor público	PBI setorial	Intensidade energética
Agro, pesca, mineração e construção	PBI setorial	Intensidade energética

Fonte: Elaboração própria

O PIB setorial é um dos principais motores do crescimento da demanda de energia, em particular, para os setores produtivos, enquanto a evolução populacional desempenha um papel de liderança no crescimento da demanda de energia no setor residencial. O setor dos transportes rodoviários depende da evolução do número de veículos que, por sua vez, está relacionado com o PIB per capita

no caso do transporte de passageiros e com o PIB no caso do transporte de mercadorias. O transporte não rodoviário é projetado com base no PIB global.

A seguir, a modelagem adotada para este estudo é descrita mais detalhadamente por setores de demanda e para o setor elétrico. Dado que a estratégia de descarbonização procura substituir os combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e seus derivados, gás natural, etc.), a cadeia de valor associada a estes combustíveis não foi analisada em detalhe, o que permite assumir que haverá oferta suficiente.



## Demanda por setor

### Setor residencial

Para analisar e projetar o consumo de energia do setor residencial são estimadas a **projeção populacional e o consumo unitário** por uso e por fonte per capita.

O **consumo residencial** apresenta dois tipos de utilizações: utilizações térmicas (principalmente para cozinhar, água quente sanitária [AQS], aquecimento) que utilizam diferentes combustíveis com potencial de substituição, e utilizações elétricas (iluminação, refrigeração, etc.). As análises a seguir são aplicadas para cada grupo.

- **Usos de calor**

- **Cocção.** São analisadas tendências históricas de consumo em termos de energia útil<sup>24</sup> por 1.000 habitantes, que são usadas para a projeção a futuro. As hipóteses de substituição de combustíveis são propostas por cenário (correspondente à substituição de lenha por aparelhos de cozinha elétricos ou a gás natural).

<sup>24</sup> Segundo (OLADE, BID, 2017) energia final é “a quantidade de fonte de energia que é consumida em cada um dos setores econômicos e sociais do país”. Por outro lado, energia útil é “a quantidade de energia realmente utilizada para cumprir a tarefa produtiva do equipamento ou dispositivo de consumo, por exemplo, o calor necessário que os alimentos devem absorver para cozinhar”.

- **ACS e calefação.** Dado que estes setores são incipientes e este tipo de consumo ocorre com o aumento do PIB per capita, uma parcela menor do consumo atual observado em Espanha e Portugal é transposta como consumo alvo<sup>25</sup>. Propõe-se também uma maior implementação de medidas de eficiência energética e pressupostos quanto ao tipo de combustíveis a utilizar.
- **Outros usos elétricos.** Os usos elétricos (iluminação, refrigeração, ar-condicionado, bombeamento de água, eletrônicos, etc.) são projetados com base em uma regressão histórica ao PIBpc, que reflete o aumento dos usos elétricos com o padrão de vida. No caso particular do ar-condicionado, o potencial aumento das temperaturas no futuro, como consequência das alterações climáticas, poderá aumentar as necessidades da sua utilização. Além disso, melhorias na eficiência energética.

## Setor comercial, serviços e público

---

Para estimar o consumo energético do setor comercial, partiu-se do consumo do ano 2019 e foi projetado **a partir do crescimento do PIB e da intensidade energética obtida para o ano base**, por fonte, sem diferenciar por uso final. São propostas diferentes premissas quanto à eficiência energética e substituição entre combustíveis

<sup>25</sup> Supõe-se que o aumento do poder de compra (PIB per capita) conduz a um aumento da demanda por níveis mais elevados de conveniência e conforto por parte dos indivíduos. Isto implica um aumento do consumo corrente para níveis internacionais compatíveis com um nível de vida digno. Como grande parte da população brasileira vive em áreas com climas mais quentes que os observados na Espanha e em Portugal, o objetivo é que uma parcela dos valores observados nestes países.

## Setor industrial

---

A indústria foi projetada com informações de consumo de energia para 2019 desagregadas com um dígito da Classificação Industrial Uniforme Internacional (ISIC) além do PIB setorial por **ramo de atividade**. São modeladas sete filiais, incluindo alimentos e bebidas; ferro, ligas e aço; papel e celulose, e cimento e cerâmica têm o maior peso no consumo de energia. Por sua vez, para cada ramo industrial, o consumo é desagregado por usos finais (calor direto, calor indireto, força motriz, etc.) e por fontes.

Para a **projeção** do consumo de energia é utilizado o **crescimento esperado do PIB, juntamente com a intensidade energética por ramo e utilização** obtida para o ano de 2019, principalmente a partir dos balanços energéticos finais e úteis disponíveis. Partiu-se da premissa de que os ramos de atividade manterão sua participação no PIB industrial total durante o horizonte de planejamento<sup>26</sup>. A eficiência energética se modela através de uma redução da intensidade energética, enquanto as substituições entre combustíveis são feitas em termos de energia útil, com taxas de participação anuais.

## Setor transporte

---

O setor transporte é projetado conforme a seguinte estrutura para refletir os principais motores que variam segundo cada segmento:

- transporte rodoviário de passageiros (automóveis, motos, ônibus, etc.);
- transporte rodoviário de cargas (caminhões, carretas);
- outros (aéreo, marítimo e fluvial, ferroviário).

<sup>26</sup> Esta premissa implica que as mudanças estruturais no setor industrial não são modeladas pela aplicação da mesma taxa de crescimento do PIB para todos os ramos de atividade.

## Transporte rodoviário de passageiros

Para determinar o nível de consumo energético ou nível de atividade do setor transporte rodoviário de passageiros, estimou-se:

- a **evolução da frota automotiva** (quantidades de motos, carros, camionetes, ônibus, etc.) e
- o **consumo médio por veículo** calculado como percurso médio anual, dividido o rendimento em km por unidade de energia.

### Projeção da frota automotiva de passageiros

- Transporte privado (motos, autos, camionetas)

Primeiramente, foram identificados países com alto grau de desenvolvimento e estimado o número médio de automóveis e motocicletas por 1.000 habitantes nesses países. Essa média foi utilizada como **ponto de saturação** de longo prazo (2060) e as projeções foram feitas por meio de uma função logística<sup>27</sup> para estimar a quantidade de veículos de transporte privado a futuro.

Adicionalmente, para estimar o número de veículos por tipo (motocicletas/ carros), foram utilizadas as conclusões de Law (Law, 2015) sobre a relação entre o **número de motocicletas por cada 1.000 habitantes e o PIB per capita em forma de “U” invertido**<sup>28</sup>. Este último implica que, inicialmente, o número de motocicletas por 1.000 habitantes tem uma relação positiva com o PIB per capita até um máximo, a partir do qual, à medida que aumenta o nível de desenvolvimento dos países, o número de motocicletas começa a diminuir e o número de carros aumenta.

- Transporte público (ônibus)

<sup>27</sup> A função *logit* ou curva logística ou curva em forma de S é uma função matemática usada em modelos de crescimento populacional, introdução de produtos e outros. Esta função constitui um refinamento do modelo exponencial para o crescimento de uma magnitude. O crescimento na introdução de produtos é inicialmente exponencial; Depois de um tempo, a taxa de crescimento diminui; finalmente, na maturidade, o crescimento pára.

<sup>28</sup> Law, Hamid & Goh (2015), *The motorcycle to passenger car ownership ratio and economic growth: A cross-country analysis*.

Tal como acontece com o transporte privado, o número médio de veículos de passageiros por 1.000 habitantes nos países desenvolvidos foi considerado o ponto de saturação esperado dos países em desenvolvimento no longo prazo; uma função também foi usada logística.

## Transporte rodoviário de cargas

Para determinar o nível de consumo energético ou nível de atividade do setor transporte de cargas, foi estimado:

- a **evolução da frota automotiva** (quantidades de camiões + carretas) e
- o **consumo médio por veículo** calculado como percurso médio anual, dividido o rendimento em km por unidade de energia.

### Projeção da frota automotiva de cargas

Para estimar a evolução futura da frota de veículos de carga, as frotas de transporte de mercadorias foram projetadas com o método de regressão linear utilizando o PIB total (medido em PPC 2017) como variável independente.

O transporte de cargas é segmentado em dois tipos de caminhões: caminhões e carretas; Estes últimos são aqueles com cargas pesadas que transportam reboques. As participações de cada tipo de caminhão foram projetadas constantes.

## Setor aéreo, marítimo e fluvial, e ferroviário

---

O consumo energético para o setor foi projetado a partir do **crescimento do PIB global e a intensidade energética** obtida para 2019, para cada tipo de transporte, por fonte e sem diferenciar por uso final.

**“A modelagem detalhada da demanda energética, desagregada por setor, ramos, usos finais e tipos de combustíveis, juntamente com a projeção da oferta energética por tecnologias, permite uma análise precisa dos diferentes perfis de emissões e das oportunidades de substituição.”**

## Setor agropecuário, pesca, mineração e construção

O consumo de energia deste setor foi projetado com base no crescimento do PIB e na intensidade energética obtida para o ano de 2019, por fonte e sem diferenciação por uso final. As medidas de transição consideradas foram melhorias em termos de eficiência energética e substituição entre combustíveis.



### Setor elétrico



O ponto de partida foi a composição atual da capacidade instalada e da geração. Para cobrir o crescimento do setor no curto e médio prazo, o desenvolvimento do setor elétrico considera projetos em construção ou vencedores de leilões que já apresentam um grau muito elevado de certeza e progresso.

No futuro, a expansão do parque gerador dependerá de:

- a competitividade importância relativa das opções de expansão (projetos renováveis, particularmente solares e eólicos, são considerados cada vez mais competitivos devido à redução projetada nos seus custos de construção e desenvolvimento);
- o potencial máximo de desenvolvimento de projetos por tecnologias, conforme publicado nacionalmente. Este potencial é considerado um limite máximo;
- decisões de política energética indicadas no plano de expansão da geração;
- o contexto local de desenvolvimento do projeto por tipo.

A expansão do parque de geração considera aspectos tais como:

- O fator de produção médio, por tecnologia e por país para os projetos renováveis;
- a capacidade ou energia firme que pode dar cada tecnologia;
- o fator de produção mínimo a partir do qual se desenvolvem novos projetos térmicos;
- a estimativa da demanda elétrica<sup>29</sup>, incluindo perdas e consumo próprio.

A análise se faz anualmente (Ou seja, não se trata de um exercício detalhado de simulação horária, mas sim de uma estimativa de alto nível como primeira estimativa no contexto de uma análise de transição energética de longo prazo).

Embora na maioria dos países sejam necessários meios de flexibilidade (armazenamento, gestão da demanda) para acompanhar o desenvolvimento das energias renováveis não convencionais (NCRE), foi feita uma estimativa de alto nível no capítulo sobre financiamento<sup>30</sup>.

<sup>29</sup> As projeções apresentadas neste relatório não incluem a procura elétrica associada ao processo de eletrólise para produção de hidrogénio verde para consumo local e/ou exportação, nem a correspondente capacidade elétrica.

<sup>30</sup> As tecnologias atuais não são competitivas e esperam-se melhorias na sua produtividade que não permitem estabelecer com certeza o grau de penetração que poderiam alcançar.

## 3. Cenários e marco global



### Definição dos cenários

Três cenários foram estudados para caracterizar diferentes caminhos para uma transição energética justa. Ver descrição detalhada no capítulo “Seção metodológica e premissas”, relatório de premissas de *Transição Energética Justa / Projeção*.

O cenário **Business As Usual (BAU)** representa a evolução esperada **segundo as diretrizes das políticas públicas nacionais e as tendências atuais**. As premissas baseiam-se na análise das tendências históricas recentes em termos de transição energética em cada país estudado, bem como do caminho percorrido pelos países mais desenvolvidos, para identificar medidas de mitigação para rápida implementação. Apesar de neste cenário não serem esperadas mudanças disruptivas e o compromisso de emissões líquidas zero não for cumprido durante o horizonte de planejamento, cabe ressaltar que são necessários investimentos para dar continuidade às políticas de transição energética já desenvolvidas no Brasil.

Por outro lado, os cenários **Net Zero 2050 (NZ 2050)** e **Net Zero 2060 (NZ 2060)** se apresentam em função do estabelecido no artigo 4 do Acordo de Paris<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> Acordo de Paris, parágrafo 4.1: “atingir um equilíbrio entre as emissões antropogênicas por fontes e a absorção antropogênica por sumidouros na segunda metade do século”.

Ambos os cenários se enfocam em diminuir as emissões de GEE do setor energia<sup>32</sup> a um mínimo permissível<sup>33</sup>, de modo que o país consiga gerenciar a absorção de CO<sub>2</sub> no balanço geral do inventário nacional de GEE<sup>34</sup>.

São cenários que exigem investimentos significativos e o enfrentamento de diversas questões para **transformar profundamente o atual setor energético**. Tais temas incluem, por exemplo, o fortalecimento das bases tecnológicas, a formação de recursos humanos, o planejamento energético, os facilitadores regulatórios, a expansão da infraestrutura e dos instrumentos para desenvolver o mercado de novos recursos energéticos, bem como as **mudanças**, em alguns casos disruptivas, da matriz energética, entre outros.



## Projeções das variáveis socioeconômicas

### PIB per capita e PIB

Alinhado com os fundamentos de uma **transição energética justa** (TEJ), os cenários propostos são acompanhados de um desenvolvimento socioeconômico similar na região, **atingindo níveis de PIB per capita suficientes para ser considerados países de alta renda**. No caso do Brasil, o PIB per capita atingirá USD 37.000 PPP per capita em 2060, com uma taxa de crescimento de 2,3% anual durante o período.

<sup>32</sup> A análise efetuada centra-se nas emissões relacionadas com a queima de combustíveis, tanto nos processos de demanda de energia por setor, como na produção de eletricidade. As emissões de GEE de outros setores (por exemplo, processos industriais, resíduos, emissões fugitivas, etc.) não são detalhadas neste estudo, mas são estimadas aproximadamente e subtraídas da estimativa nacional do potencial de redução.

<sup>33</sup> Entende-se que a redução das emissões deve ser alcançada através de uma articulação eficaz de medidas regulatórias, promoção de eficiências de mercado, transferência de tecnologia e investimentos.

<sup>34</sup> Prevê-se que as absorções de CO<sub>2</sub> provenham de medidas implementadas no setor da agricultura, pecuária, silvicultura e outros usos do solo (AFOLU) ou através da adoção de tecnologias de captura, utilização e armazenamento de CO<sub>2</sub>, tecnologia de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS).

Tabela 10

► Indicadores socioeconômicos e TCMC entre 2019 e 2060, %

		2019	2030	2040	2050	2060	TCMC
PIB per capita	USD per capita	14.685	16.882	21.713	29.179	37.275	2,3%
PIB total	MUSD	3.110.059	3.779.951	4.996.912	6.736.951	8.460.524	2,5%
População	1.000 habitantes	211.783	223.909	230.132	230.886	226.977	0,2%

Fonte: Elaboração própria.

O PIB por setor é projetado supondo que se mantém a proporção de cada setor conforme os valores de 2021. Isso se traduz em uma taxa de crescimento do PIB por setor igual à taxa de crescimento do PIB total.

## População

Quanto à projeção da população, foi usada a informação do CEPALSTAT<sup>35</sup>. No Brasil, espera-se uma desaceleração do crescimento da população no futuro, com um crescimento negativo a longo prazo.

<sup>35</sup> <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?theme=1&lang=es>

## 4. Principais premissas do setor energia

O quadro geral do estudo abrange a definição de instalações para **cinco países-alvo**. Embora cada país tenha características próprias, o estudo padroniza, quando possível, as premissas utilizadas e assume que os países passarão por processos semelhantes para uma transição energética justa. Foram consideradas as particularidades inerentes a cada país; por exemplo, a indústria do carvão na Colômbia, os biocombustíveis no Brasil, o gás recursos naturais a preços muito competitivos no México, o gás no Peru e a escassez de recursos naturais fósseis na República Dominicana, entre outros.

Para atingir os objetivos de descarbonização definidos em cada cenário, os pressupostos considerados foram mais ambiciosos no caso dos cenários net zero (NZ). As principais premissas baseiam-se nas medidas descritas abaixo.

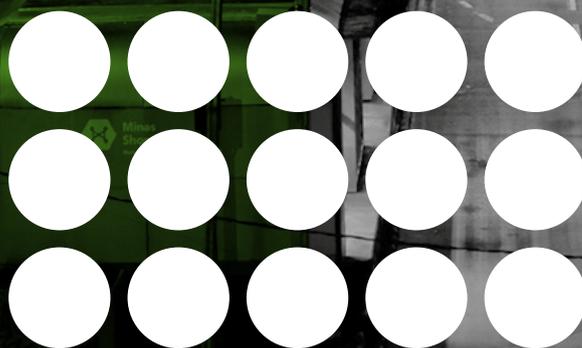
- **Melhorias em eficiência energética.** Isto aplica-se a todos os setores, com substituição de equipamentos, maior eficiência térmica das habitações, otimização da utilização de energia nos processos industriais e mudança tecnológica para dispositivos e instalações mais eficientes, maior eficiência dos veículos de transporte, etc.
- **Mudanças de condutas.** Isto refere-se, em particular, à redução dos percursos médios dos veículos (km/veículo) como consequência da digitalização da sociedade (teletrabalho, etc.), ao desenvolvimento dos transportes públicos, às melhorias logísticas e à transferência do carregamento dos camiões de transporte para sistemas ferroviário.

- **Substituição de combustíveis.** Na maioria dos setores há uma tendência para uma maior electrificação dos usos, com excepção dos usos industriais ou ramos onde a possibilidade de electrificação é baixa. Nestes casos, a substituição de combustíveis com maiores emissões de CO<sub>2</sub> por gás natural ou a utilização de tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> são as opções projetadas. O hidrogénio e os derivados de baixas emissões também podem contribuir para a descarbonização do setor industrial (fertilizantes, refinação) e do transporte pesado terrestre, marítimo e aéreo (combustíveis sintéticos).
- **Matriz de geração elétrica com tecnologias não fósseis.** É encorajado um desenvolvimento muito significativo da energia renovável e, em alguns casos, nuclear, assim como o encerramento de centrais de carvão e de combustíveis líquidos. É importante lembrar que a composição da geração elétrica é fundamental em cenários onde se propõe uma forte eletrificação da matriz de consumo para garantir que essa substituição tenha o efeito esperado em termos de redução de GEE. Esta integração das energias renováveis deve ser acompanhada pelo desenvolvimento de infraestruturas de rede, redes inteligentes e baterias para facilitar a integração da produção elétrica variável.

As premissas detalhadas por setor são apresentadas no capítulo “Resultados e premissas por setor”. De referir que os setores com maior potencial de redução de emissões em valor absoluto são os setores dos transportes e da indústria, que hoje são responsáveis por cerca de dois terços das emissões do setor energia.

# 3

Cenários  
de transição



# 1. Resultados globais

Os resultados globais apresentados a seguir refletem a soma das premissas adotadas por cada setor.

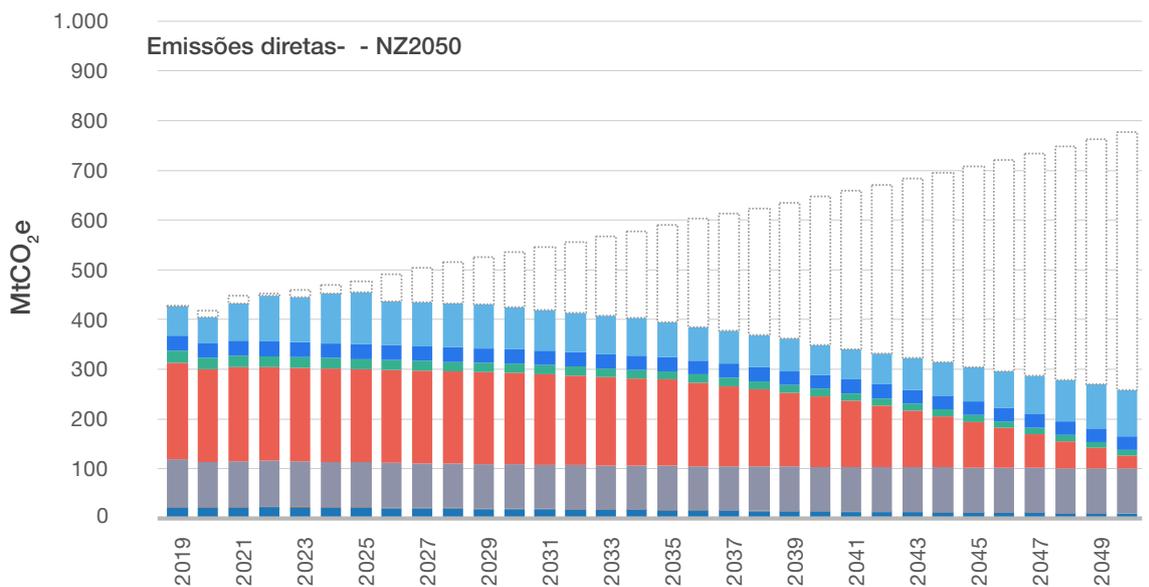
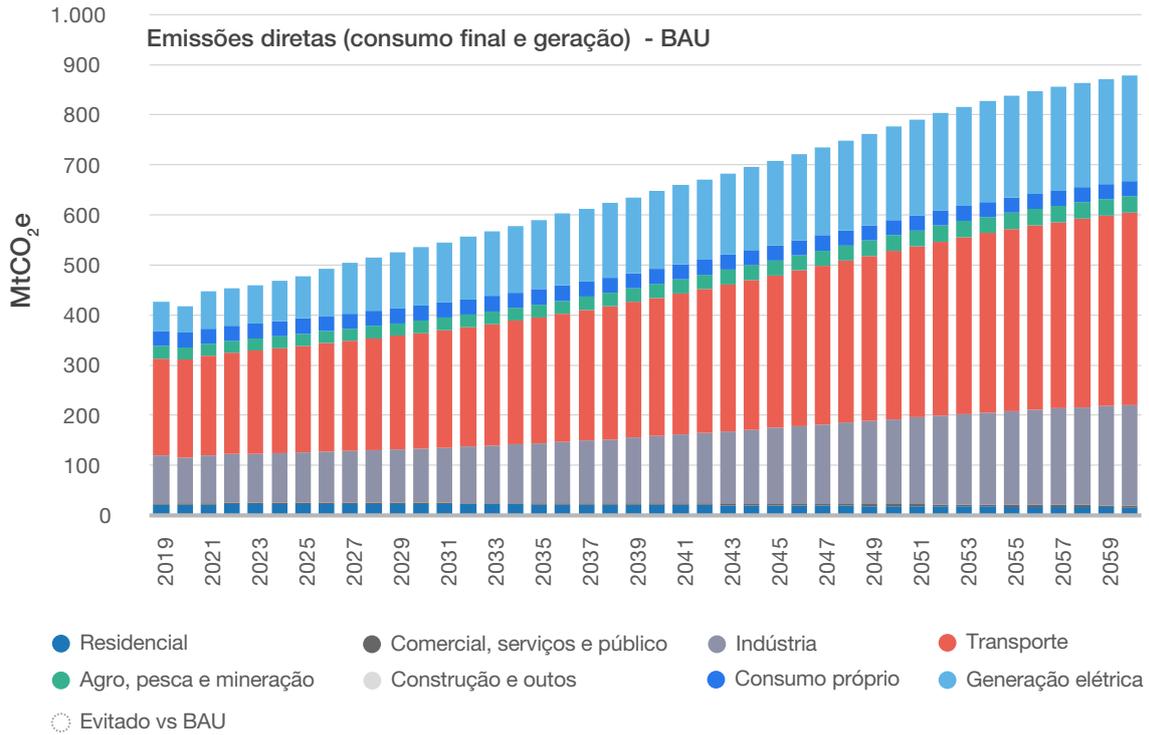


## Emissões por setor

No **cenário BAU**, as emissões relacionadas com a queimada de combustíveis crescem a um ritmo médio anual de 1,8%, passando de 426 MtCO<sub>2</sub>e em 2019 a 879 MtCO<sub>2</sub>e em 2060. Apesar de este **aumento** ser contínuo, é **menor que o crescimento esperado do PIB**, o que demonstra uma certa melhoria ambiental da economia. Este cenário está Muito acima da capacidade de absorção de CO<sub>2</sub> do país, estimada em 300 MtCO<sub>2</sub>e por ano<sup>36</sup>.

<sup>36</sup> <https://climateactiontracker.org/countries/brazil/>. As absorções devem cobrir não apenas o setor energético, mas também os setores de processos industriais e uso de produtos (IPPU, por suas siglas em inglês), projetos, etc. Estima-se que as emissões devem ser inferiores a 250 MtCO<sub>2</sub>e no setor energético.

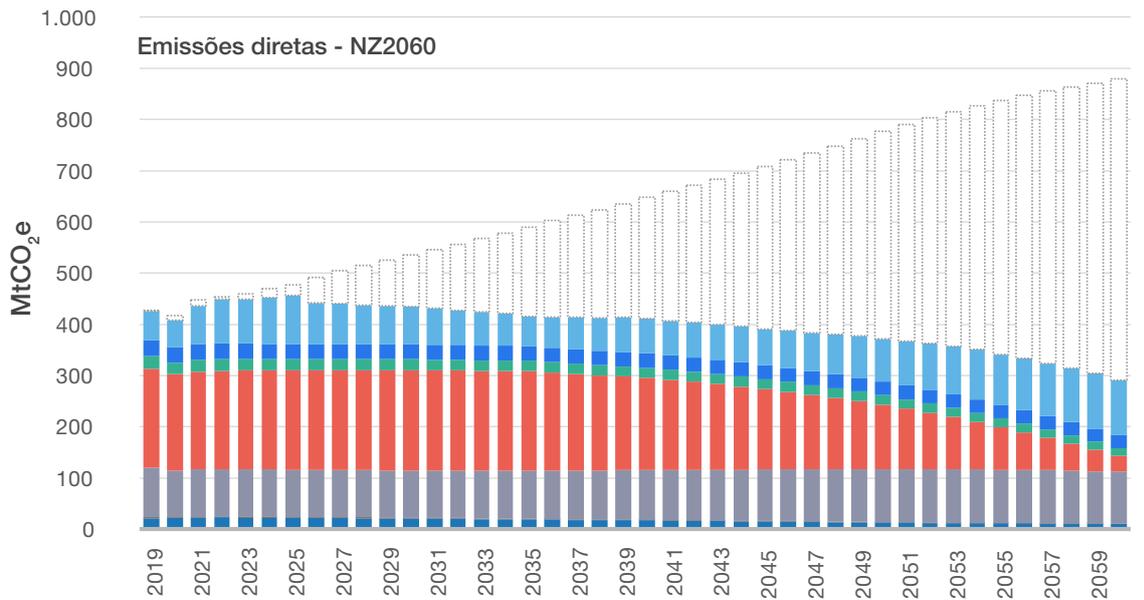
**Gráfico 37 A** ▶ Emissões diretas (consumo final e geração) por setor (MtCO<sub>2</sub>e)



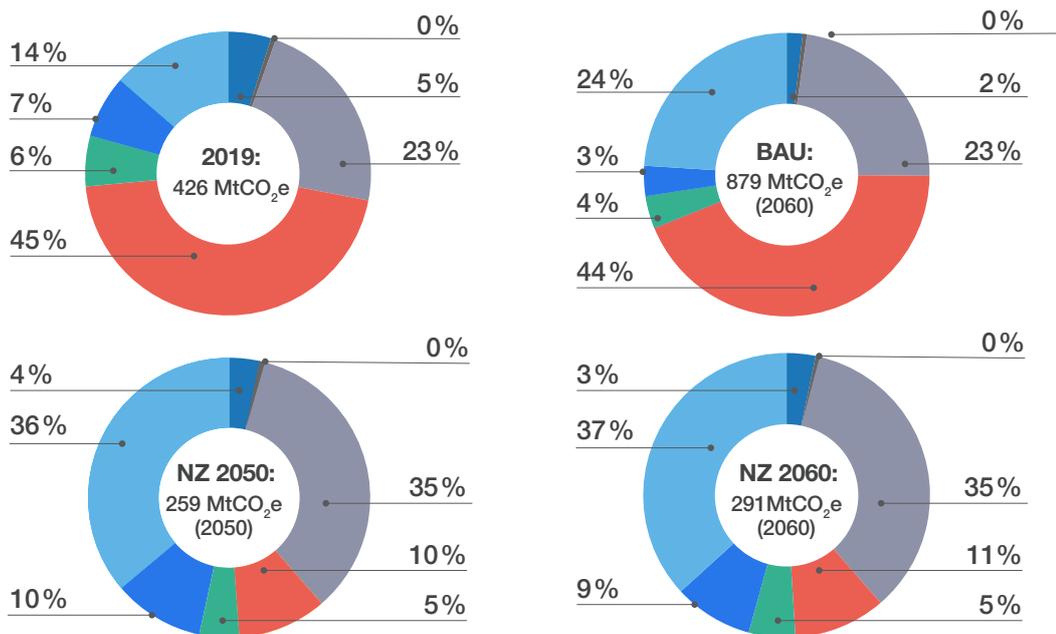
Fonte: Elaboração própria. As emissões diretas não refletem o potencial de absorção por captura de carbono.

Gráfico 37 B

Emissões diretas (consumo final e geração) por setor (MtCO<sub>2</sub>e)



- Residencial
- Agro, pesca e mineração
- Evitado vs BAU
- Comercial, serviços e público
- Construção e outros
- Indústria
- Consumo próprio
- Geração elétrica
- Transporte



Fonte: Elaboração própria. As emissões diretas não refletem o potencial de absorção por captura de carbono.

Nos **cenários NZ**, as emissões diretas foram de 259 MtCO<sub>2</sub>e no ano 2050 (cenário NZ 2050) e 291 MtCO<sub>2</sub>e no ano 2060 (cenário NZ 2060). Se considerarmos a captura de carbono de 20 MtCO<sub>2</sub> anuais (cenário NZ 2050) e de 50 MtCO<sub>2</sub> anuais (cenário NZ 2060), as emissões resultantes são baixas para 239 MtCO<sub>2</sub>e no ano 2050 (cenário NZ 2050) e 241 MtCO<sub>2</sub>e no ano 2060 (cenário NZ 2060). A captura e armazenamento de carbono (CCS, por suas siglas em inglês) permitirão reduzir as emissões diretas correspondentes ao setor industrial e à geração elétrica, e também cumprir o **objetivo de emissões líquidas zero**. O ritmo promissor anual de redução das emissões é localizado em -1,9% (cenário NZ 2050) e -1,4% (cenário NZ 2060) se for considerado o potencial de CCS.

Para cumprir com o objetivo de emissões líquidas zero, as emissões totais devem ser reduzidas à metade durante o horizonte do avião, em comparação com as emissões atuais.

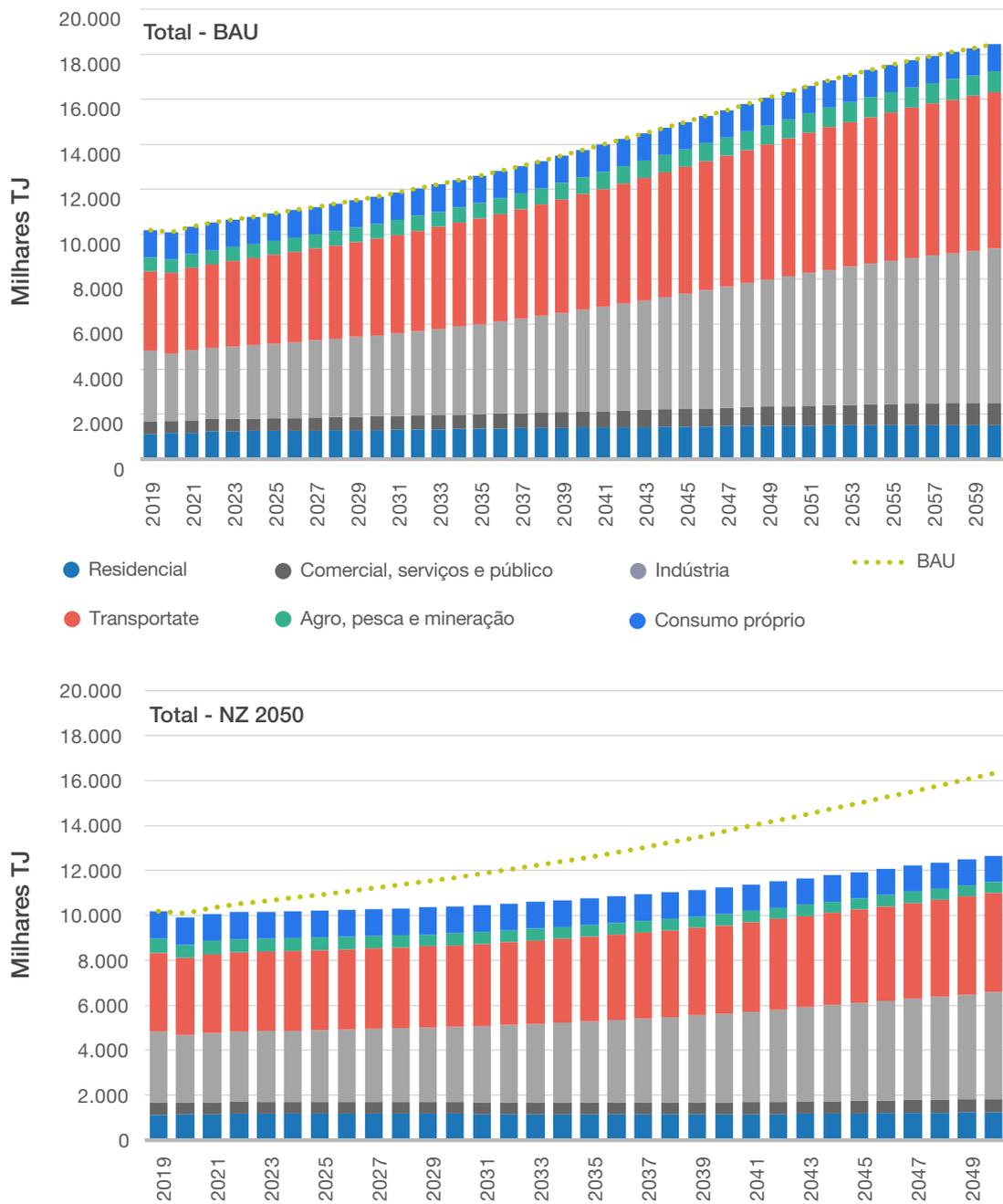


## Demanda energética por setor

No cenário BAU, a demanda quase se duplicou no período de estudo e chegou ao alcance de 18.500 milhas do TJ em 2060. Nos cenários NZ, a demanda cresceu ligeiramente devido aos maiores efeitos de eficiência e substituição de combustíveis. Em todos os cenários, o **crescimento da demanda é maior que o das emissões de GEE**.

Gráfico 38 A

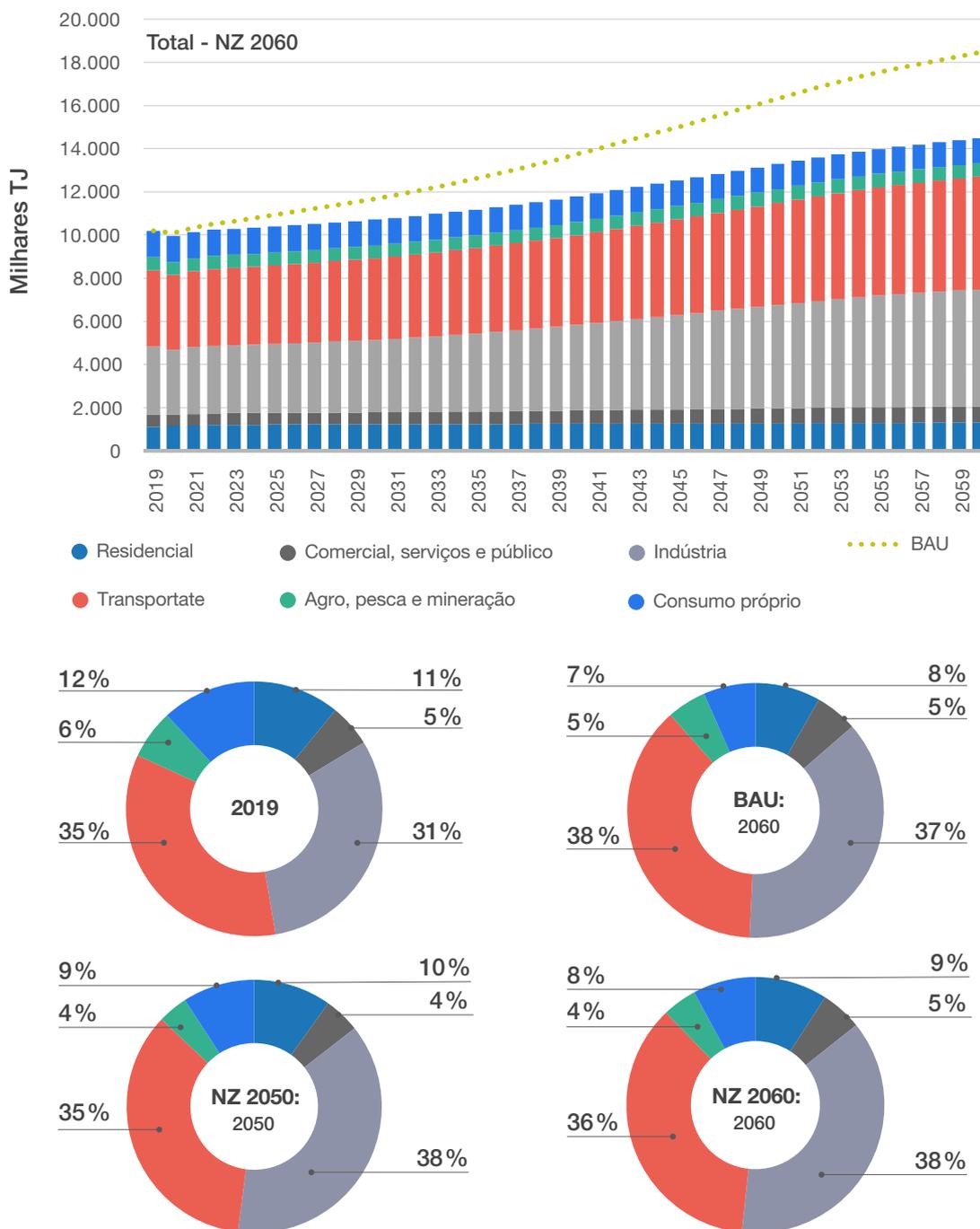
► Consumo final por setor e consumo próprio, por cenário (milhares de TJ)



Fonte: Elaboração própria. Consumo não energético não incluído.

**Gráfico 38 B**

► Consumo final por setor e consumo próprio, por cenário (milhares de TJ)



Fonte: Elaboração própria. Consumo não energético não incluído.

Tabela 11

► Demanda total por cenário, milhares de TJ e TCMC (%)

Demanda (milhares TJ)	2019	2030	2040	2050	2060	TCMC (%)
BAU	10.194	11.680	13.735	16.327	18.456	1,5%
NZ 2050	10.194	10.405	11.248	12.661		0,7%
NZ 2060	10.194	10.710	11.779	13.283	14.465	0,9%

Fonte: Elaboração própria. Consumo não energético não incluído.

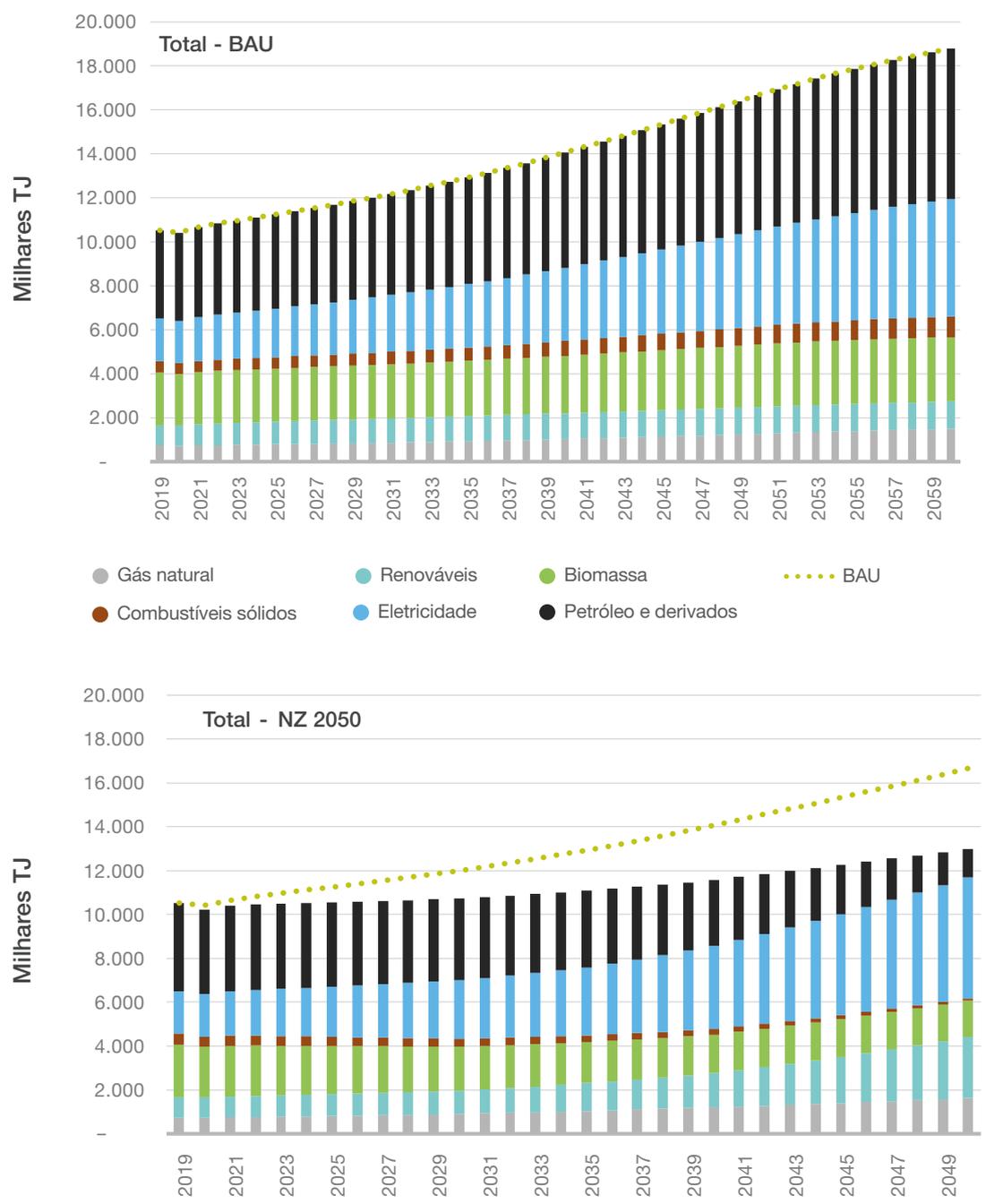
Em todos os cenários, a participação relativa da demanda por setor não variava de forma muito significativa e os setores de transporte e indústria somavam cerca de 70% da demanda. A maioria dos setores tem tarefas de crescimento semelhantes, o que reflete que **todos os setores participam dos esforços de transição**.



## Demanda energética por fonte

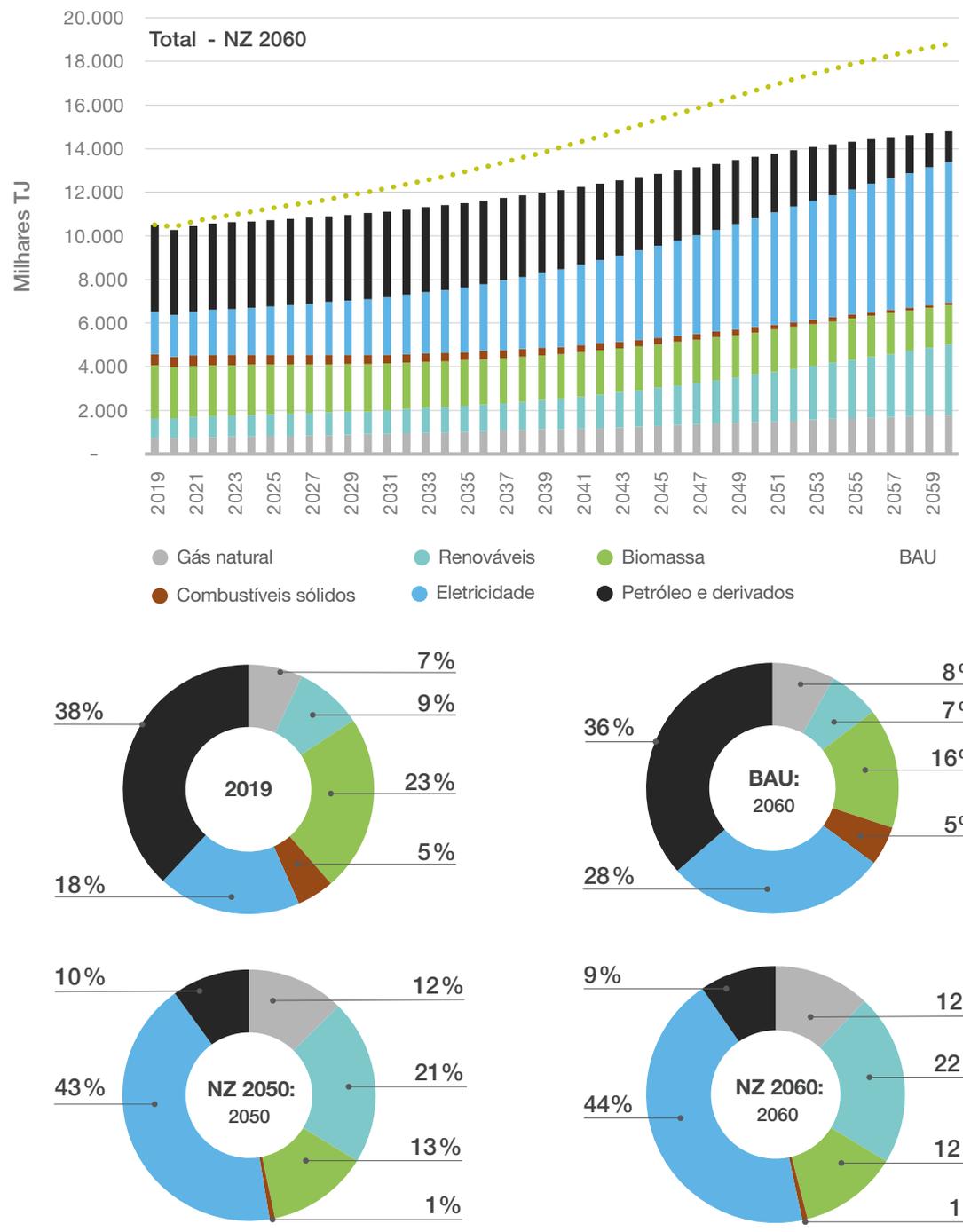
Por combustível, observa-se uma **forte tendência à eletrificação e no uso de combustíveis verdes** para todos os cenários. O cenário BAU reflete um aumento no consumo de carbono, biomassa e combustíveis fósseis, e um aumento mais pronunciado de gás natural e eletricidade (medido na taxa de crescimento). Os cenários NZ apresentam hipóteses de eletrificação mais acentuadas (aproximadamente 45% do consumo total final) e uma substituição parcial tanto do carbono quanto da lenha, como dos combustíveis líquidos. Os combustíveis verdes e sintéticos, e o solar térmico, vão se desenvolvendo a longo prazo. O uso de biomassa sustentável cresce levemente.

**Gráfico 39 A** ▶ Consumo final e consumo próprio por fonte e cenário, milhares de TJ



Fonte: Elaboração própria. NB: A categoria de renováveis inclui energia solar térmica, bioetanol, biodiesel, diesel verde e combustíveis sintéticos. A categoria petróleo e resultados inclui GLP.

**Gráfico 39 B** ▶ Consumo final e consumo próprio por fonte e cenário, milhares de TJ



Fonte: Elaboração própria. NB: A categoria de renováveis inclui energia solar térmica, bioetanol, biodiesel, diesel verde e combustíveis sintéticos. A categoria petróleo e resultados inclui GLP.



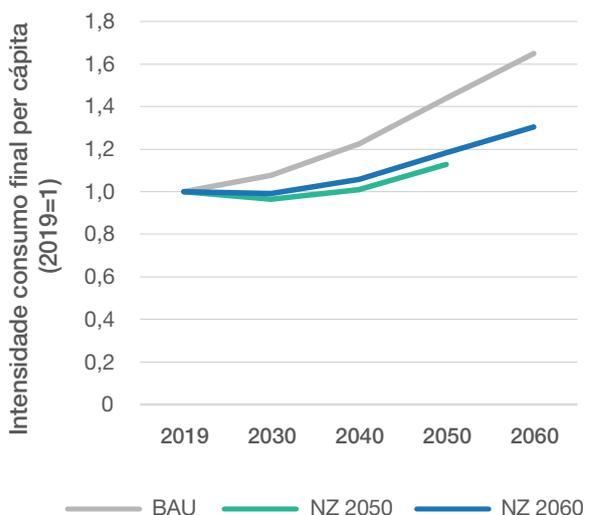
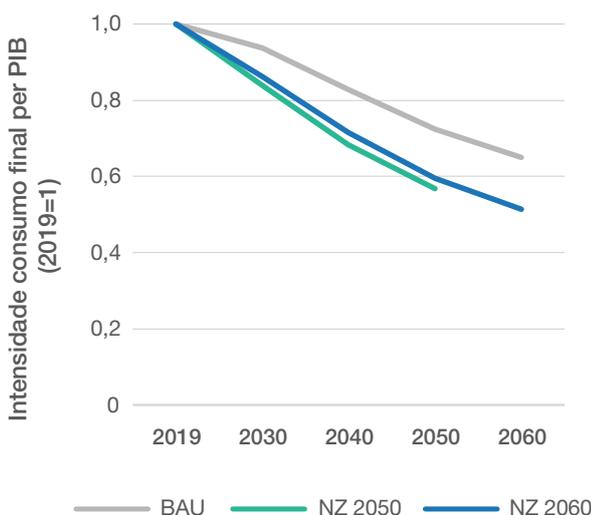
## Intensidade energética e ambiental

No cenário BAU, a intensidade energética medida em termos económicos (consumo final/PIB total) é reduzida em cerca de 35% ao longo do período (-1,0% anualmente), enquanto no cenário NZ 2050 e NZ 2060 é reduzida em cerca de 50% (-1,8% e -1,6% anualmente, respectivamente).

Medido em termos de população (consumo final per capita), o consumo unitário total cresce no cenário BAU em cerca de 65%, enquanto nos cenários NZ 2050 e NZ 2060 cresce 13% e 30%, respectivamente. Estes valores refletem a evolução necessária do consumo final para acompanhar o desenvolvimento económico do país e colmatar as atuais lacunas de consumo.

Gráfico 40

► Intensidade energética unitária (2019=1), milhares de TJ/MUSD PPP 2017 (esquerda) e milhares de TJ per capita (direita)

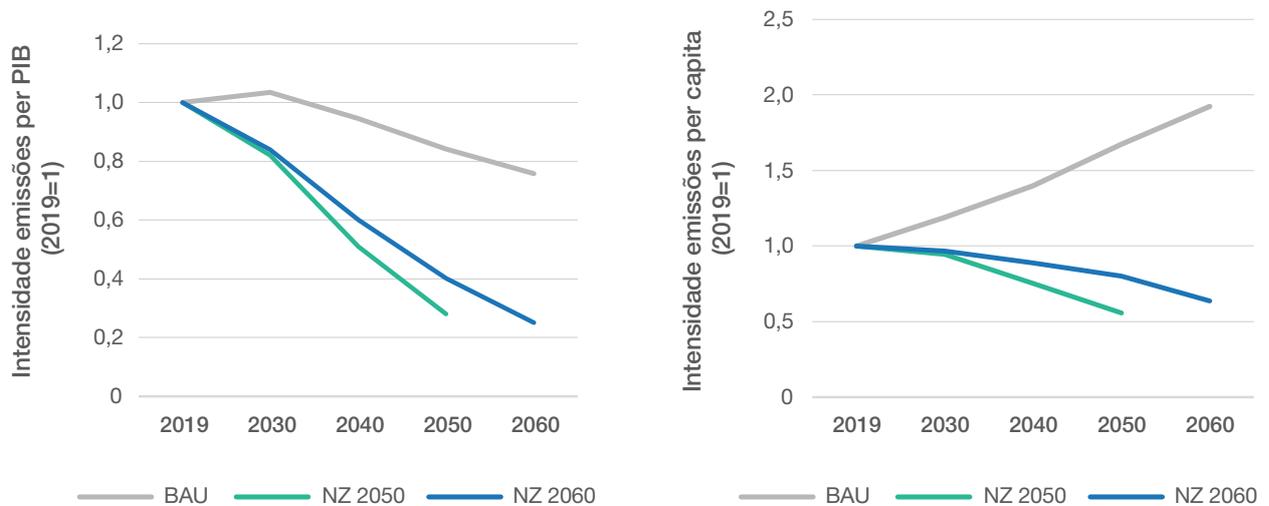


Fonte: Elaboração própria.

É preciso uma redução significativa da intensidade energética para conseguir cumprir com os objetivos do Acordo de Paris. Esta redução reflete a **dissociação entre crescimento econômico e consumo energético**. As premissas adotadas para implementar as soluções propostas (ver relatório *Transição Justa de Energia / Premissas do Projeto*) para a transição energética no Brasil nos permitem alcançar um alto nível de descarbonização no futuro e **promover uma economia mais desenvolvida e eficiente**.

Gráfico 41

► Intensidade ambiental unitária (2019=1), tCO<sub>2</sub>e/milhares USD PPP 2017 (esquerda) e tCO<sub>2</sub>e per capita (direita)



Fonte: Elaboração própria.

A intensidade ambiental unitária, medida em termos de economia (emissões de GEE/PIB total) e população (emissões de GEE per capita), é reduzida de forma mais significativa do que a intensidade energética para todos os cenários e reflete a redução nas emissões por unidade de energia consumida. Para atingir emissões líquidas zero, as emissões do ano base por unidade do PIB devem ser reduzidas entre 70% e 75%.

## 2. Resultados e premissas por setor



### Setor residencial

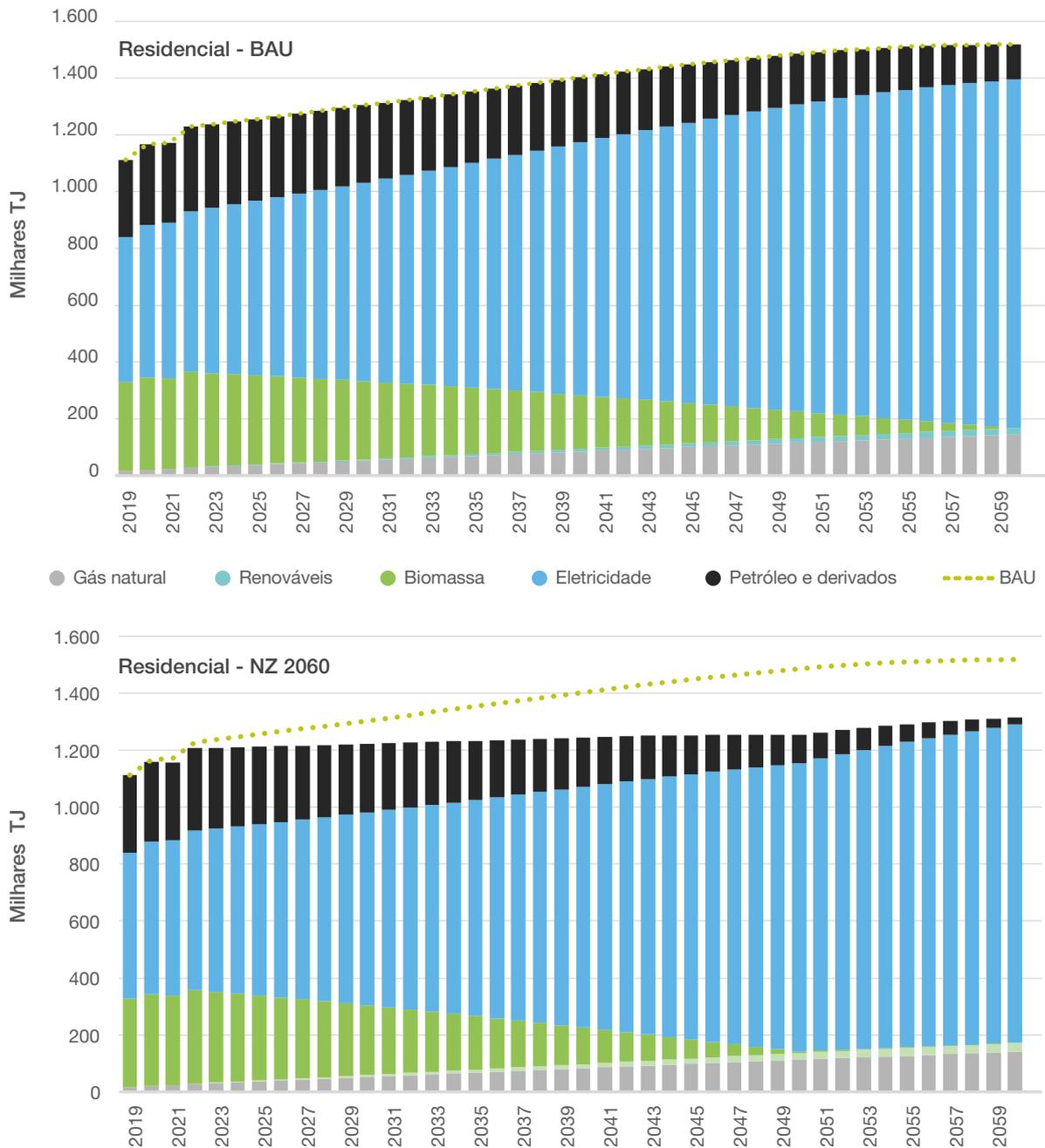
O setor residencial é o quarto setor em termos de demanda de energia (11% em 2019). É responsável por um volume limitado de emissões (21 Mt CO<sub>2</sub>e), mas existe potencial para reduzi-las ainda mais com medidas de transição energética. Este setor é caracterizado por:

- um elevado consumo de lenha, com grande potencial de electrificação (e, por sua vez, grandes ganhos de eficiência<sup>37</sup>). Este consumo de lenha (28% do consumo final do setor) corresponde aos segmentos mais vulneráveis da população; ou seja, a sua substituição é possível num contexto de aumento do nível de vida e de programas de apoio ao setor. A utilização para cozinhar representa 56% do consumo final do setor;
- outras utilizações (AQS, eletrodomésticos, ar-condicionado, etc.) com potencial de crescimento, à medida que o nível de vida aumenta, em linha com o que se observa nos países desenvolvidos.

<sup>37</sup> Estima-se que a utilização de eletricidade ou gás natural em vez de lenha para cozinhar permite uma economia de energia final muito significativa.

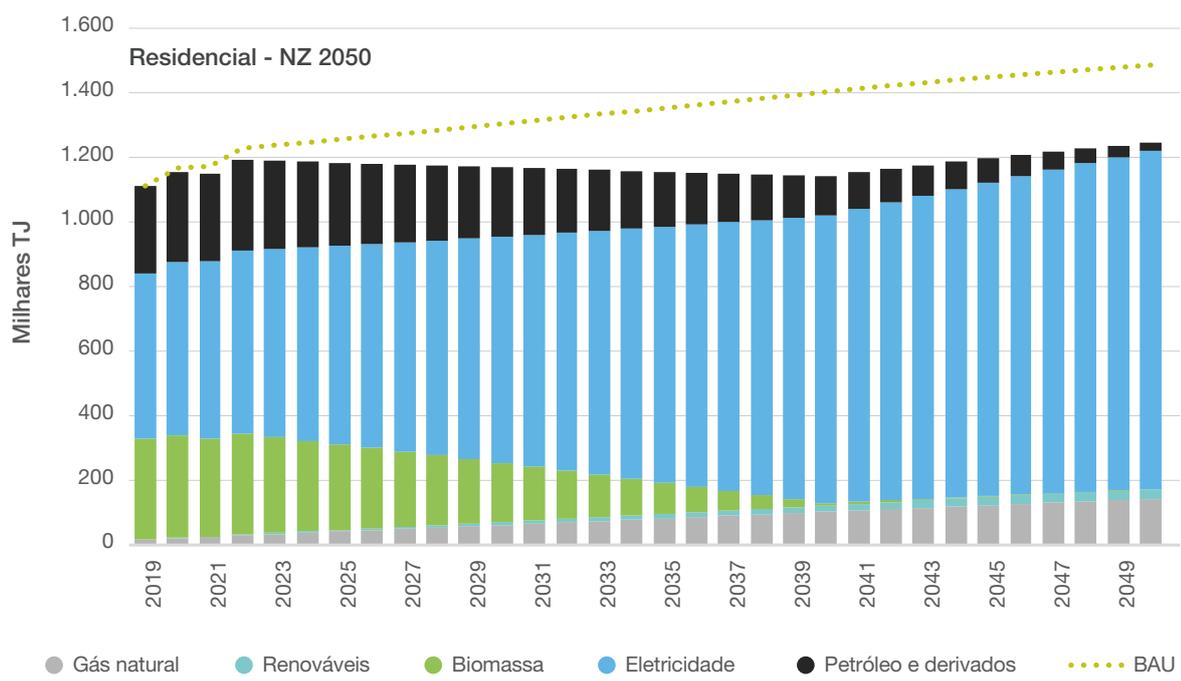
Gráfico 42 A

► Setor residencial: resultados por combustível e por cenário (10<sup>3</sup>TJ)



Fonte: Elaboração própria. NB: A categoria Renováveis se refere a solar térmico. A categoria petróleo e derivados inclui GLP.

**Gráfico 42 B** ▶ **Setor residencial: resultados por combustível e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)**



Fonte: Elaboração própria. NB: A categoria Renováveis se refere a solar térmico. A categoria petróleo e derivados inclui GLP.

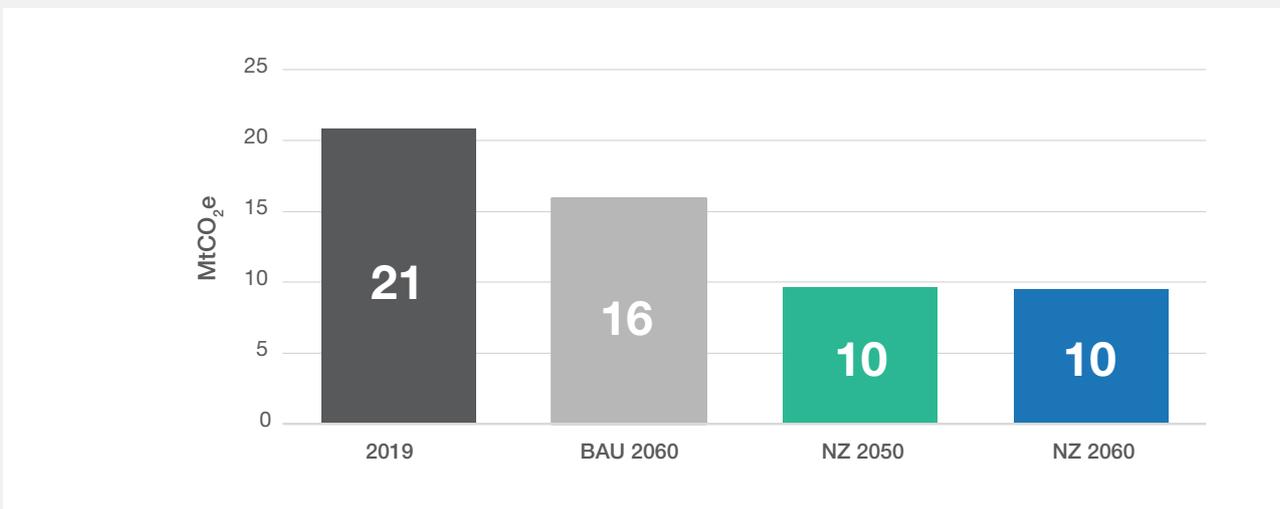
No cenário BAU (gráfico à esquerda), observa-se um aumento na demanda residencial de energia de 37% no período (0,76% ao ano), impulsionado principalmente por novos usos elétricos (incluindo ar-condicionado), que deverão acompanhar o aumento projetado em o padrão de vida. A lenha é substituída no final do período. O consumo de eletricidade e de gás natural está a crescer consideravelmente.

Nos cenários NZ 2050 e NZ 2060, o consumo de eletricidade representa uma grande parte do consumo final (84% e 85%, respectivamente); há sobra de gás natural e introdução de solar térmico para aquecimento de águas domésticas. Por sua vez, a substituição da biomassa ocorre com maior velocidade. Maiores

esforços de eficiência energética<sup>38</sup>, tanto para dispositivos como para edifícios, permitem compensar – em grande medida – os novos usos que acompanham o aumento do PIB per capita (a intensidade energética do setor, medida como demanda per capita, é bastante estável ao longo do período).

**Gráfico 43**

► **Setor residencial: emissões diretas por cenário (MtCO<sub>2</sub>e)**



Fonte: Elaboração própria.

As emissões de CO<sub>2</sub>e são reduzidas em 24% no cenário BAU, enquanto diminuem 54% nos cenários NZ, no longo prazo, graças a medidas de eficiência energética e à eletrificação a partir de fontes de geração limpa.

<sup>38</sup> Existem apenas duas linhas de ação para aumentar a eficiência energética em todos os setores: mudança tecnológica e boas práticas de utilização de energia. Por exemplo, a substituição da iluminação por lâmpadas incandescentes por unidades de descarga (lâmpadas economizadoras) e, posteriormente, por lâmpadas LED, o que ocorreu na maioria dos países, produz por si só uma redução da potência luminosa instalada de até 80%. No entanto, isto traduzir-se-ia numa redução semelhante em termos de consumo de energia apenas se os mesmos padrões de utilização anteriores à substituição fossem mantidos. Ou pode ser maior se houver mais cuidado no uso das luzes (com sensores de movimento, por exemplo); por outro lado, pode ser menor se as luzes permanecerem acesas por mais tempo ao mudar para LEDs. Não basta mudar a tecnologia, mas é preciso aplicar o que se costuma chamar de “boas práticas de utilização de energia e de manutenção e operação de instalações e equipamentos”.

Na prática, as medidas de transição energética necessárias para limitar as emissões de GEE no setor residencial correspondem a tecnologias maduras (fogões elétricos, aparelhos elétricos mais eficientes, bombas de calor para aquecimento ou ar-condicionado, maior eficiência térmica das habitações, etc.). No entanto, a sua implementação significa um esforço enorme em todas as casas e colmatar as lacunas de consumo das famílias com rendimentos mais baixos, o que garantiria uma transição justa.



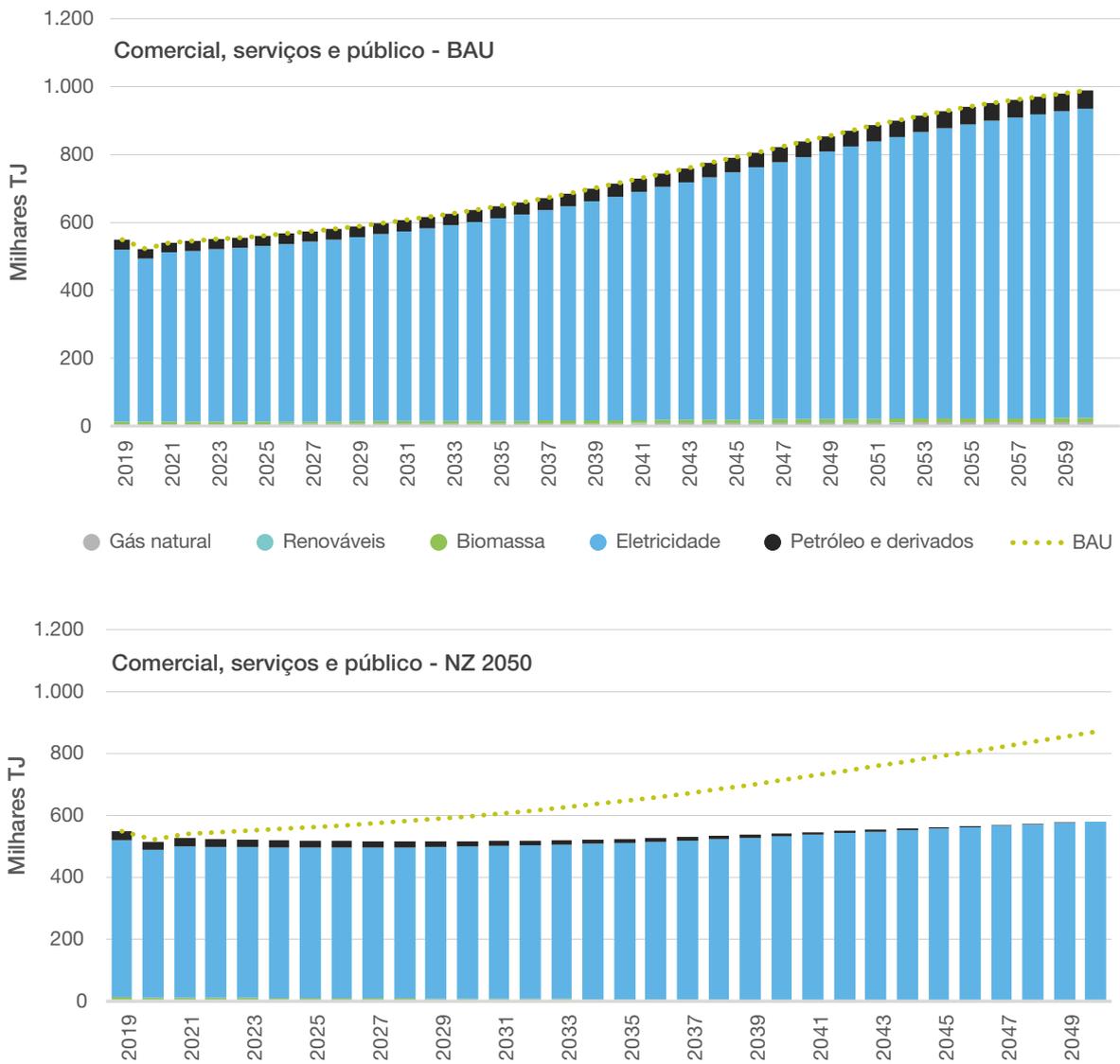
## Setor comercial, serviços e público

▼

O setor comercial, de serviços e público (CSP) é composto pela administração pública, hospitais, hotéis e lojas, etc. Geralmente é um setor com pouco peso em termos de consumo de energia (5 % do total em 2019), comparativamente aos setores de transportes, industrial e residencial. Assenta numa elevada taxa de eletrificação (92 % em 2019) e utilizações com potencial de eletrificação (AQS, aquecimento, força motriz, cozinha, etc.), como é o caso do setor residencial. Existe também potencial para uma maior eficiência energética, tanto nos equipamentos como nos próprios edifícios (renovação térmica de edifícios existentes, aplicação de regulamentos térmicos rigorosos para novos edifícios).

Gráfico 44 A

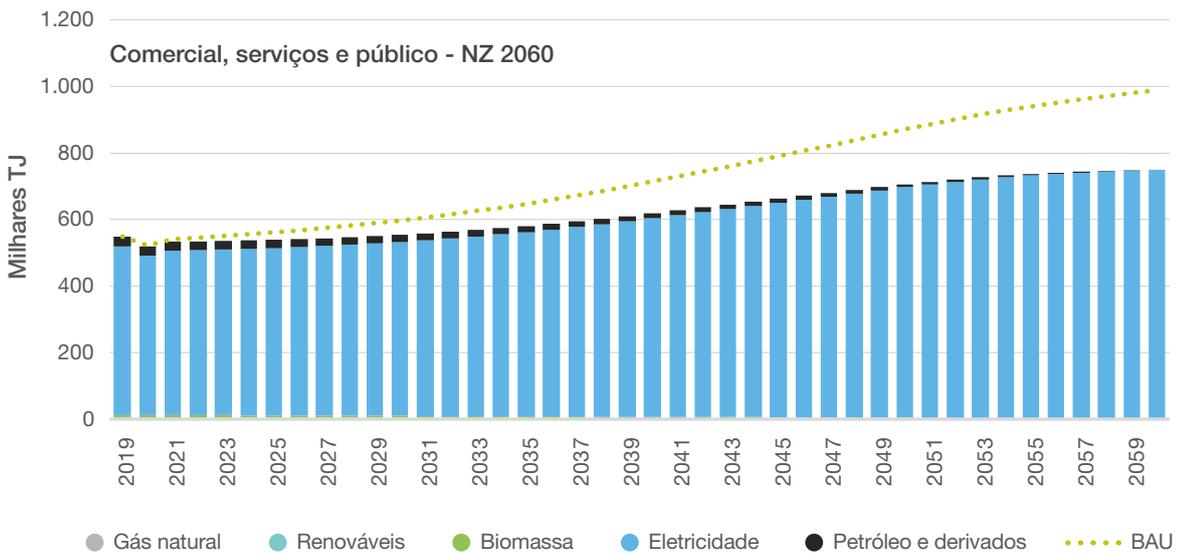
► Setor CSP: resultados por combustível e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria. NB: A categoria petróleo e derivados inclui GLP.

Gráfico 44 B

► Setor CSP: resultados por combustível e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)

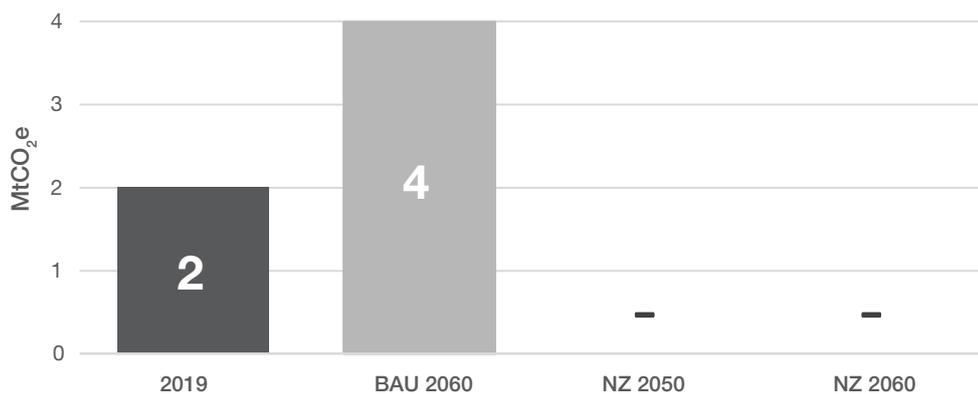


Fonte: Elaboração própria. NB: A categoria petróleo e derivados inclui GLP.

No cenário BAU, a relação combustível permanece constante. Por outro lado, apesar de quase triplicar o PIB do setor, a demanda de energia cresce 80% devido a medidas de eficiência energética.

Para os cenários NZ, considera-se uma electrificação total do setor. Uma redução de 24% na demanda é alcançada até 2060 (NZ 2060) e uma redução de 33% até 2050 (NZ 2050) em comparação com o cenário BAU. Melhorias na eficiência energética explicam grande parte deste fenômeno.

Gráfico 45

► Setor CSP: emissões diretas por cenário (MtCO<sub>2</sub>e)

Fonte: Elaboração própria.

As emissões diretas de CO<sub>2</sub>e crescem no cenário BAU, mas a um ritmo mais lento que o PIB; no entanto, eles são eliminados em cenários de longo prazo na NZ.

As medidas de transição energética necessárias para limitar as emissões de GEE nos setores comercial, de serviços e público correspondem a tecnologias maduras relacionadas com a refrigeração, a iluminação e a utilização direta e indireta de calor; portanto, deve-se priorizar eletrificação e melhorar a eficiência dos aparelhos. O setor em si, embora leve em termos energéticos, é heterogêneo, com consumos relacionados com cozinha e refrigeração em restaurantes, equipamentos informáticos e iluminação em escritórios, usos mistos em hospitais ou escolas, etc.



## Setor industrial

O setor industrial é composto por vários ramos industriais e é o segundo com maior demanda de energia (31 % em 2019), atrás do setor dos transportes. Baseia-se numa baixa penetração de energia elétrica (21 %), condicionada por vários setores de difícil electrificação, como as indústrias siderúrgica e cimenteira.

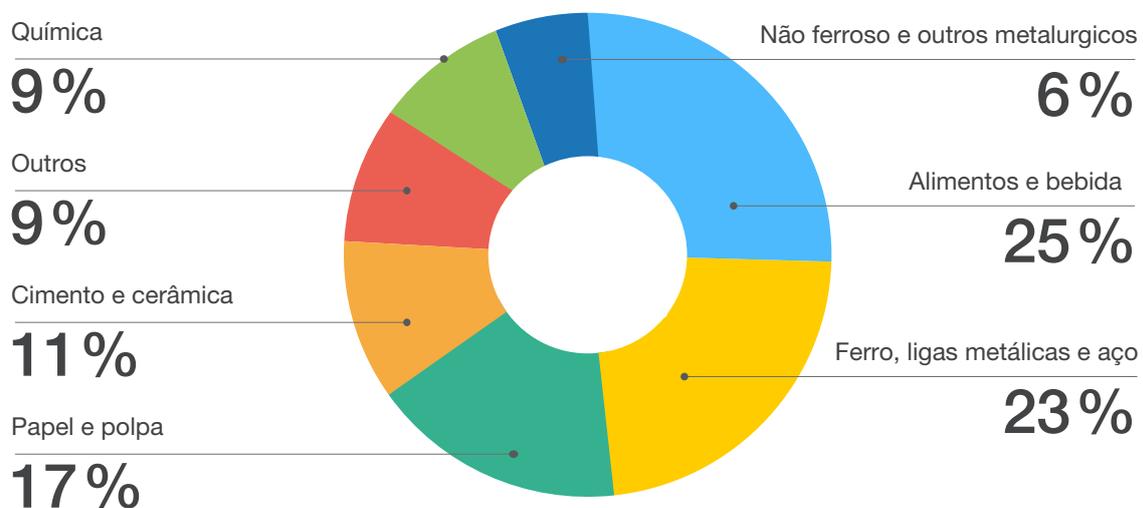
É importante lembrar que as possibilidades de substituição entre combustíveis podem variar muito de um subconjunto industrial para outro, dada a variedade de processos industriais existentes. Para a realização das projeções, os subconjuntos industriais foram agrupados em um número limitado de ramos. A análise centrou-se mais detalhadamente nos ramos de maior consumo e nas suas utilizações associados.

### Projeções por ramos

O Balanço Energético Nacional do Brasil apresenta as informações do setor industrial desagregadas em diversos subconjuntos agrupados nos seguintes ramos:

Gráfico 46

► Setor industrial: consumo energético por subconjunto industrial, 2019 (%)

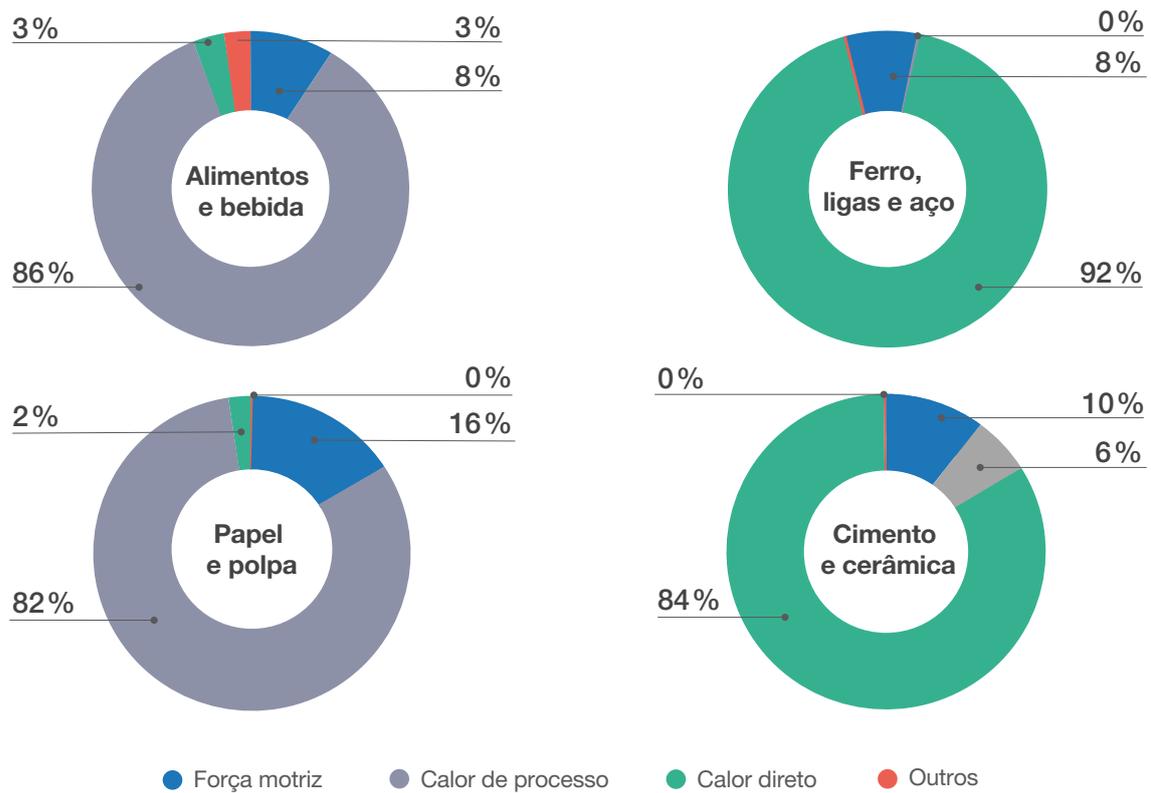


Fonte: Elaboração própria baseada em dados do balanço de energia útil do setor industrial (EOE) e balanço energético do Brasil (OLADE).

Os ramos de alimentos e bebidas; ferro, ligas e aço; papel e celulose, e cimento e cerâmica representam 76% do consumo de energia do setor. O uso de calor de processo é predominante nas categorias de alimentos e bebidas e papel e celulose (86% e 82%, respectivamente). Para as categorias ferro, ligas e aço, e cimento e cerâmica, predomina o uso de calor direto, com 92% e 84%, respectivamente.

Gráfico 47

► Setor industrial: consumo energético por uso para principais subsetores (%)



Fonte: Elaboração própria baseada em dados do EPE<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-de-energia-util-para-segmentos-selecionados-da-industria>



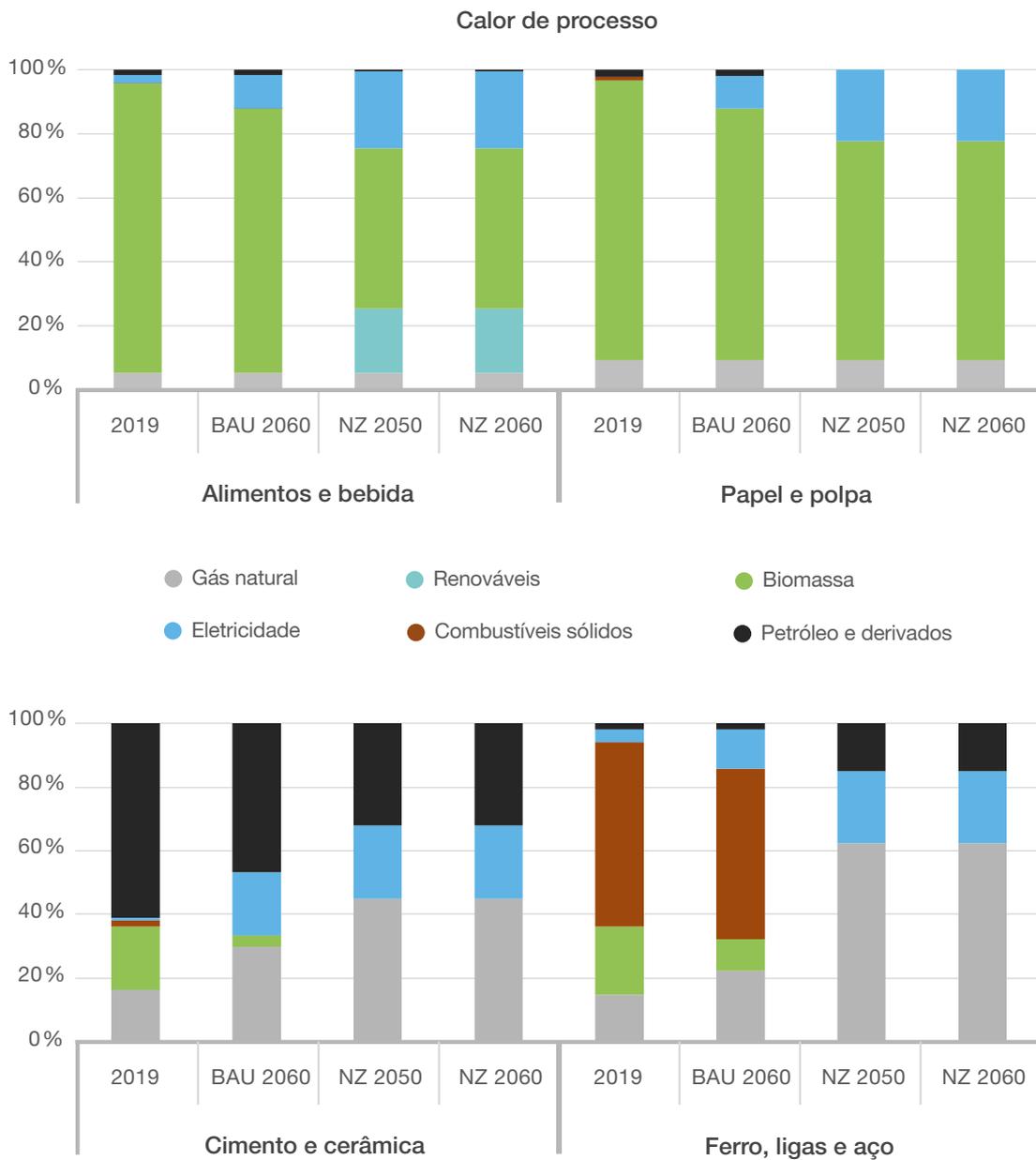
As medidas de transição centram-se em **melhorias em termos de eficiência** e substituição de combustíveis. A eficiência energética é alcançada graças à otimização do uso de energia nos processos industriais e à mudança tecnológica para dispositivos e instalações mais recentes e eficientes. As premissas de substituição consideradas para o Brasil são as seguintes:

- considera-se o uso de biomassa sustentável em subconjuntos que possuem biomassa disponível para seus processos (por exemplo, produtos de cana, licor negro, etc.), e considera-se a substituição do uso de lenha por outras fontes (eletricidade, solar). térmico);
- foi considerada uma forte redução do consumo (maior nos cenários NZ) para ramos industriais com elevada penetração de combustíveis fósseis e potencial de substituição;
- o gás natural e o GPL substituirão completamente o óleo combustível e o gasóleo na próxima década e pressupõe-se uma penetração progressiva da energia solar térmica para aquecimento indireto em alguns setores.;
- assume-se uma substituição do carvão mineral nos cenários NZ.

O Gráfico 48 apresenta a evolução do consumo final de combustível para os principais usos nos diferentes cenários.

**Gráfico 48**

► **Setor industrial: evolução por cenário para principais usos em ramos mais relevantes da indústria (%)**



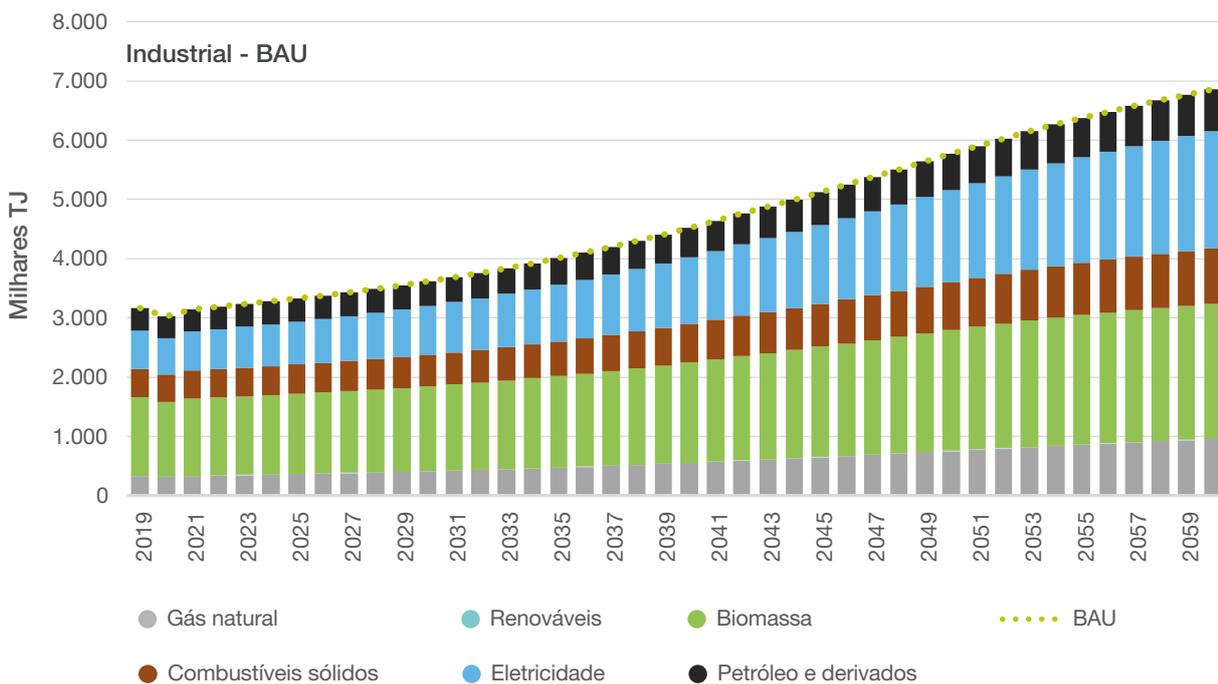
Fonte: laboração própria. A categoria petróleo e derivados inclui o GLP. A categoria biomassa inclui licor negro, bagaço, lenha, etc. A categoria renovável inclui energia solar térmica.

## Resultados

Embora se preveja que o PIB do setor aumente 172%, a demanda final de energia no cenário BAU aumentará 117% devido à substituição de combustíveis e às medidas de eficiência energética. A eletrificação da demanda final vai desde 21% a 29%.

Gráfico 49 A

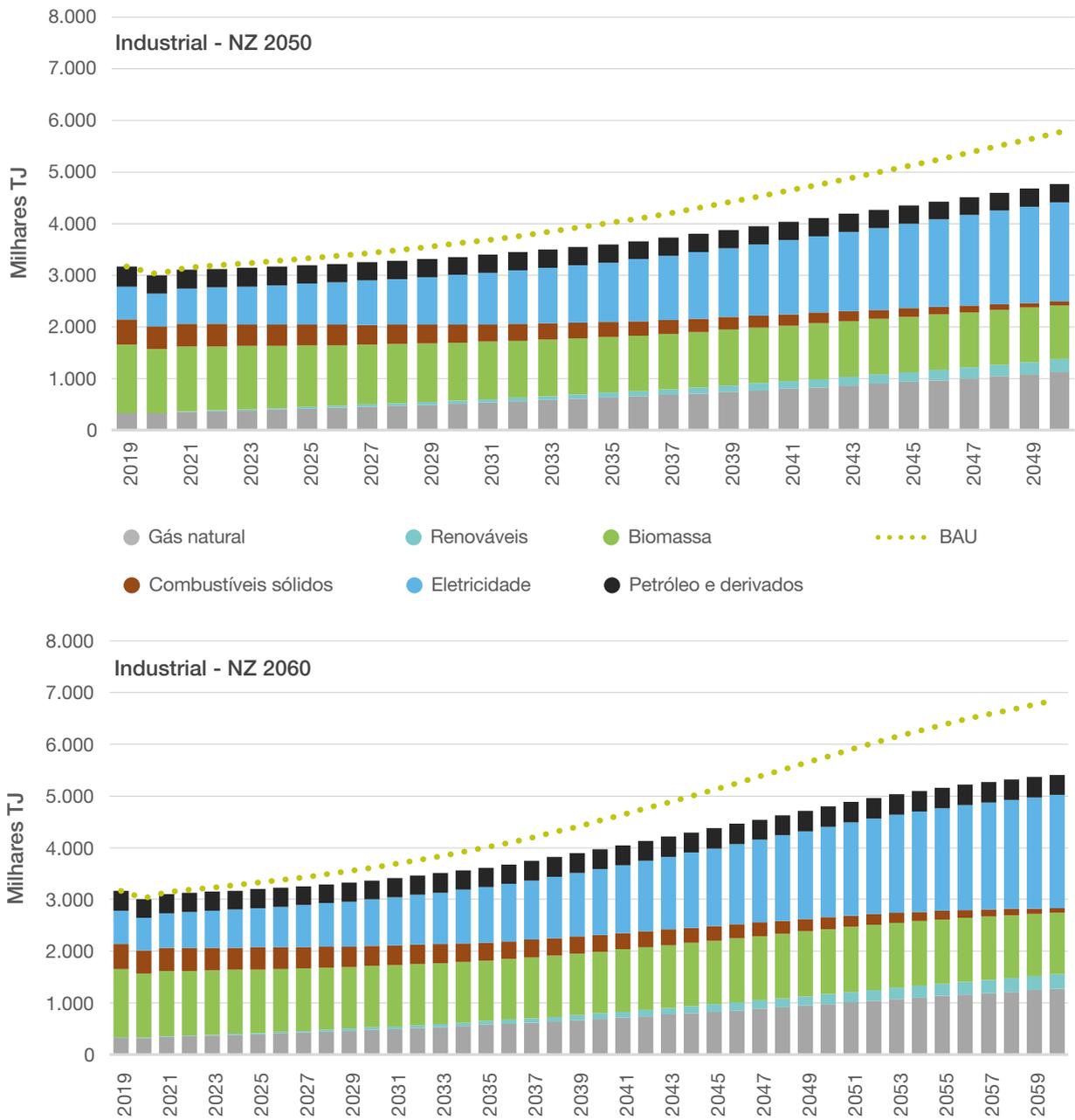
► Setor industrial: consumo final por combustíveis e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 49 B

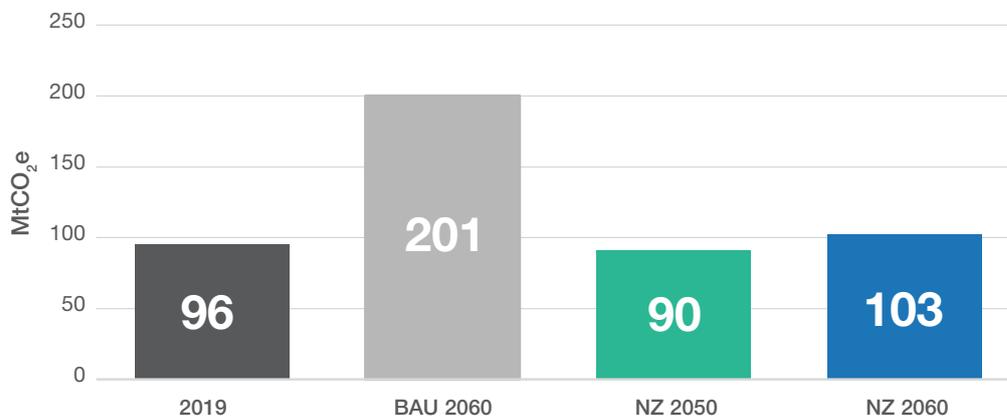
► Setor industrial: consumo final por combustíveis e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria.

Para os cenários NZ, a electrificação do setor passa de 21 % para 40 % e substitui principalmente os combustíveis sólidos e a biomassa. Além disso, observa-se um aumento no consumo de gás natural e energias renováveis.

Gráfico 50

► Setor industrial: emissões diretas por cenário (MtCO<sub>2</sub>e)

Fonte: Elaboração própria.

As emissões de CO<sub>2</sub>e crescem no cenário BAU (+108%), mas a um ritmo mais lento que o PIB. Por outro lado, as emissões nos cenários NZ são semelhantes às de 2019, com variações de -6 % (NZ 2050) ou +7 % (NZ 2060), graças às medidas de eficiência energética e substituição de combustíveis. A estas emissões deve ser adicionada a captura de carbono que poderia ser desenvolvida primeiro para grandes instalações industriais e depois o armazenamento em cenários NZ.

As medidas de transição energética necessárias para limitar as emissões de GEE no setor industrial correspondem às tecnologias existentes em todo o mundo, mas nem sempre estão muito maduras. Será necessário adaptar gradativamente os processos industriais com a melhor opção tecnológica disponível ao longo dos anos e, por sua vez, repensar os processos de forma integral.

**“As medidas de transição centram-se em melhorias em termos de eficiência e substituição de combustíveis. A eficiência energética é alcançada mediante à otimização do uso de energia nos processos industriais e à mudança tecnológica para dispositivos e instalações mais recentes e eficientes.”**



## Setor transporte

No Brasil, o setor de transportes é o maior consumidor de energia (35 % em 2019) e emissor de gases de efeito estufa. Consome principalmente combustíveis líquidos (diesel, gasolina, etc.) e biocombustíveis. Embora as vendas de veículos elétricos tenham aumentado mundialmente nos últimos anos, elas representam uma proporção muito baixa no Brasil. O transporte rodoviário representa 93 % do consumo final total em 2019, liderado pelo transporte rodoviário de passageiros (58 %).

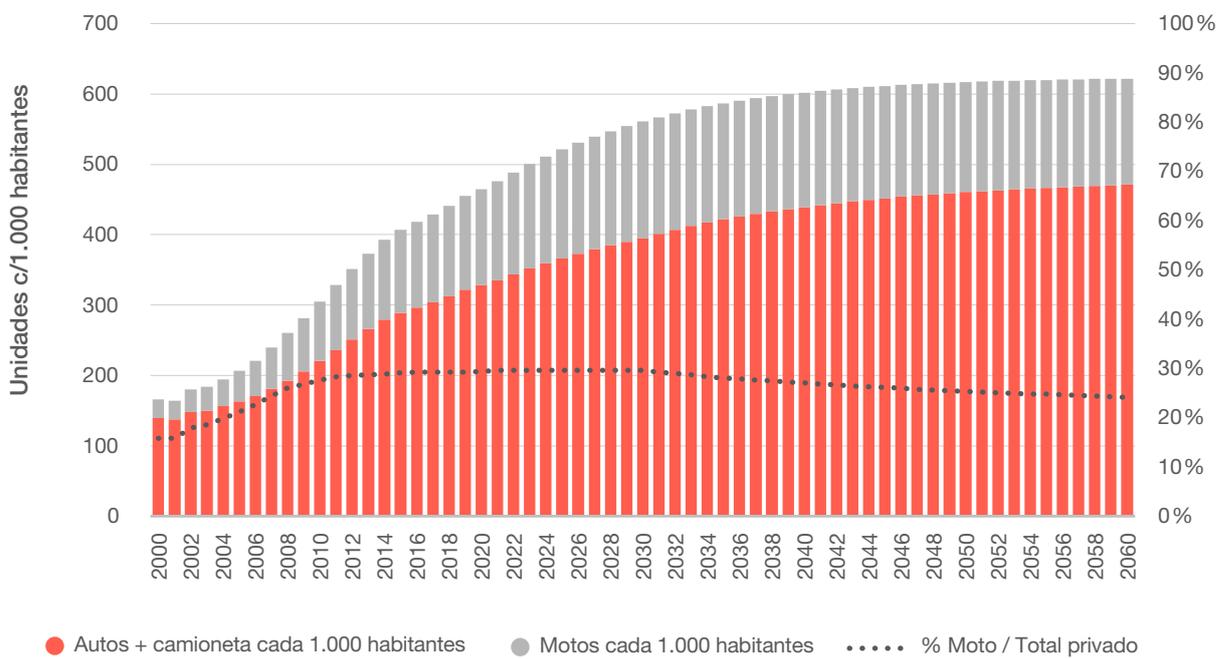
### Transporte rodoviário de passageiros

O consumo de energia do transporte rodoviário depende principalmente da evolução do número de veículos. Em todos os cenários, espera-se um **aumento significativo da motorização** alinhado com o crescimento dos padrões de vida e a tendência recente no Brasil. Esse aumento se manifesta inicialmente com o aumento do número de motocicletas por 1.000 habitantes. A partir de um determinado nível de PIB per capita, o aumento da motorização passa a se concentrar nos automóveis<sup>40</sup>. A projeção é de 622 veículos por 1.000 habitantes até 2060, dos quais 24 % são motocicletas e 76 % são carros.

<sup>40</sup> Law, Hamid & Goh (2015), *The motorcycle to passenger car ownership ratio and economic growth: A cross-country analysis*.

Gráfico 51

► Quantidade de veículos privados por 1.000 habitantes e participação de motos (%)



Fonte: Elaboração própria

Neste contexto de motorização, serão necessárias medidas de promoção da transição energética para limitar o aumento das emissões de GEE. As principais medidas contempladas no Brasil são a utilização de **combustíveis alternativos verdes** (por exemplo, diesel verde) e a eletrificação da frota de veículos, o que reduz as emissões e o consumo total (uma redução entre 75% e 80% do consumo por km em relação a um veículo padrão). A utilização

de veículos híbridos também permite uma redução significativa no consumo unitário de energia. No caso dos automóveis, estima-se que a participação chegue a 20% elétricos em 2060 e 20% híbridos no cenário BAU. Por outro lado, nos cenários NZ, uma quota de 40% elétrico, 40% diesel verde e 20% híbrido deve ser alcançada no final do período para garantir uma diminuição significativa nas emissões de GEE. Por outro lado, prevê-se a eletrificação da frota de motocicletas e ônibus públicos até atingir 100% da frota em ambos os cenários dentro do horizonte de planejamento (ver relatório *Transição Energética Justa / Premissas de projeção*).

Em linha com o observado historicamente, espera-se que a eficiência média da frota automóvel melhore devido aos avanços tecnológicos e/ou redução de peso dos veículos.

Por fim, estima-se uma redução nas viagens médias por veículo (km/veículo) como consequência da **digitalização** da sociedade (trabalho remoto, etc.) e uma maior penetração dos sistemas de **transporte público**.

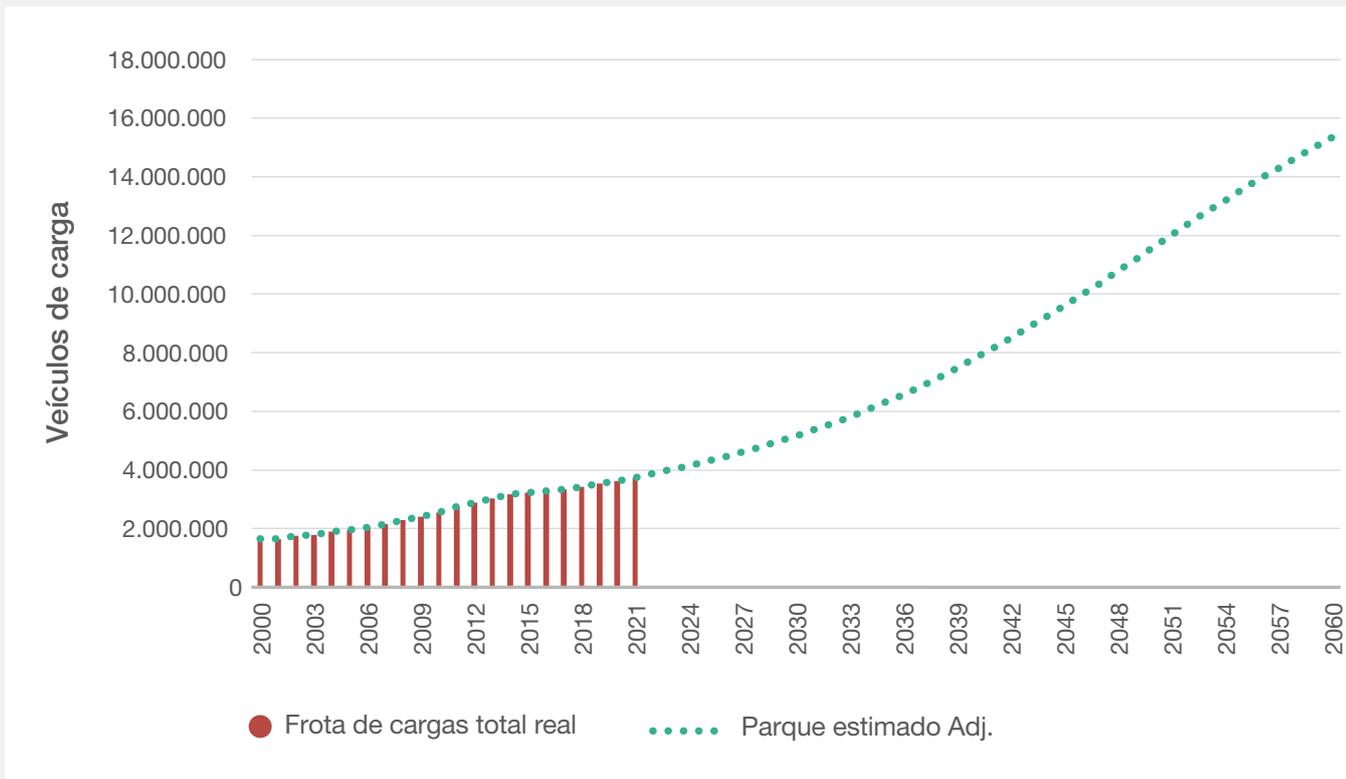
## Transporte rodoviário de cargas

---

A frota rodoviária de carga cresce com a atividade económica (PIB), tendo em conta a elasticidade histórica do rendimento. Neste contexto, espera-se um crescimento sustentado do número de veículos de carga no período (3,7% de média anual), tanto para camiões (80,2% do total) como para tratores.

Gráfico 52

► Quantidade de veículos de carga total



Fonte: Elaboração própria.

Para limitar o aumento das emissões de GEE, será necessário promover os combustíveis da transição energética de acordo com o horizonte temporal considerado: no Brasil, onde a indústria de biocombustíveis é altamente desenvolvida, não se espera uma incursão relevante do gás natural, mas sim um grande desenvolvimento de combustíveis sintéticos. Além disso, a transição energética deve ser acompanhada por uma **melhora de rendimento** dos veículos, **melhoras logísticas e transferência a ferroviário**.

Em 2060 e no cenário BAU, espera-se que todos os caminhões e tratores continuem a funcionar a gásóleo. Cabe ressaltar que, no Brasil, o diesel é comercializado com corte de 10% de biodiesel. Nos cenários NZ, são

necessários maiores esforços de transição, com 50% de caminhões e 40% de tratores elétricos a longo prazo. O restante dos caminhões funciona com diesel verde, enquanto o restante dos tratores se divide entre diesel verde (20%) e hidrogênio (30%).

A eletrificação surge como uma alternativa relevante para caminhões e tratores-reboques, mas espera-se menor penetração elétrica para tratores-reboques, uma vez que soluções tecnológicas para o transporte de cargas muito pesadas ainda estão em desenvolvimento e a eletrificação nem sempre é uma opção solução.

As células de hidrogênio também podem desempenhar um papel importante neste segmento a longo prazo. No Brasil, os combustíveis verdes são fundamentais na transição de ambos os segmentos.

## Transporte aéreo, naval y ferroviário

---

Estes setores são mais difíceis de transformar (em particular, os subconjuntos aéreo e marítimo/fluvial não são eletrificáveis). Algumas das opções de transição energética disponíveis são os combustíveis sintéticos e a amônia (derivada do  $H_2$ ) que estão contempladas nos cenários NZ.

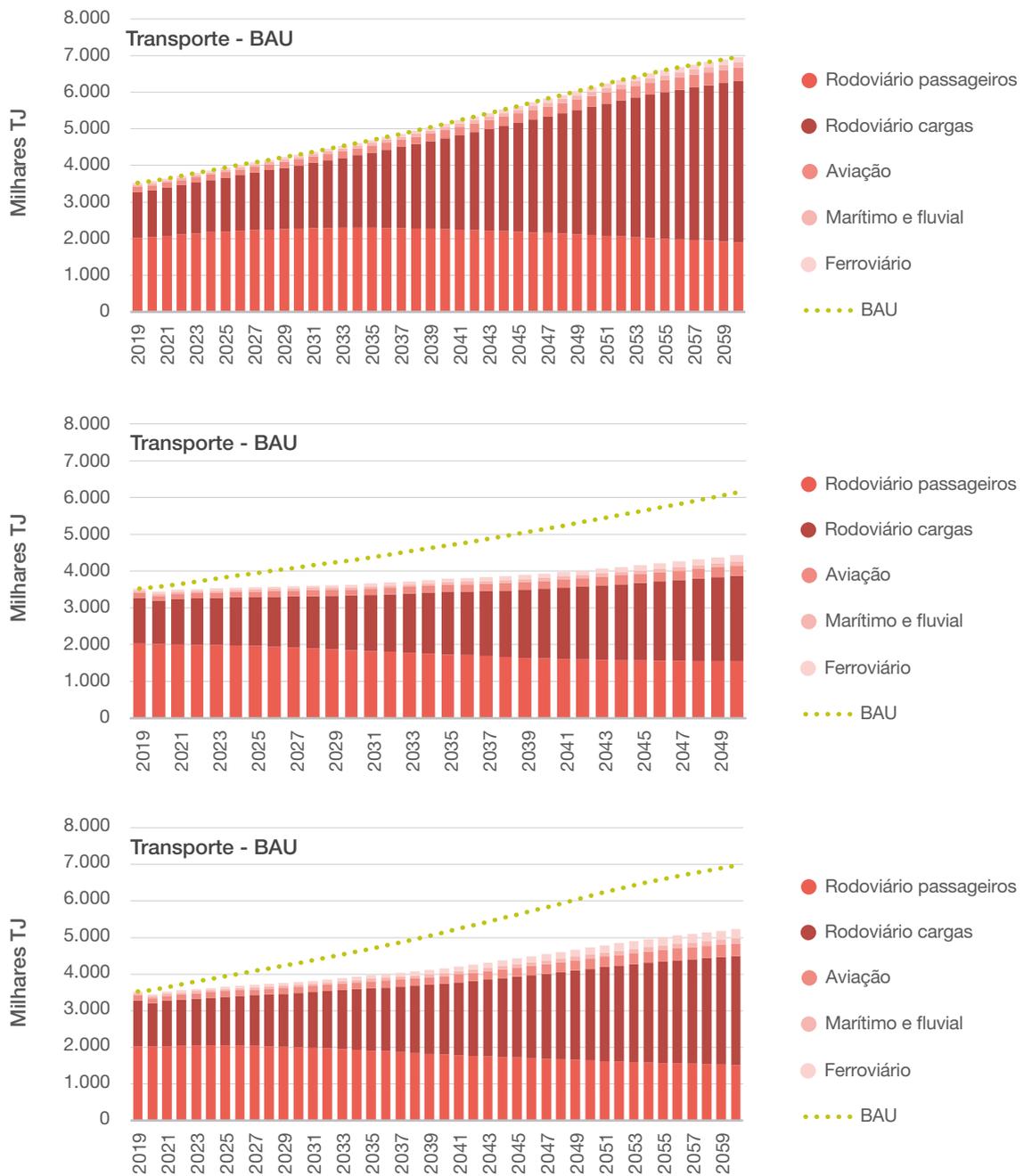
## Resultados

---

No cenário BAU, o consumo de energia no setor de transportes duplica, impulsionado pelo setor de carga. O consumo de petróleo e derivados duplica, a eletricidade cresce consideravelmente nos setores de passageiros privados e de passageiros públicos, enquanto os combustíveis sintéticos ganham relevância no setor de carga (incluídos na categoria de energias renováveis).

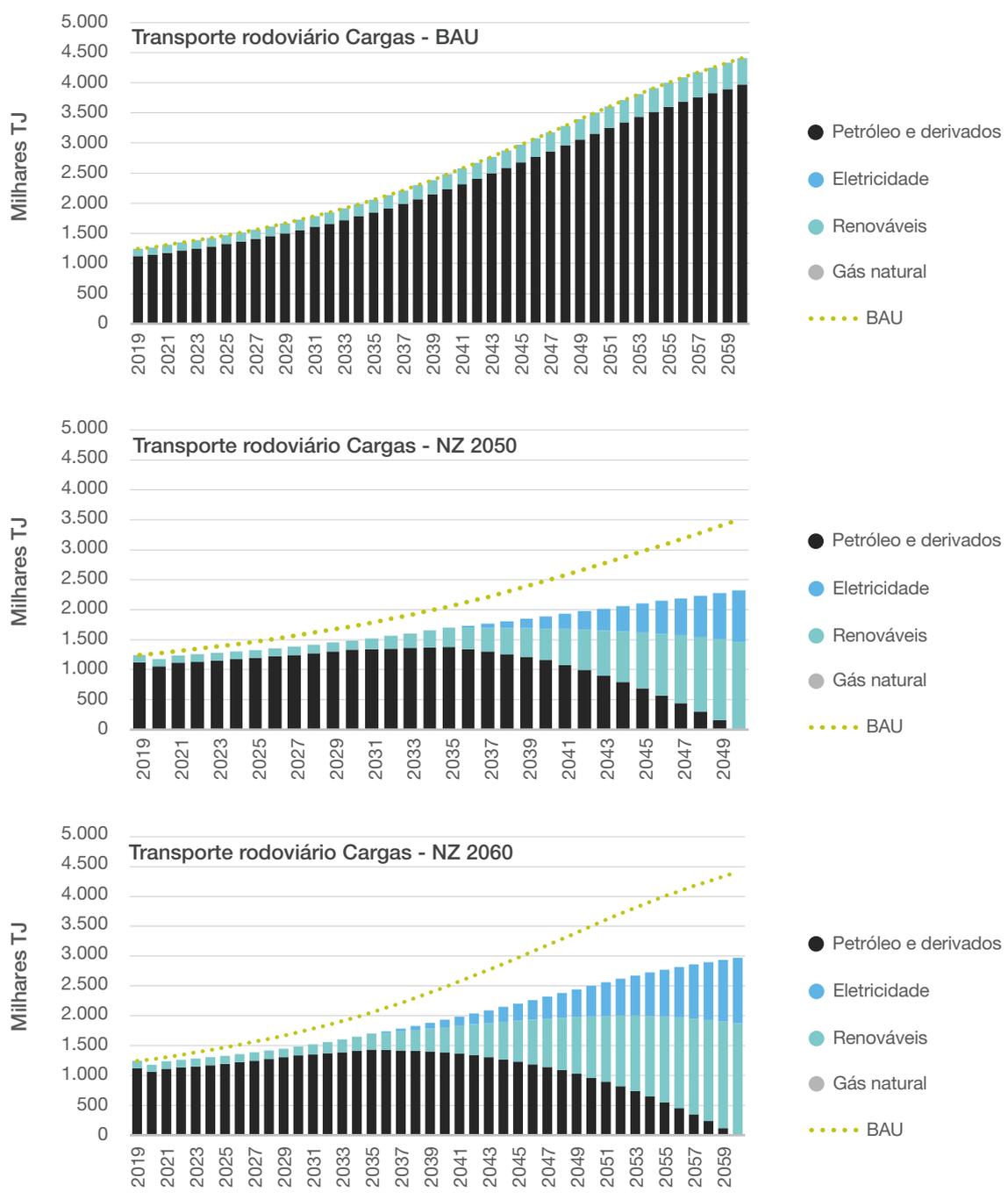
Gráfico 53 A

► Transporte: consumo final por tipo/combustíveis e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria. A categoria renováveis inclui bioetanol, biodiesel, diesel verde e combustíveis sintéticos.

**Gráfico 53 B** ▶ Transporte: consumo final por tipo/combustíveis e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria. A categoria renováveis inclui bioetanol, biodiesel, diesel verde e combustíveis sintéticos.



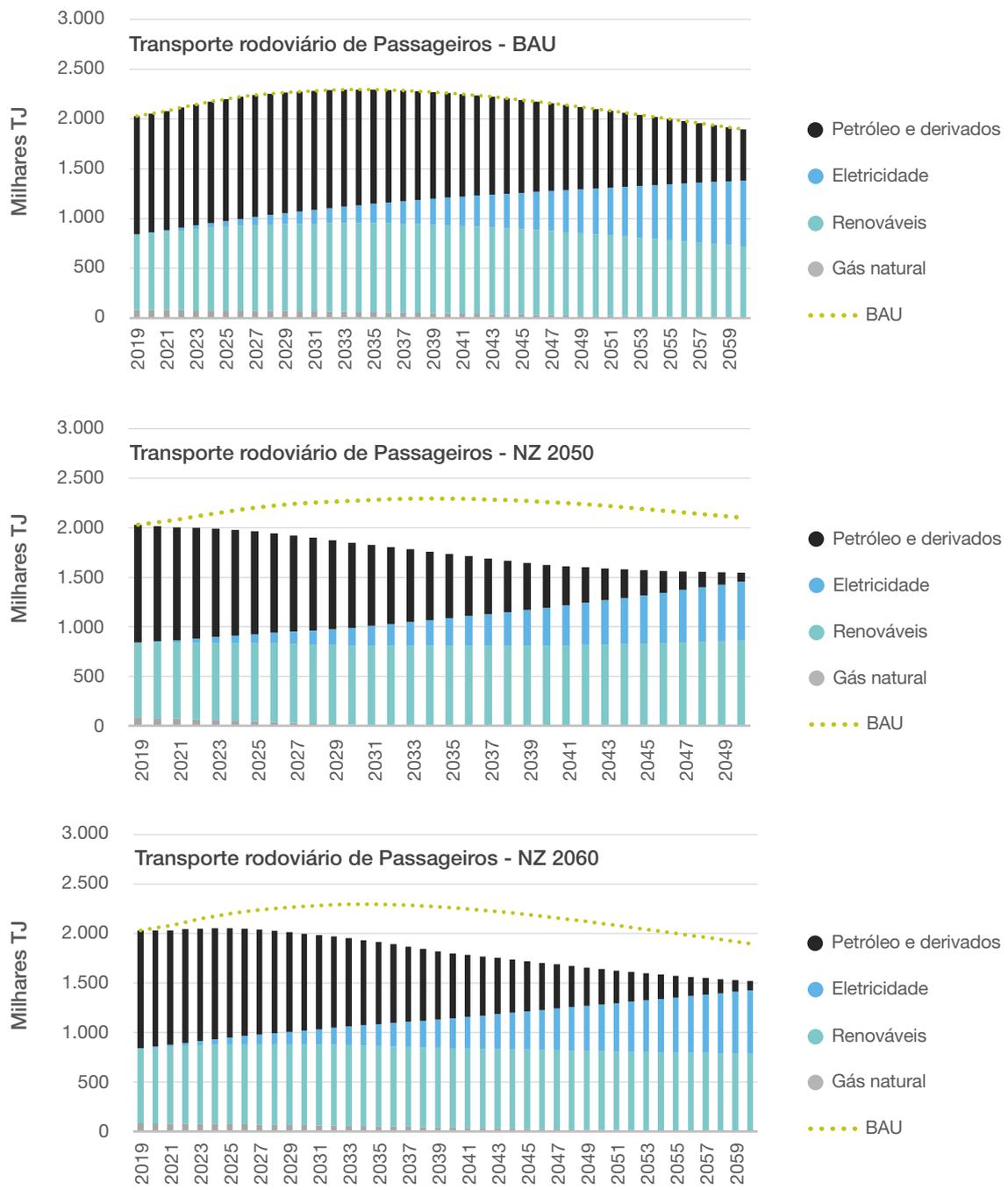
Para o cenário NZ 2050, e no período de estudo, a demanda de energia no setor dos transportes diminui em comparação com o cenário BAU devido a medidas para promover o transporte elétrico e os combustíveis sintéticos.

A proporção de eletrificação e combustíveis sintéticos aumenta fortemente no setor de passageiros, deixando um segmento que utiliza motores a gasolina em veículos híbridos.

No que diz respeito ao transporte de mercadorias, a eletrificação e os combustíveis sintéticos surgem mais uma vez como soluções para os caminhões, enquanto as células de hidrogênio são adicionadas para os caminhões-trator.

Tendo em conta estas considerações, o setor de passageiros reduz consideravelmente o seu consumo de energia, enquanto o setor de transporte de carga cresce ligeiramente. O cenário NZ 2060 é muito semelhante ao mencionado acima, com uma implementação menos rápida das medidas.

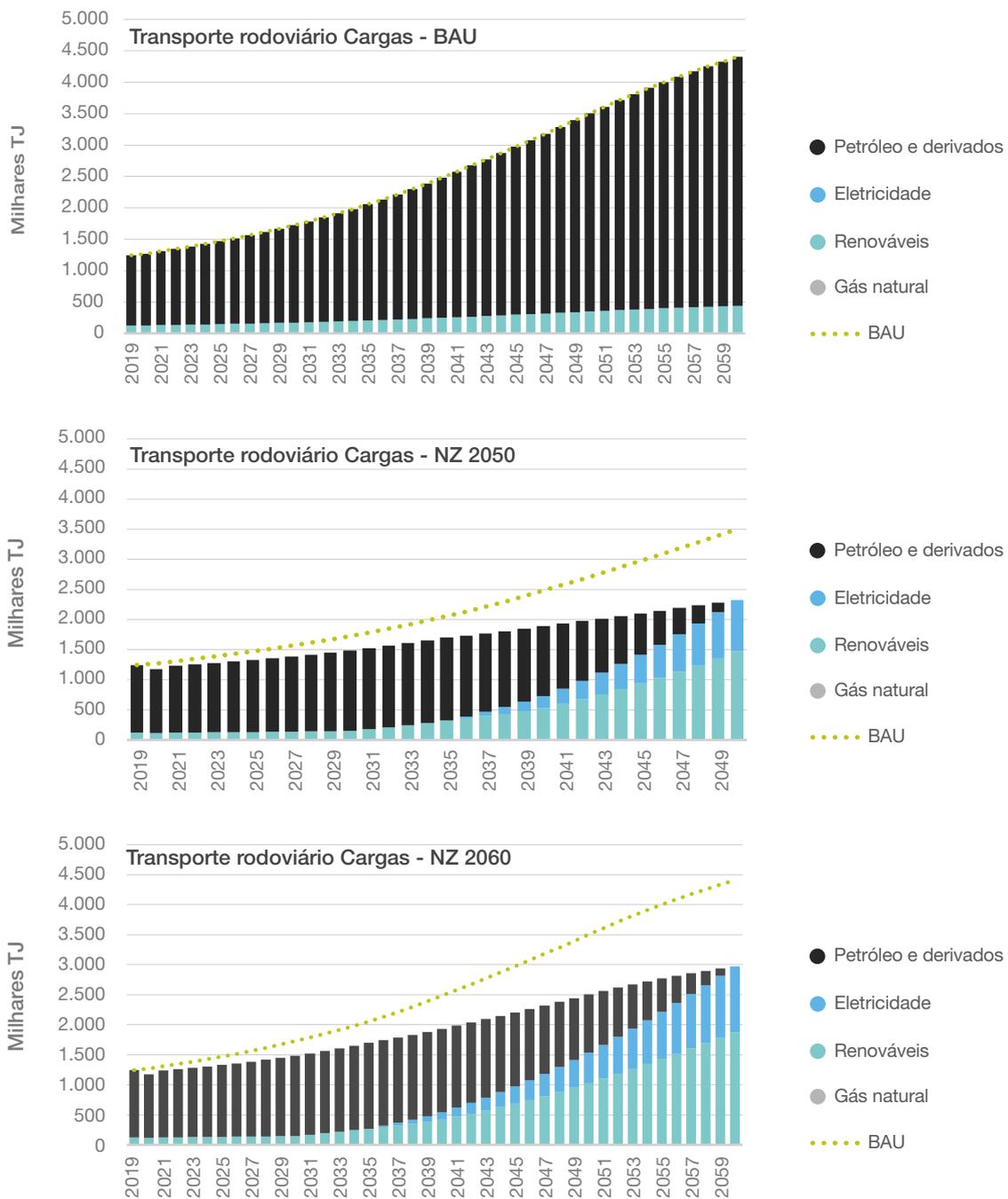
**Gráfico 54 A** ► Consumo final transporte rodoviário de passageiros e de cargas, por combustíveis e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria. A categoria renováveis inclui bioetanol, biodiesel, diesel verde e combustíveis sintéticos.

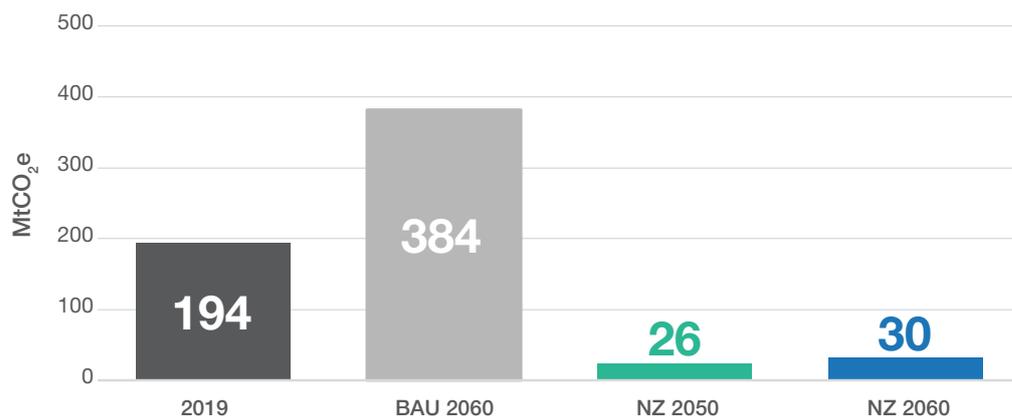
Gráfico 54 B

► Consumo final transporte rodoviário de passageiros e de cargas, por combustíveis e por cenário (10<sup>3</sup> TJ)



Fonte: Elaboração própria. A categoria renováveis inclui bioetanol, biodiesel, diesel verde e combustíveis sintéticos.

Gráfico 55

► Setor transporte: emissões diretas por cenário (MtCO<sub>2</sub>e)

Fonte: Elaboração própria.

As emissões de CO<sub>2</sub>e duplicam no cenário BAU, mas a um ritmo mais lento do que a frota de veículos. Por outro lado, as emissões estão consideravelmente divididas nos cenários NZ, a longo prazo, graças a medidas de substituição de combustíveis (principalmente eletrificação), eficiência energética e mudanças comportamentais.

As medidas de transição energética necessárias para limitar as emissões de GEE no setor dos transportes correspondem a tecnologias maduras para o segmento de veículos ligeiros e em desenvolvimento para outros segmentos. Esperam-se mudanças substanciais em todos os cenários dada a forte motorização associada ao crescimento da economia.



## Setor agropecuário, pesca, mineração e construção

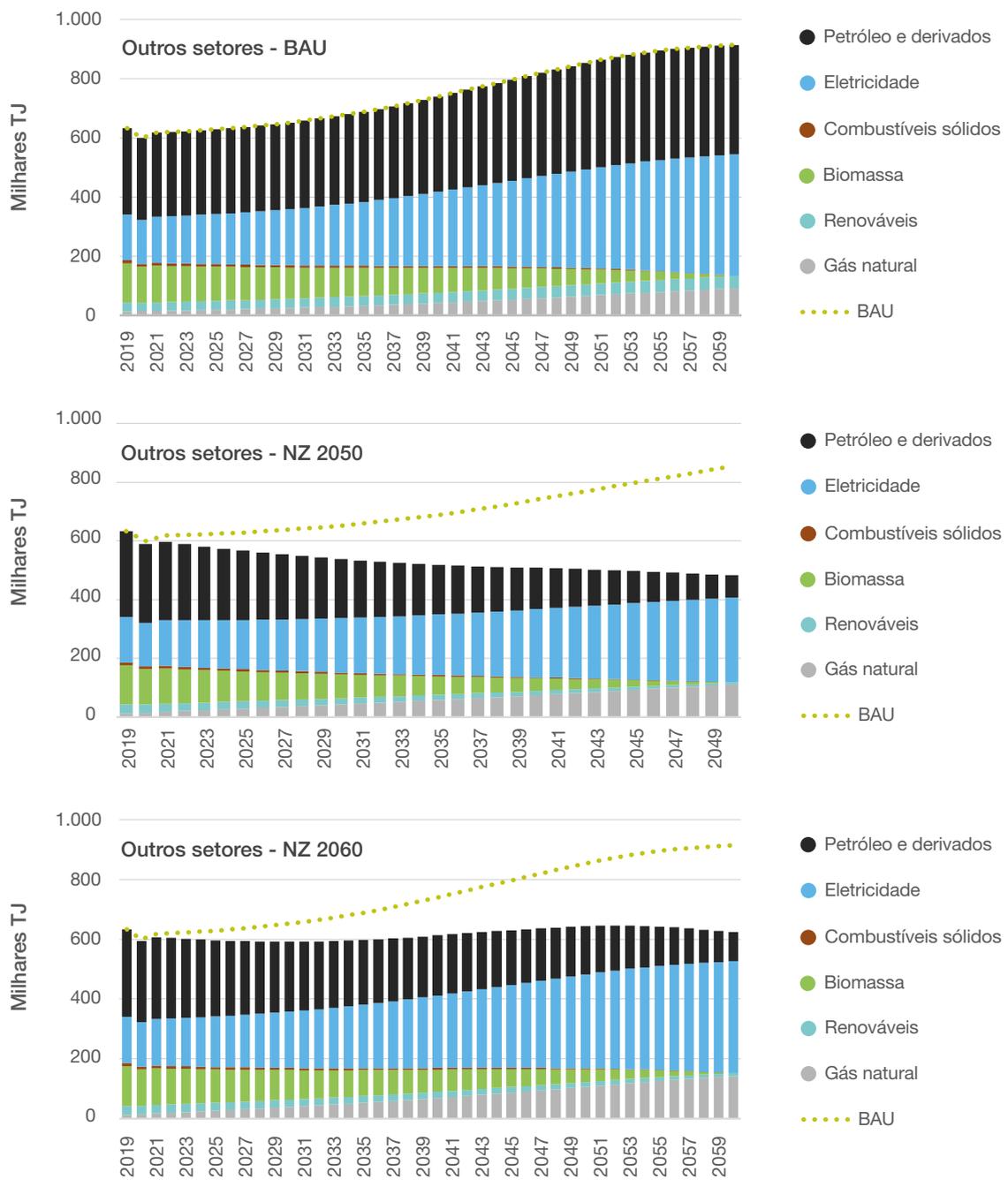
Os setores agrícola, pesqueiro, mineiro e de construção representam, juntamente com os setores comercial, de serviços e público, os setores com menor consumo de energia. A eletrificação do setor é baixa (24 % em 2019). Ao analisar a demanda por subconjunto, pode-se observar a importância do setor agropecuário, que representa 84 % do total no Brasil enquanto o setor mineração soma 16 %<sup>41</sup>. Ambos os subsetores apresentam potencial de eletrificação. O setor mineiro tem um elevado potencial para eletrificar utilizações relacionadas com a energia motriz ou caminhões de mineração, entre outras coisas, enquanto se espera uma forte eletrificação de máquinas agrícolas no longo prazo, em linha com as tendências já observadas neste subconjunto. Existe também potencial para aumentar a eficiência energética dos equipamentos em ambos os subconjuntos.

No cenário BAU, a demanda por este setor cresce em torno de 0,9% ao ano (44 % acumulado no período), o que faz com que o setor fique gradativamente mais eletrificado de acordo com a tendência histórica. Observa-se uma melhoria na intensidade energética do setor (o crescimento do PIB é superior ao crescimento da demanda).

<sup>41</sup> Não há informação desagregada sobre pesca e construção.

**Gráfico 56**

► Resultados do setor agropecuário, pesca, mineração e construção, por cenário (10<sup>3</sup> TJ)

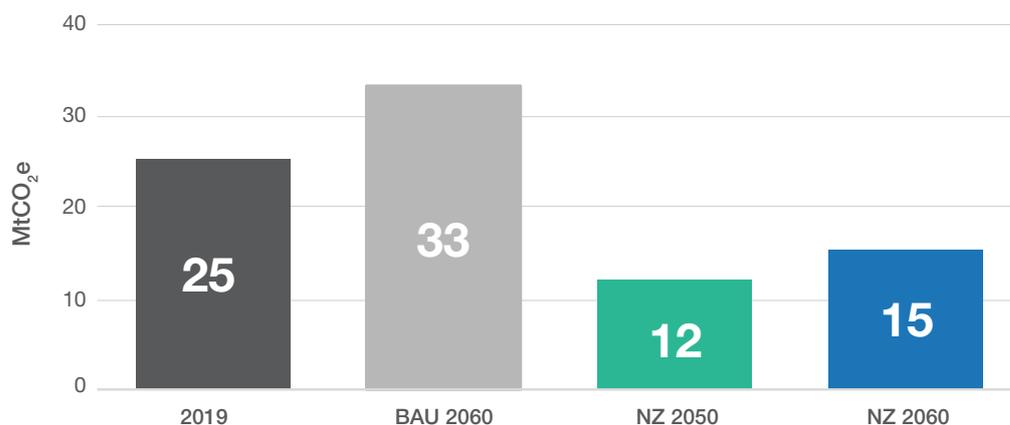


Fonte: Elaboração própria.

Nos cenários NZ, atinge-se uma eletrificação de 60%; o gás natural, o petróleo e seus derivados impulsionam o resto. No cenário NZ 2060, o consumo permanece relativamente constante no período de estudo devido ao efeito combinado de uma maior eficiência energética e das poupanças que advêm da eletrificação planejada de alguns usos. O cenário NZ 2050 mostra uma ligeira tendência descendente.

Gráfico 57

► Setor agropecuário, pesca, mineração e construção: emissões diretas por cenário (MtCO<sub>2</sub>e)



Fonte: EElaboração própria.

As emissões de CO<sub>2</sub>e crescem de forma limitada no cenário BAU (+33%), a um ritmo mais lento que o PIB. Por outro lado, as emissões diminuem entre 52% e 38% nos cenários NZ, no longo prazo, graças à eletrificação do setor e aos esforços de eficiência e eficiência energética.

As medidas de transição energética necessárias para limitar as emissões de GEE no setor correspondem a tecnologias que deverão amadurecer globalmente nos próximos anos, como o uso de máquinas agrícolas elétricas e caminhões de mineração.



## Setor elétrico

O Brasil parte de um mix de geração de eletricidade bastante limpo, principalmente graças à grande participação hidrelétrica na produção nacional de eletricidade. Possui recursos naturais abundantes, entre os quais se destacam as reservas de urânio e lítio, além de áreas de grande potencial eólico e solar.

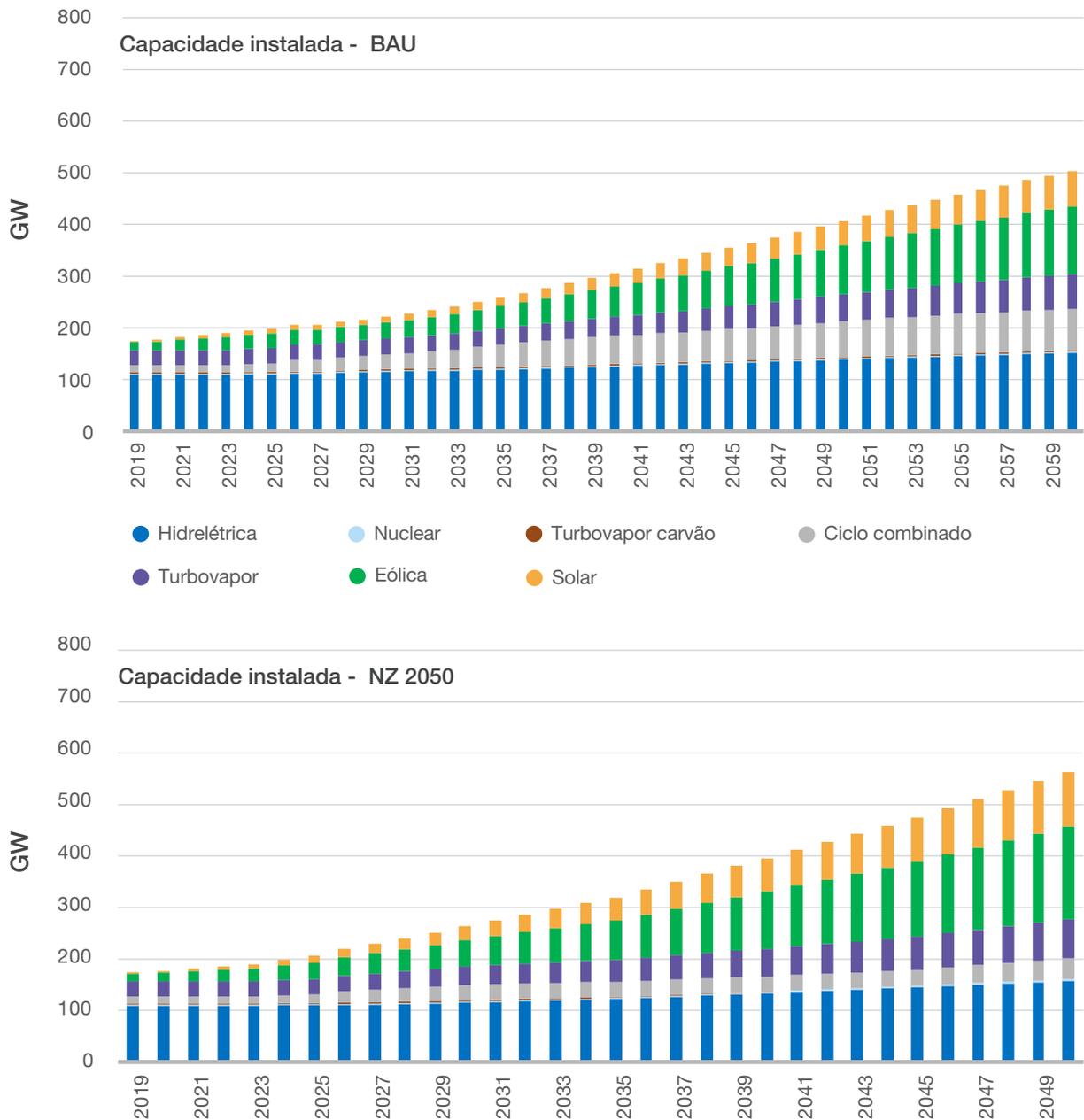
Em todos os cenários propostos, espera-se um crescimento da capacidade solar e eólica e, em menor medida, da capacidade hidroelétrica e de biomassa. No cenário BAU, a capacidade renovável adicional a instalar é de 263 GW, dos quais 117 GW são eólicos e 66 GW são solares.

Nos cenários NZ, é necessário instalar ainda mais capacidade renovável para cobrir o aumento da demanda de eletricidade e garantir uma queda significativa nas emissões de GEE. No cenário NZ 2050, espera-se a adição de 363 GW de energia renovável, dos quais 165 GW serão eólicos e 104 GW serão solares. No cenário NZ 2060, é necessária a instalação de 449 GW de energia renovável, dos quais 195 GW serão eólicos e 121 GW serão solares.

Em todos os cenários, é também necessária a instalação de novas centrais térmicas, nomeadamente de ciclo combinado (CCGT), que desempenham um papel de backup, especialmente em situações de hidrologia seca, bem como de baterias e redes inteligentes que participem na melhor integração de energia elétrica renovável na rede. As usinas de biomassa também proporcionam firmeza ao sistema.

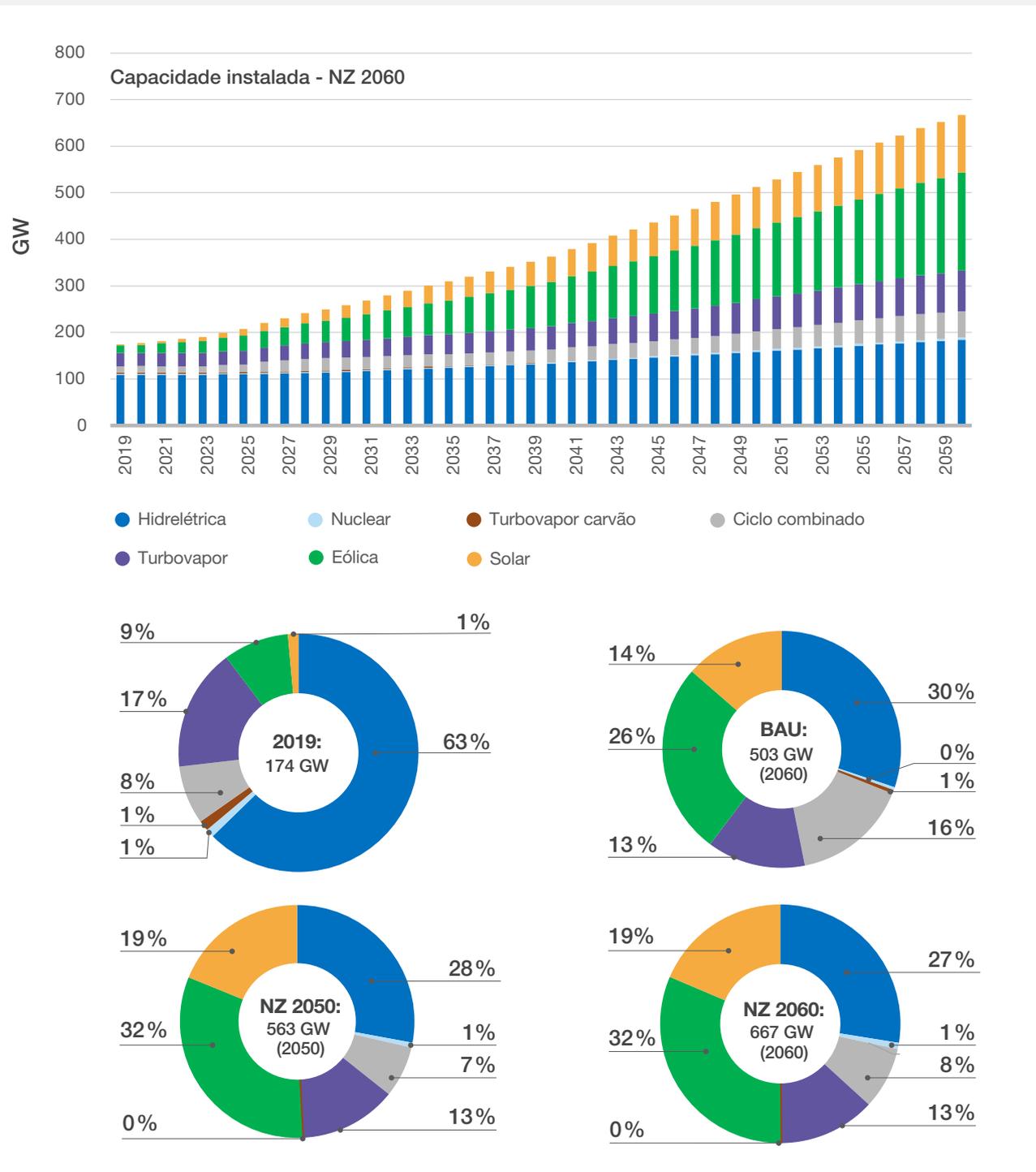
Gráfico 58 A

► Projeção capacidade instalada por fonte e por cenário (GW)



Fonte: Elaboração própria. A categoria turbovapor engloba as centrais a biomassa.

**Gráfico 58 B** ▶ Projeção capacidade instalada por fonte e por cenário (GW)



Fonte: Elaboração própria. A categoria turbovapor engloba as centrais a biomassa.

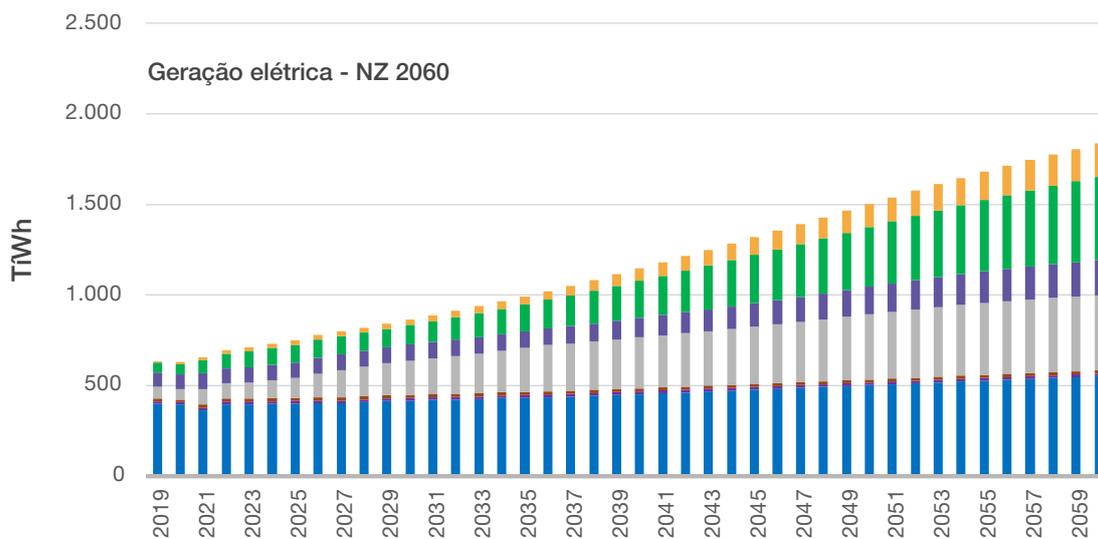
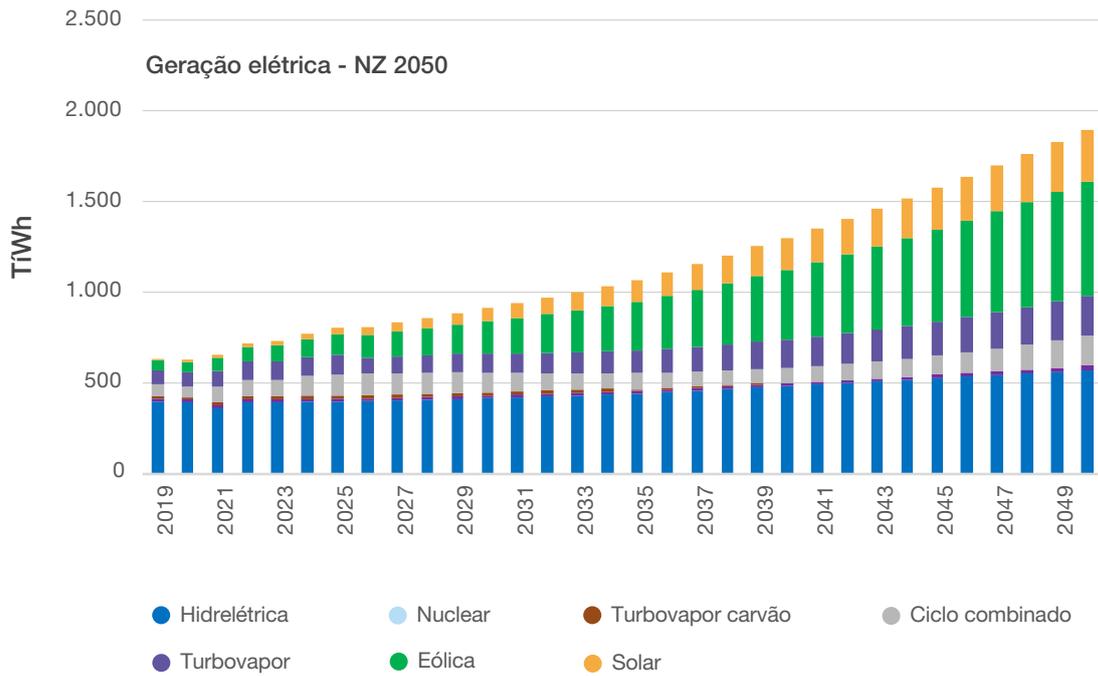
Em todos os cenários, é necessário um crescimento do parque gerador muito maior do que o crescimento observado nos últimos 20 anos.

Nos cenários NZ, a geração torna-se mais renovável e ultrapassa 85% da eletricidade proveniente de fontes renováveis. A produção hidroelétrica continua a desempenhar um papel importante em todos os cenários, embora muito menor que o peso atual.



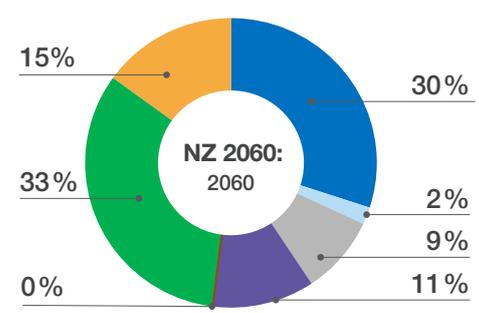
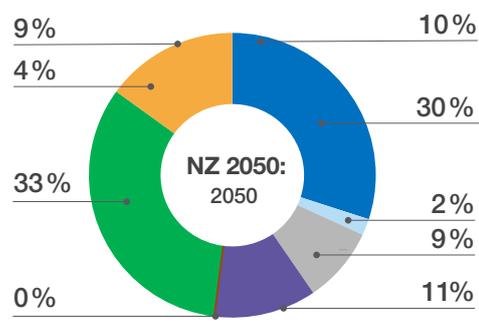
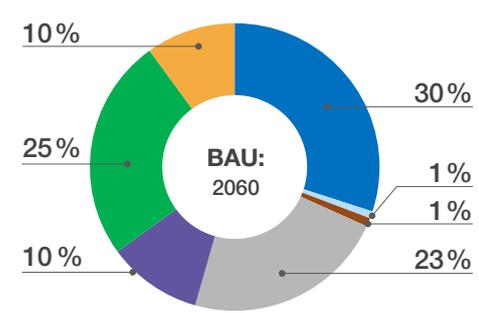
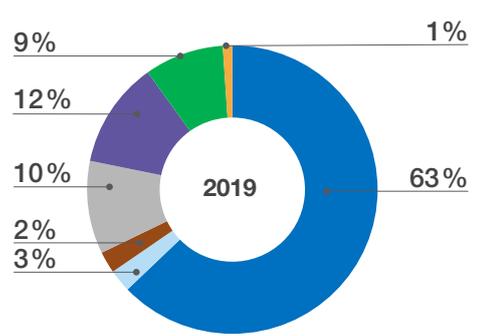
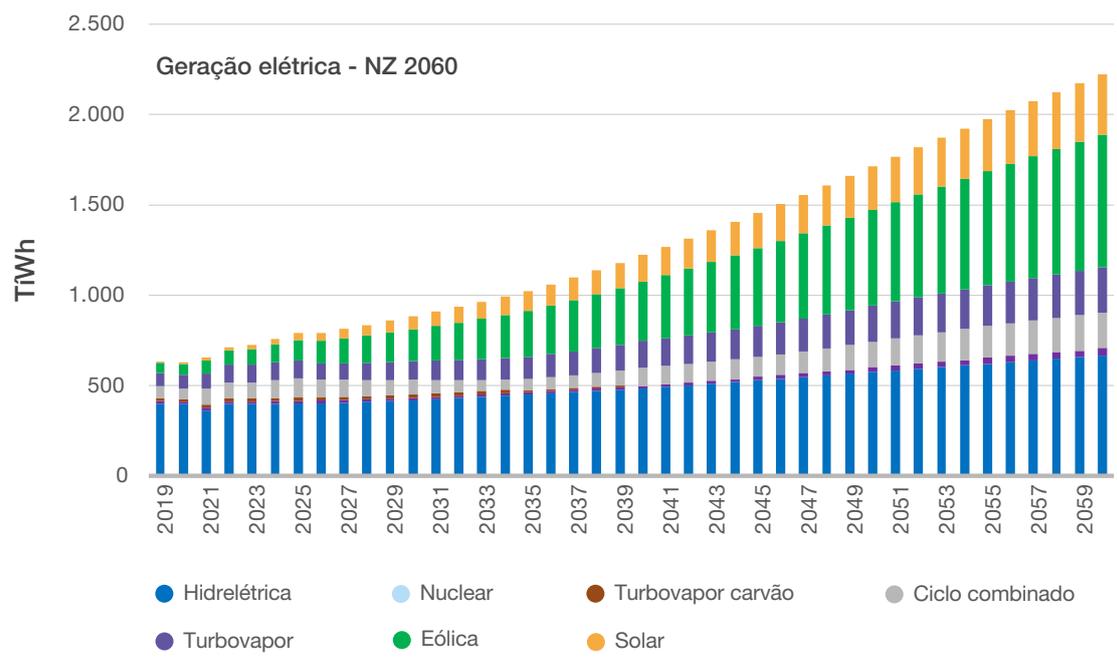
Gráfico 59 A

► Projeção da geração elétrica por fonte e por cenário (TWh)



Fonte: Elaboração própria. A categoria turbopvapor engloba as centrais a biomassa..

**Gráfico 59 B** ▶ **Projeção da geração elétrica por fonte e por cenário (TWh)**



Fonte: Elaboração própria. A categoria turbovapor engloba as centrais a biomassa.

# 3. Financiamento da transição energética

O Capítulo “Cenários de transição” apresenta os investimentos totais correspondentes a cada cenário, como consequência de todas as medidas de transição energética já descritas anteriormente.

---

Os principais itens que requerem investimento são apresentados a seguir, incluindo uma breve descrição das premissas utilizadas para derivar os valores apresentados nas seções seguintes:

1. geração elétrica (e as necessidades de redes elétricas adicionais, bem como medidas de flexibilidade);
2. eletrificação do setor dos transportes rodoviários (investimentos em veículos elétricos e postos de carregamento);
3. medidas de eficiência energética e eletrificação de ramais e utilizações finais para demais setores;
4. uso de tecnologias do tipo captura e armazenamento de carbono.



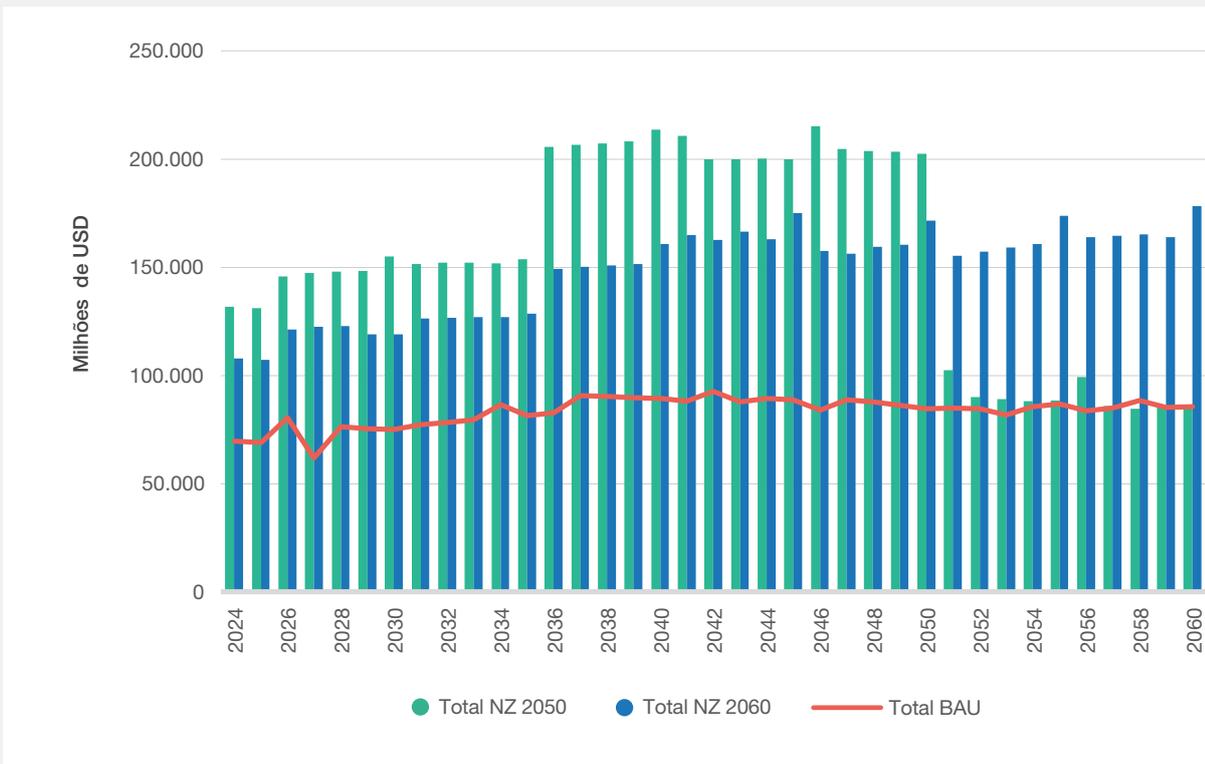
## Investimentos totais

Os investimentos são calculados por ano e o valor total do investimento é aplicado no primeiro ano em que a redução das emissões de CO<sub>2</sub> é possível. Trata-se de uma simplificação do modelo, uma vez que os grandes investimentos devem ocorrer antecipadamente, de um a cinco anos antes, dependendo do momento de construção ou início de operação do investimento em questão (as hidrelétricas, por exemplo, caracterizam-se por uma construção período de vários anos).

Os gráficos 60 e 61 apresentam o total de investimentos anuais estimados por cenário, em milhões de USD e em porcentagem do PIB, de acordo com as orientações e premissas descritas no ponto 5 “Investimentos”, capítulo “Secção metodológica e premissas”, relatório *Transição Energética Justa / Premissas de projeção*.

**Gráfico 60**

► Investimento estimado anual (milhões de USD)



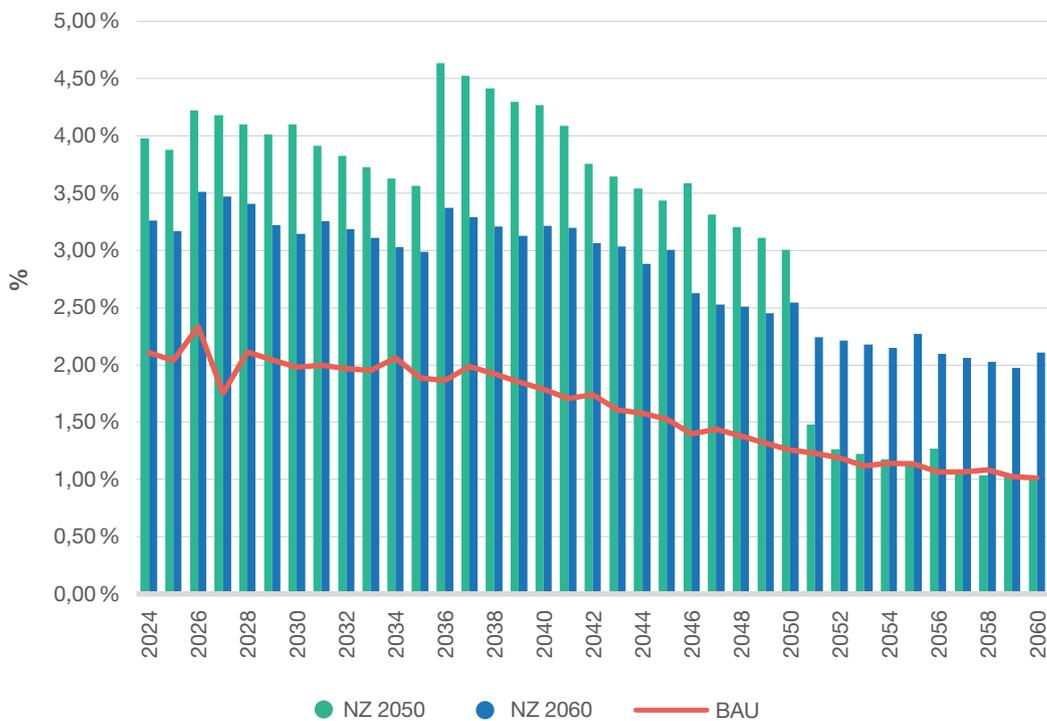
Fonte: Elaboração própria.

Os investimentos acumulados no período entre 2024 e 2060 são de aproximadamente USD 3.080.000 milhões para o cenário BAU, USD 5.700.000 bilhões para o cenário NZ 2050 e USD 5.490.000 bilhões para o cenário NZ 2060.

Por ano são observados investimentos variáveis ao longo do período. O investimento anual máximo no cenário BAU é de aproximadamente 93 bilhões de dólares, enquanto ascende a cerca de 215 bilhões de dólares no cenário NZ 2050 e 180 bilhões de dólares no cenário NZ 2060, o que significa quase uma duplicação dos investimentos anuais nos cenários NZ. A partir de 2051, os investimentos no cenário NZ 2050 são inferiores aos dos anos anteriores e semelhantes aos do cenário BAU.

Gráfico 61

► Investimento estimado anual total em % do PIB (%)



Fonte: Elaboração própria.

O esforço de investimento medido em percentagem do PIB atinge 2,3% em 2026 no cenário BAU, 4,6% em 2036 no cenário NZ 2050 e 3,5% em 2027 no cenário NZ 2060. O investimento em % do PIB regista uma tendência descendente devido a. o aumento do PIB, que é mais significativo que o aumento dos investimentos.

Nos seguintes capítulos, apresentam-se os investimentos por tipo.



## Setor elétrico

Os investimentos do setor elétrico contabilizam:

- investimentos em novas centrais de geração de energia elétrica, em linha com a expansão da geração apresentada na subseção “Setor Elétrico”, seção “Resultados e premissas por setor”, por meio da utilização de preços de investimento (CAPEX, na sigla em inglês) elaborados por o Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) para o comissionamento de novas instalações<sup>42</sup>;
- os investimentos em infraestrutura e flexibilidade, que incluem conceitos de redes inteligentes, baterias e modernização de centrais hidrelétricas velhas, estimadas em 15% adicional<sup>43</sup> aos investimentos de geração elétrica. Estes investimentos são cruciais para facilitar a integração da geração elétrica intermitente no despacho de eletricidade;
- os investimentos em redes de transmissão e distribuição, que acompanham o crescimento muito significativo da demanda elétrica, consequência do crescimento económico projetado e da electrificação dos usos finais, com base numa proporção de 16% para transmissão e 44% para a distribuição<sup>44</sup>;

<sup>42</sup> Tabela 9, *Transição Energética Justa / Premissas de projeção*.

<sup>43</sup> Este valor genérico está alinhado com os valores de investimentos globais estimados pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) em seu relatório *Perspectiva global das transições energéticas 2023: Rumo a 1,5 °C*.

<sup>44</sup> Véase nuevamente el informe *Transición Energética Justa / Premissas de projeção*.

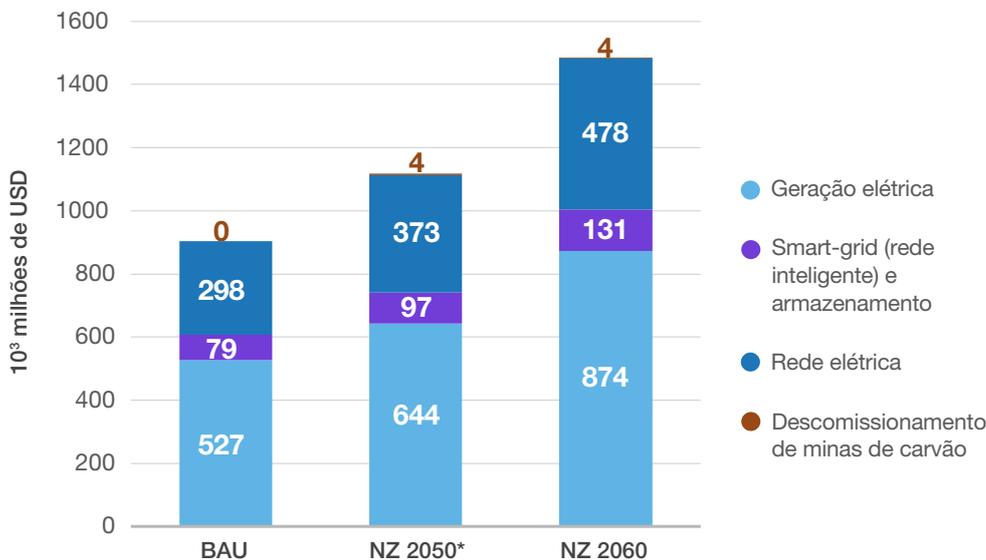
- o investimento necessário estimado para colocar as centrais a carvão fora de funcionamento antes do final da sua vida útil (ativos irrecuperáveis ou ativos afundados) foi estimado utilizando 50% do CAPEX correspondente a uma nova central térmica a carvão publicado pelo NREL<sup>45</sup>.

É importante destacar que, embora a adição de novas capacidades de geração elétrica cresça no longo prazo, os custos unitários de algumas das tecnologias renováveis deverão diminuir gradualmente ao longo do tempo, como consequência das melhorias tecnológicas e dos ganhos de escala gerados no crescimento do setor.

A seguir, apresentamos os investimentos acumulados no período de transição para cada cenário.

Gráfico 62

► Setor elétrico: investimentos acumulados no período de transição (bilhões de USD)



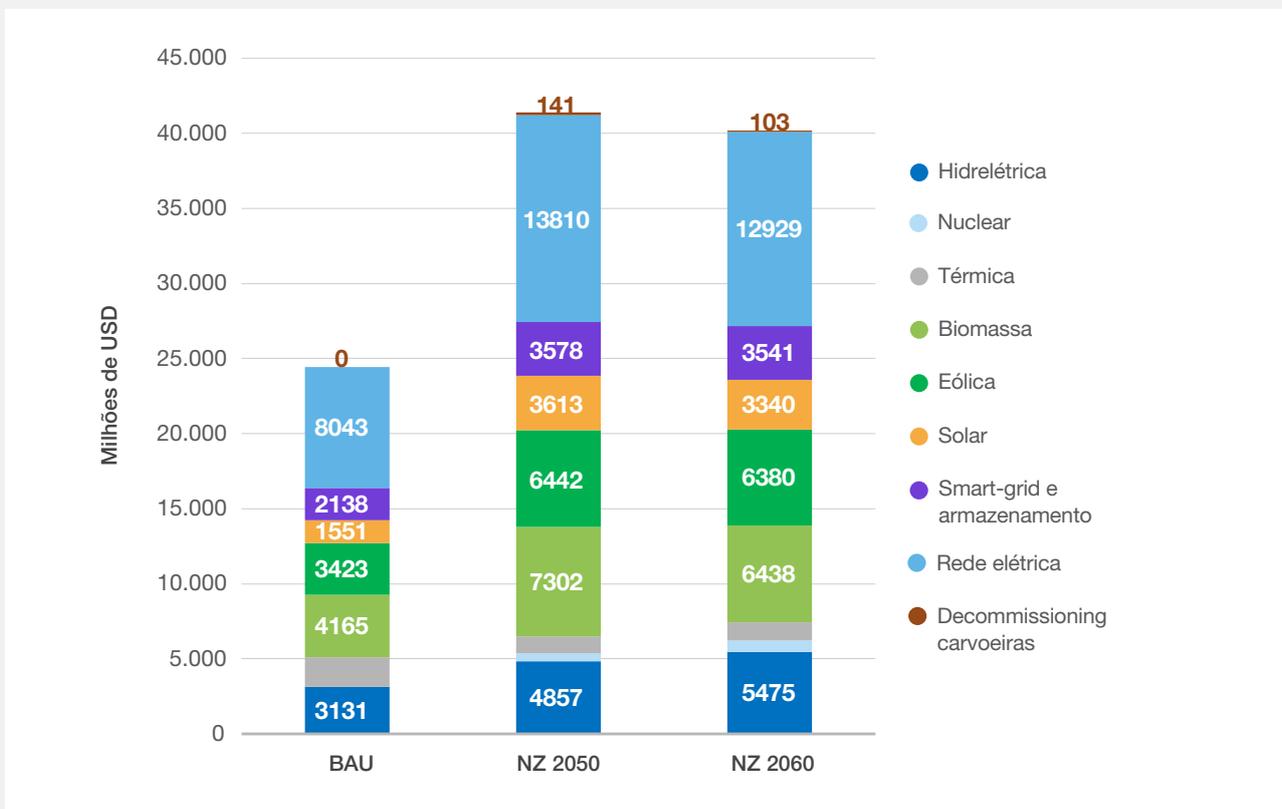
Fonte: Elaboração própria. \* Os investimentos no cenário NZ 2050 correspondem ao período entre 2024 e 2050, enquanto correspondem ao período entre 2024 e 2060 nos demais cenários.

<sup>45</sup> Tabela 10, *Transição Energética Justa / Premissas de projeção*.

Os investimentos acumulados correspondentes ao setor elétrico são de aproximadamente 900.000 milhões de dólares no período entre 2024 e 2060 para o cenário BAU; 1.120.000 milhões de dólares no período entre 2024 e 2050 para o cenário NZ 2050, e 1.490.000 milhões de dólares no período entre 2024 e 2060 para o cenário NZ 2060. Os investimentos acumulados do setor elétrico são de aproximadamente 900.000 milhões de dólares no período entre 2024. e 2060 para o cenário BAU; 1.120.000 milhões de dólares americanos no período entre 2024 e 2050 para o cenário NZ 2050, e 1.490.000 milhões de dólares americanos no período entre 2024 e 2060. Os investimentos correspondentes à geração de eletricidade, conceitos de redes inteligentes e armazenamento ascendem a cerca de dois terços destes, enquanto os investimentos na rede elétrica, em torno de um terço.

**Gráfico 63**

► **Setor elétrico: investimentos anuais por tipo (milhões de USD/ano)**

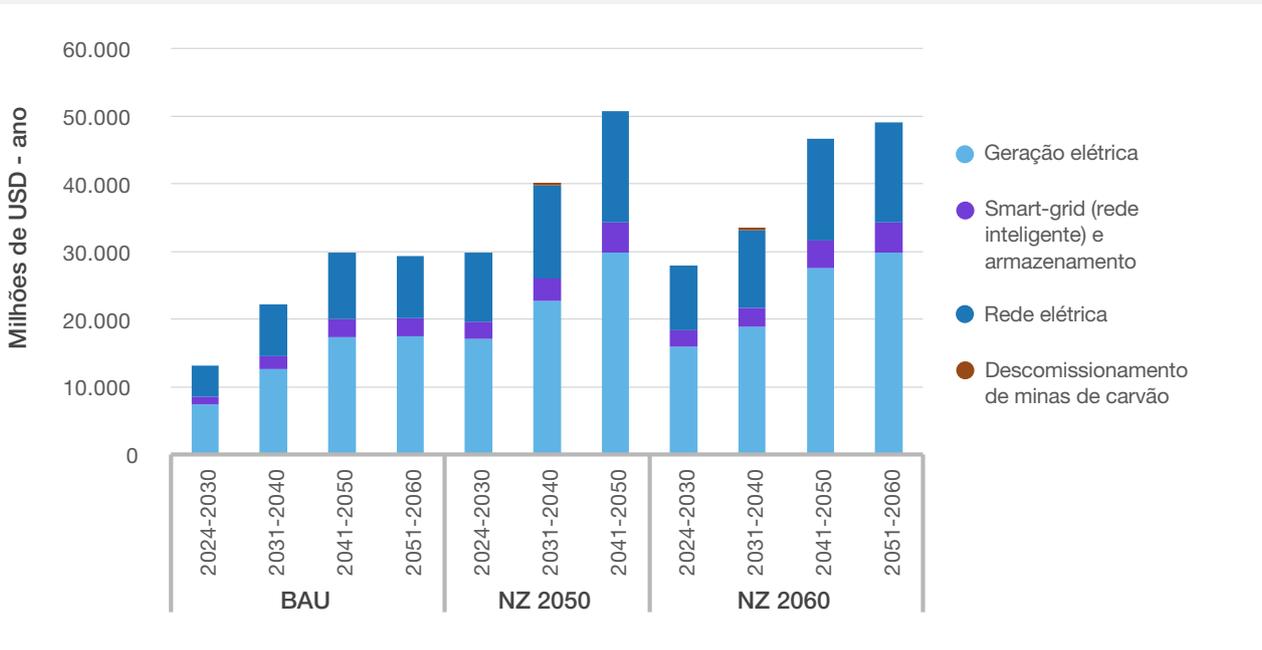


Fonte: Elaboração própria.

Por ano (valor médio), os investimentos necessários são maiores no cenário NZ 2050 com USD 41.381 milhões. Segue-se o cenário NZ 2060 com USD 40.182 milhões e, por último, o cenário BAU com USD 24.436 milhões. Por tecnologia, os investimentos em geração de energia elétrica com maior participação são biomassa, eólica, hidrelétrica e solar. Embora a biomassa acumulada ou a capacidade hidroelétrica a instalar seja inferior à capacidade eólica ou solar, o CAPEX unitário da primeira é quatro a seis vezes maior dependendo da tecnologia e do ano considerado.

**Gráfico 64**

► **Setor elétrico: investimentos anuais por período (milhões de USD/ano)**



Fonte: Elaboração própria

Por intervalo de tempo, a necessidade de investimentos aumenta com o tempo. Estas necessidades de investimento ocorrem num contexto de crescimento da demanda de eletricidade, consequência do forte desenvolvimento económico e da eletrificação dos usos finais.



## Usos finais

Do ponto de vista dos investimentos relacionados com os usos finais da energia, podem ser mencionadas os seguintes investimentos:

- setor transporte rodoviário, que estima o investimento total<sup>46</sup> em veículos elétricos (EV) e veículos híbridos (VH), com base no CAPEX unitário projetado pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) e quantidades de veículos novos, bem como estações de carregamento, com base numa estimativa do número de estações necessárias e um custo unitário;
- medidas de eficiência energética, electrificação, utilização de combustíveis alternativos (hidrogénio e seus derivados, entre outros) e mudanças comportamentais que impactem os setores de utilização final, com excepção dos transportes rodoviários e da tecnologia de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS). Foi considerado um *proxy*<sup>47</sup> por setor de consumo final, equivalente a um CAPEX unitário expresso em USD/tonelada de emissões evitadas, multiplicado pela economia em emissões em cada setor;
- captura e armazenamento de carbono (CCS)<sup>48</sup> que se propõe como opção para os setores industriais com maiores emissões de CO<sub>2</sub> e de difícil transformação.

O gráfico 65 apresenta os investimentos acumulados no período de transição para cada cenário.

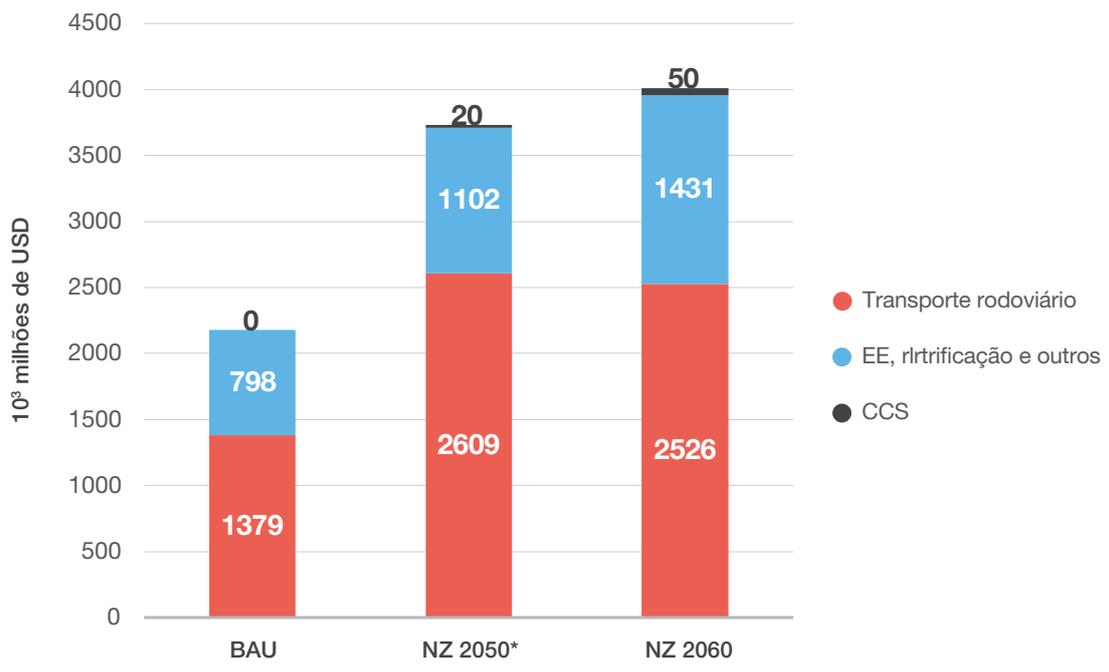
<sup>46</sup> Estes investimentos não contabilizam a necessária substituição de veículos elétricos no final da sua vida útil nem a substituição antecipada de baterias

<sup>47</sup> Este CAPEX equivalente por setor foi estimado com base num estudo realizado pelo Comitê de Mudança Climática (CCC).

<sup>48</sup> O investimento correspondente foi estimado com base no diferencial interanual (ano N menos ano N-1) das emissões absorvidas pela indústria, multiplicado pelo CAPEX unitário de um projeto CCUS capaz de armazenar 1 MtCO<sub>2</sub> por ano. Este custo unitário foi estimado em 1.000 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> absorvida.

**Gráfico 65**

► **Usos finais: investimentos acumulados no período de transição (bilhões de USD)**



Fonte: Elaboração própria. \*Os investimentos no cenário NZ 2050 correspondem ao período entre 2024 e 2050, enquanto correspondem ao período entre 2024 e 2060 nos demais cenários.

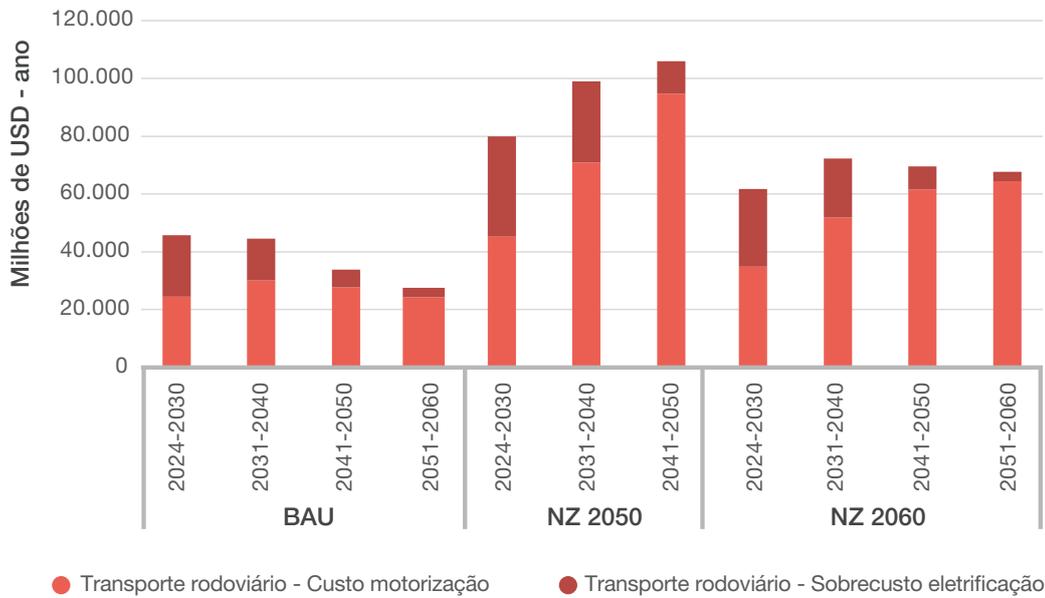
Os investimentos acumulados correspondentes aos usos finais são de aproximadamente 2.180.000 milhões de dólares no período entre 2024 e 2060 para o cenário BAU; 3.730.000 milhões de dólares no período entre 2024 e 2050 para o cenário NZ 2050, e 4.010.000 milhões de dólares no período entre 2024 e 2060 para o cenário NZ 2060. Os investimentos correspondentes ao transporte rodoviário representam aproximadamente entre 60% e 70% destes investimentos, se forem considerados os investimentos totais correspondentes aos VEs e VHS necessários para este segmento. Se considerarmos apenas o custo extra correspondente a estes investimentos (calculado de forma simplificada como a diferença de custo entre a compra de VE, VH e o investimento em postos de carregamento e a compra de um veículo movido a combustível fóssil), o transporte rodoviário representa menos de metade dos

investimentos relacionado aos usos finais (ver gráficos 66 e 67, parcela vermelha escura correspondente ao custo extra de eletrificação).

O gráfico 66 ilustra a diferença entre ambos os conceitos para o transporte rodoviário.

**Gráfico 66**

► **Transporte rodoviário: investimentos anuais por período (milhões de USD/ano)**



Fonte: Elaboração própria.

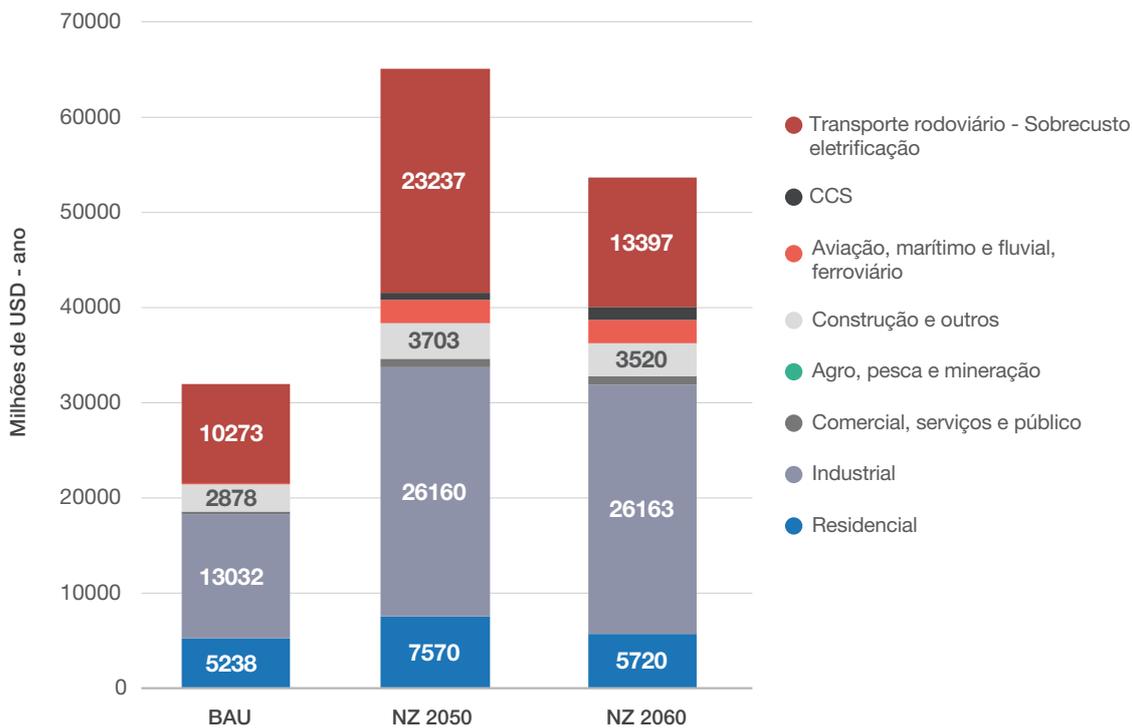
É importante destacar que todos os cenários estudados propõem uma redução futura no custo dos veículos elétricos em cerca de 60% no período. Além disso, os cenários contemplam um aumento da motorização, refletido na propriedade de veículos por 1.000 habitantes conforme indicado nas premissas por setor. As necessidades de investimento incluem dois efeitos principais: o acesso à mobilidade e a sua eletrificação. Este segundo aspecto representa um pequeno custo adicional a longo prazo devido à competitividade dos VE em comparação com os veículos fósseis em quase todos os segmentos de veículos.

Es É importante lembrar que, para o transporte de passageiros particulares, estimou-se um aumento na posse de automóveis e uma redução na sua utilização unitária anual. Poderiam também existir outros esquemas, como veículos autônomos compartilhados, que reduziram parcialmente o número total de veículos e investimentos associados.

O gráfico 67 apresenta os investimentos por tipo, sem considerar o custo da motorização.

**Gráfico 67**

► Usos finais: investimentos anuais por tipo (milhões de USD/ano)



Fonte: Elaboração própria. Este gráfico não considera o custo da motorização.

Por ano (valor médio), os investimentos necessários são maiores no cenário NZ 2050, uma vez que a transformação do setor deve ser feita de forma acelerada. Por tecnologia, os investimentos com maior participação são os do setor industrial, seguido do setor de transporte rodoviário e do setor residencial.

“

**“Os maiores volumes de investimento nos cenários de transição serão destinados aos setores de: geração elétrica e redes, eficiência energética e eletrificação do transporte rodoviário e de outros usos finais.”**

”

## 4. Principais indicadores da transição

A tabela 12 apresenta parte dos indicadores da transição energética justa.

Estes indicadores ilustram o aumento da penetração das energias renováveis no consumo final e na produção de eletricidade, as melhorias nas intensidades energéticas setoriais, a utilização de energia per capita e a penetração da mobilidade elétrica, entre outros aspectos relacionados com a transição energética justa.

**Tabela 12**

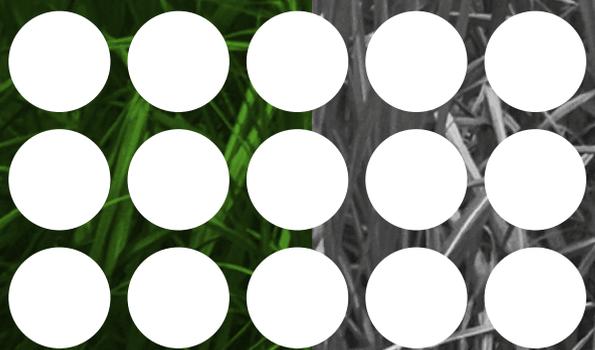
► **Indicadores por horizonte de tempo e cenário**

Número	Indicadores potenciais	Unidade	2019	BAU 2060	NZ 2050	NZ 2060
E-2.1	Proporção de energia renovável no consumo final total de energia	%	48%	38%	66%	67%
	Proporção de energia renovável na geração de eletricidade	%	82%	65%	78%	78%
E-2.1bis	Capacidade instalada de geração de energia renovável	GW	144	352	444	518
E-2.2	Intensidade energética medida em função da energia primária e do PIB	TJ/ MUSD PPP 2017	3,9	2,3	1,9	1,8
E-2.3	Eficiência da conversão de energia	%	43%	50%	50%	50%
	Eficiência da distribuição de energia	%	79%	79%	79%	79%
E-2.4	Intensidade energética por setor (Industrial)	TJ/ MUSD PPP 2017	8,4	6,7	5,8	5,3
	(Agropecuário, pesca e mineração)		2,7	1,4	1,0	1,0
	(Serviços e comercial)		0,3	0,2	0,1	0,1
	(Transporte)		1,1	0,8	0,7	0,6
E-2.5	Intensidade energética do setor residencial	TJ/ 1.000 habitantes	5,3	6,7	5,4	5,8
E-2.6	Penetração da eletricidade no setor transporte	%	0,2%	10%	35%	37%
E-2.7	Penetração do gás natural no setor transporte	%	2%	0%	0%	0%
	Penetração do hidrogênio no setor transporte	%	0%	0%	2%	2%
	Penetração dos combustíveis verdes no setor transporte	%	25%	17%	52%	50%
S-1.4	Uso de energia per capita	TJ/1.000 habitantes	42,7	84,0	57,5	66,4
A-1.1	Emissões de GEE por ano, energia*	MtCO <sub>2</sub> e	368	879	239	241

Fonte: Elaboração própria. \*Não incluem as emissões fugitivas.

# 4

**Roteiro de  
uma transição  
energética justa  
Recomendações**



# 1. O ambiente para a transição



## As projeções

Quando analisados os resultados das projeções da matriz energética do Brasil nos cenários de longo prazo NZ, observa-se uma maior eletrificação do consumo, uma redução na demanda por combustíveis líquidos (ou seja, hidrocarbonetos refinados), um aumento no consumo de gás natural, o surgimento da geração distribuída e a redução da biomassa considerando a substituição da lenha como fonte de energia. O segmento de transportes no Brasil é caracterizado por uma grande penetração de biocombustíveis, o que aumenta sua proporção, tanto em misturas de biodiesel com diesel, álcool com gasolina ou uso em 100%.

**No Brasil, a transição tem características próprias, visto que muitas das tecnologias provenientes de fontes renováveis já iniciaram um caminho de introdução na matriz energética há mais de 30 anos.** No transporte, observa-se uma grande participação da biomassa, que faz parte dos combustíveis líquidos e faz com que as emissões provenientes do uso de determinados tipos de tecnologias sejam diferentes quando comparadas aos padrões internacionais. A geração elétrica apresenta a utilização de fontes renováveis de natureza hidrelétrica, eólica e solar (mais de 80% da geração em um ano normal) no mercado atacadista e uma grande introdução nos últimos 5 anos de geração com painéis solares em consumidores.

Para conceituar a transição no Brasil, o projeto pode ser dividido em três etapas: a fase de preparação entre 2020 e 2030, a segunda fase de implementação e investimentos pesados entre 2030 e 2040, e a fase de desenvolvimento a partir do ano 2040.

## Gráfico 68

## ► Roteiro: etapas

Etapa I - Preparação

Etapa II - Implantação

Etapa III - Desenvolvimento

**ETAPA I – Preparação (entre 2020 e 2030).** Os níveis de investimento são ainda baixos, dado que:

- o recente desenvolvimento de grandes campos de petróleo e gás pela Petrobras na região do Pré-Sal permitiu que o Brasil se tornasse um exportador líquido de petróleo e derivados<sup>49</sup>;
- o setor elétrico no Brasil tem alta participação de energias renováveis; portanto, os investimentos necessários nos primeiros anos para transformar a matriz existente são pequenos; além disso, a primeira década será caracterizada pela necessidade de instalação de equipamentos térmicos para dar firmeza ao sistema. elétrico<sup>50</sup>;
- espera-se que os veículos elétricos e as baterias para geração elétrica não sejam tão massivos e competitivos como nas próximas décadas.

Ressalta-se que o Brasil possui um roteiro para o hidrogênio verde e está em processo de definição de uma política pública e estratégia para a mineração de minerais essenciais para uma rota de descarbonização (por exemplo, lítio).

<sup>49</sup> A produção de petróleo passou de 1,2 Mbbl em 2000 para 3,2 Mbbl em 2023. A produção de gás natural passou de 17,0 MMm<sup>3</sup>/dia em 2002 para cerca de 50,0 MMm<sup>3</sup>/dia.

<sup>50</sup> Nos últimos anos, o aprofundamento dos fenômenos El Niño que geram ciclos de secas e chuvas intensas exige o fortalecimento do sistema de geração com geração firme.

Na segunda metade deste período, destacam-se os investimentos em eficiência energética, na geração de energias renováveis (nomeadamente solar e eólica) e na geração térmica baseada em gás natural, na rede de transporte associada e na introdução da geração distribuída (ou energias renováveis como oferta de energia final nos modelos de projeção elaborados neste relatório).

Os setores industriais básicos no Brasil incluem a indústria básica como siderurgia, alumínio, etc., que estão analisando a eliminação do carvão de seus processos produtivos. Durante este período presume-se que estas indústrias introduzirão hidrogénio azul ou verde na matriz industrial.

No setor automotivo, são promovidos veículos híbridos, as menores emissões dos veículos dada a elevada participação do etanol que exigirá que a transição energética do transporte para os veículos elétricos ocorra de forma mais lenta.

O Brasil possui cinco usinas de GNL; Três estão ligadas à rede de transporte de gás natural e duas fornecem gás natural para geração de eletricidade. Além disso, em 2023, esperava-se que duas plantas flutuantes de armazenamento e regaseificação (FSRU) adicionais entrassem em operação e uma delas saísse. Existem vários projetos para novas plantas de regasificação.

**ETAPA II – Implantação (entre 2030 e 2040).** Assume-se que as tecnologias para a utilização de fontes renováveis<sup>51</sup> sejam massivas, estejam disponíveis e tenham uma alta demanda. Os CAPEX das tecnologias de transição energética (em particular, veículos elétricos, geração elétrica, baterias<sup>52</sup>) seguem sua tendência à baixa, o que permite um desenvolvimento massivo das mesmas.

Nesta década acelera-se a introdução de tecnologias limpas e a melhoria da eficiência energética nas cadeias de valor do setor energético, mantém-se o investimento no gás natural e inicia-se a oferta de tecnologias baseadas no hidrogénio. Os investimentos na geração de gás natural permitirão ao Brasil aumentar a penetração de energias intermitentes, como a eólica e a solar.

<sup>51</sup> O Brasil é fabricante de turbinas de geração eólica e partes dos equipamentos de painéis solares.

<sup>52</sup> É importante indicar que as baterias só serão utilizadas nesta década como mecanismos de melhoria da confiabilidade do sistema de elétrico em sua totalidade.

O Brasil desenvolveu seu setor de hidrocarbonetos nos últimos 20 anos e a alta penetração do etanol nos combustíveis significa que as duas indústrias exigem a continuidade da outra; portanto, a promoção antecipada de veículos híbridos permite a redução do consumo.

Aceleraram-se políticas públicas para modernizar e expandir as redes de transmissão e distribuição para que possam aceitar e transportar energia limpa a longas distâncias de forma eficiente (minimizando perdas técnicas) e que deem origem a uma rede inteligente que permita a eletrificação (veículos elétricos, telhados solares, etc.)

A política de eficiência energética é promovida em todos os segmentos da atividade econômica em linha com as ações do Brasil nos últimos 20 anos.

A introdução de veículos elétricos no Brasil envolverá o desenvolvimento de linhas de produção de veículos elétricos; portanto, a criação de toda a cadeia de valor industrial deve ocorrer. Neste sentido, espera-se que a introdução de veículos elétricos seja lenta e incipiente durante este período.

**ETAPA III - Desenvolvimento (depois de 2040).** As tecnologias limpas já estão maduras e massivas; portanto, os preços são competitivos e o custo da transição está mais relacionado com a aceleração da saída de tecnologias com maiores emissões de CO<sub>2</sub>. No caso do Brasil, esse processo começará somente após o ano de 2050; até essa data, deverão ser introduzidas novas centrais de gás natural para apoiar a entrada de energias renováveis.

Termina o investimento nos setores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub>e; no caso do gás natural, mantêm-se os investimentos para operar as usinas que ainda estão operacionais sem expansões adicionais e dão lugar marginalmente a tecnologias que o substituam, como o hidrogênio e o CCUS.

A redução do consumo de petróleo e gás devido à eletrificação reduz a utilização de ativos de hidrocarbonetos; portanto, são necessárias políticas públicas que permitam reduzir esse mercado sem gerar volatilidade de preços.



## As implicações para as políticas públicas

O índice de desenvolvimento humano (IDH) do Brasil em 2021 foi de 0,754, o que coloca o país na categoria de alto desenvolvimento humano e na 87ª posição entre 189 países e territórios<sup>53</sup>. Da mesma forma, não é um país do Anexo I do Acordo de Paris. Por conseguinte, as suas políticas devem centrar-se naquelas que lhe permitem cumprir os seus compromissos de redução de emissões e as necessidades de crescimento da sua economia para alcançar reduções máximas de emissões no menor tempo possível; provavelmente atingirá a meta de emissões líquidas zero após o ano 2050.

### Etapa I - Preparação

Durante a etapa I de preparação, as políticas do Brasil devem estar focalizadas em cada um dos pontos a seguir.

- 1. Políticas públicas.** O Brasil conta com um marco legal dirigido a reduzir seu impacto sobre o meio ambiente que é anterior ao Acordo de Paris e que foi alinhado com este. Em 2007, sancionou a Política Nacional sobre Mudança Climática<sup>54</sup> e a NDC<sup>55</sup> que, junto com o Plano Nacional de Energia 2050, estabelecem metas de redução de emissões e adoção de energias limpas. Ou o Brasil já iniciou esse processo; portanto, espera-se atualizar e aprimorar sua regulamentação. O Brasil também desenvolveu políticas específicas para biocombustíveis, gás natural e mercado elétrico.

<sup>53</sup> O índice do PNUD estabelece quatro categorias, sob (menos de 0,55), médio (entre 0,55 e 0,70), alto (entre 0,70 e 0,80) e muito alto (mais de 0,80).

<sup>54</sup> Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), Lei 12.187 de 2009: define o compromisso nacional voluntário de redução das emissões planejadas entre 36,1% e 38,9% para 2020.

<sup>55</sup> Contribuição determinada nacionalmente (NDC): um compromisso para reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030, tendo 2005 como ano de referência.

- 2. Acesso.** Alcançar a cobertura total dos serviços de eletricidade e o acesso universal à cozinha limpa, a fim de substituir e deslocar a lenha (e outros combustíveis de utilização ineficiente e com elevadas emissões de CO<sub>2</sub>) no setor residencial, especialmente em zonas rurais altamente marginalizadas. Da mesma forma, o Brasil possui áreas geograficamente distantes com sistemas elétricos isolados que utilizam combustíveis líquidos como fonte de energia; atualmente, a introdução de energias renováveis nessas áreas já é promovida através da Lei nº 14.300 de 2022. A CDE é o mecanismo para aumentar a cobertura e introduzir energias renováveis em redes isoladas. Neste período, o Brasil deve continuar com essas políticas para cumprir as TEJ.
- 3. Eficiência energética.** Os programas de promoção da eficiência energética no Brasil começaram há 40 anos e o país possui um Plano Nacional de Eficiência Energética alinhado à NDC. O Brasil deve continuar com a implementação de seu plano e manter o desenvolvimento de atualizações decenais. A promoção de veículos híbridos como parte da eficiência energética nos transportes tem um grande impacto em países com forte penetração de biocombustíveis.
- 4. Energias renováveis.** O Brasil possui bons recursos solares e eólicos. Além disso, lançou programas para desenvolver energias renováveis e geração distribuída. Foram realizados três leilões de fontes alternativas, em 2007, 2010 e 2015, com o objetivo de desenvolver fontes renováveis e fazê-las competir entre si e nove leilões de energia de reserva. A matriz elétrica do Brasil tem penetração renovável superior a 80%, baseada em energia hidrelétrica que pode sofrer situações de seca. Neste período, deve continuar a ser promovida a penetração da geração distribuída e da microgeração, além de abordar os aspectos de coordenação da administração da geração fora da rede de transmissão, o que é mencionado nos aspectos de automatização.

- 5. Subsídios e preços.** As políticas de eficiência energética exigem esquemas de preços que reflitam os custos e subsídios bem direcionados para a sua eficácia. Em geral, os preços e taxas refletem os custos. Isso mostra que o Brasil começou a implementar essas políticas há mais de 40 anos. A principal tarefa para reduzir subsídios no Brasil é a implementação das políticas de acesso que permitam reduzir a conta de desenvolvimento energético
- 6. Regulações.** Eventualmente manter incentivos fiscais e financeiros que promovam o investimento em energias renováveis e eficiência energética. Promover regulamentações bancárias que incentivem empréstimos associados à transição energética (fontes renováveis e combustíveis de transição) e que penalizem os investimentos na cadeia petrolífera e seus derivados. Dentro dos incentivos fiscais, deve-se prever o estabelecimento de impostos sobre carbono e que estejam relacionados aos preços internacionais dos créditos de carbono para que reflitam adequadamente o custo de mitigação<sup>56</sup>. Desarrollar políticas y regulaciones detalladas para seguir impulsando las políticas relacionadas con hidrógeno y CCS a efectos de reducir incertidumbres para estos negocios y permitir su desarrollo em el largo plazo.
- 7. Combustíveis de transição.** A consolidação do fornecimento de gás e dos seus sistemas de transporte deverá ocorrer neste período, garantindo a possível amortização sem excesso de custos dos projetos de produção, importação e armazenamento que forem desenvolvidos. No caso do Brasil, envolve o desenvolvimento dos terminais de GNL necessários ao fornecimento de gás e ao fortalecimento da rede de gasodutos. Esta política não deve procurar massificar a utilização do gás em regiões que não têm cobertura, apenas naquelas onde já existe uma rede de distribuição.

<sup>56</sup> É importante indicar que os sinais de preços devem ser constantes ao longo do tempo para serem eficazes; portanto, o desenvolvimento de custos de mitigação nivelados poderia ser outra alternativa.

- 8. Reversões.** O Brasil é um importador líquido de gás natural e carvão. O país é produtor de petróleo e, em menor medida, de gás natural. Ao nível das centrais de carvão e de óleo combustível, não existe um plano oficial de encerramento (*phase-out*), nem existe um mecanismo claro de transição justa. Embora o governo brasileiro tenha publicado recentemente a Lei nº 14.299/22 ou a chamada lei de transição energética justa, esta lei garante que o Brasil continuará a usar e subsidiar o carvão como fonte de energia, pelo menos, até 2040. Cerca de dois terços das centrais de carvão em funcionamento hoje em dia no Brasil foram instaladas entre 2010 e a atualidade.
- A capacidade instalada ronda os 7% do total e está distribuída entre zonas do sistema integrado e algumas independentes em zonas isoladas. Devem começar os trabalhos de introdução de energias renováveis nas áreas distribuídas, estando previsto o desmantelamento destas centrais para o período seguinte, altura em que poderão ser introduzidas baterias. Centrais de geração de carvão e óleo combustível devem ser desmontadas e substituídas.
- O Brasil desenvolveu uma indústria de hidrocarbonetos com grandes investimentos em infraestrutura associada a gás e petróleo na região do Rio de Janeiro e São Paulo. Espera-se que alguns destes ativos estejam operacionais após 2050; contudo, o impacto da redução desta indústria nestes estados deve ser analisado e é necessário que os planos de reconversão comecem a ser implementados na presente década.
- 9. Redes inteligentes.** Modernizar as infraestruturas energéticas, promovendo o investimento em redes elétricas inteligentes e em sistemas de armazenamento de energia para facilitar a integração de energias renováveis e melhorar a fiabilidade do fornecimento. O governo federal deve analisar e cobrir os custos da introdução de redes inteligentes de baixo consumo como parte da agenda de facilitação da eficiência energética.
- 10. Transporte.** Estimular veículos híbridos nesta década e começar a promover veículos elétricos ao mesmo tempo que desenvolve biocombustíveis e fortalece o biodiesel verde.

O desenvolvimento de redes de carregamento elétrico é, sem dúvida, um grande desafio para um país do tamanho do Brasil; portanto, nesta década, deve começar a introdução de regulamentações que permitam o surgimento destas redes de abastecimento.

As políticas para a introdução de caminhos-de-ferro elétricos também constituem um mecanismo para acelerar a transição energética e substituir o transporte de mercadorias por combustíveis líquidos. Portanto, estudos, desapropriações e licitações devem ser promovidos para desenvolver esses projetos.

A transição energética no Brasil durará entre dez e vinte anos após 2050; portanto, as tecnologias de gás terão tempo para serem amortizadas.

- 11. Mercados.** Desenvolver mercados secundários no setor elétrico. Focada na comercialização de energia elétrica e seus derivados financeiros (futuros, *swaps*, opções, etc.) para permitir aos segmentos residencial e comercial selecionar as fontes de energia que pretendem adquirir e aos setores industriais prever os seus preços no longo prazo. Isto implica aprofundar as reformas no setor elétrico para adotar esquemas do tipo Escolha do Consumidor, que permitem aos utilizadores finais regulados escolherem o fornecedor de serviços elétricos que melhor lhes convém.
- 12. Educação.** Promover políticas educativas sobre a transição energética, a fim de desenvolver hábitos na população relativamente ao consumo de energia. Nesta fase, a transição energética deve ser incluída em todos os níveis educativos e nas campanhas de sensibilização da sociedade.

## Etapa II - Implantação

---

Na segunda etapa, serão feitos os maiores investimentos.

- 1. Políticas públicas.** Desenvolver planos de transição detalhados para NZ com o horizonte de planeamento finalmente definido.

- 2. Eficiência energética.** Continuar com a promoção da eficiência energética em todos os segmentos da economia (residencial, industrial, comercial, transportes, agricultura, setor público, etc.) com o objetivo de reduzir o consumo de energia.

Promover programas de substituição e sucateamento de equipamentos e automóveis, com foco nos automóveis (caminhões e automóveis), dados os avanços esperados no desenvolvimento e no preço dos veículos elétricos.

Estes programas devem centrar-se na substituição por veículos híbridos.
- 3. Subsídios e preços.** Os preços devem ser definidos nos mercados energéticos e os subsídios devem ser mantidos para as pessoas com necessidades energéticas não satisfeitas.
- 4. Regulamentos.** Promover regimes tarifários que prevejam investimentos na mitigação e adaptação às alterações climáticas.

Promover regulamentações restritivas para a frota de veículos, a fim de incentivar a retirada e substituição de unidades com elevadas emissões de CO<sub>2</sub> e o planejamento de cidades que permitam a utilização de sistemas de transporte alternativos (transportes públicos elétricos, bicicletas para viagens curtas, etc.).

Dentro dos incentivos fiscais, deve-se planejar estabelecer que os impostos sobre carbono estejam relacionados aos custos de remediação e adaptação e não permitir sua defasagem por não os atualizar com a periodicidade necessária.

Desenvolver regulamentos detalhados para impulsionar políticas relacionadas com o hidrogénio e a CCS, para reduzir as incertezas para estas empresas.
- 5. Aspectos sociais.** Propor esquemas de acordos socioambientais para permitir o desenvolvimento de projetos de hidrogénio e CCUS, a geração de eletricidade limpa em comunidades marginalizadas e compensação para regiões que devem mudar sua vocação produtiva (de energias fósseis para energias limpas ou para outro tipo de produção de bens ou fornecimento de serviços).

- 6. Combustíveis de transição.** Financiar os setores dos hidrocarbonetos e do gás de forma normal e suspender o financiamento de novos projetos de expansão dos sistemas de hidrocarbonetos.
- Deve-se considerar que a transição energética no Brasil inclui os biocombustíveis como forma de reduzir emissões; portanto, os ativos petrolíferos devem reduzir a sua participação, mas manter a sua operação como parte do setor enquanto a capacidade de produção cresce. Esta década é caracterizada pelo setor petrolífero como suporte ao crescimento dos biocombustíveis.
- 7. Reconversões.** Dado que o Brasil realizou grandes investimentos no setor de hidrocarbonetos nos últimos 15 anos, esses ativos estarão operacionais ao longo da terceira década do século.
- Como indicado anteriormente, a importância destes setores em determinadas regiões ou estados implica que, durante a terceira década do século, estas cidades e cadeias de valor devem ser transformadas para se tornarem resilientes ao desmantelamento do setor entre 2040 e 2060. Portanto, durante este período, deverão ser desenvolvidas políticas públicas de reconversão nas regiões que abandonaram o carvão e naquelas que terão de abandonar gradualmente a produção de hidrocarbonetos.
- 7. Redes inteligentes.** Consolidar as infraestruturas energéticas, promovendo o investimento em redes elétricas inteligentes e sistemas de armazenamento de energia para facilitar a integração de energias renováveis e melhorar a fiabilidade do fornecimento.
- A introdução de sistemas de medição inteligentes procura fornecer sinais de preços mais adequados ao consumo de energia.
- Além disso, fornecer esquemas de transmissão de dados que permitam a criação de um esquema de administração seguro para a rede centralizada de transmissão e distribuição (incluindo aspectos de segurança cibernética), sem desconsiderar a geração distribuída.

9. **Transporte.** Promover tecnologias limpas nos transportes, incluindo biocombustíveis e combustíveis verdes, a promoção de veículos de carregamento de GNL ou GNC, como combustível de transição, e de veículos híbridos e elétricos, e suas infraestruturas de carregamento associadas. Implementar transporte ferroviário elétrico para transporte de cargas e passageiros.
10. **Novas tecnologias.** Desenvolver instrumentos financeiros concessionais para a implementação de projetos de hidrogênio e CCS<sup>57</sup>.

## Etapa III - Desenvolvimento

---

Na terceira etapa, os esforços estão concentrados em poucos objetivos.

1. **Eficiência energética.** Promover a eficiência energética em todos os segmentos da economia (residencial, industrial, comercial, transportes, agricultura, setor público, etc.) com o objetivo de reduzir o consumo de energia. O alinhamento de preços, subsídios, regulamentações financeiras que promovam a transição energética e um preço do carbono (impostos sobre carbono ou sistemas de comércio de emissões) devem impulsionar estes investimentos.  
Promover programas de substituição e sucateamento de equipamentos e automóveis, com foco em todos os equipamentos que utilizam combustíveis líquidos.
2. **Subsídios e preços.** Os preços nos mercados energéticos devem ser definidos e os subsídios mantidos para as pessoas com necessidades energéticas não satisfeitas.

<sup>57</sup> Vários projetos-piloto estão a ser propostos para financiamento de hidrogênio e CCUS; contudo, estes mecanismos procuram permitir o aumento do montante de fundos através do desenvolvimento de tecnologias. Aqui é proposto o financiamento de tecnologias já desenvolvidas.

- 3. Regulações.** No âmbito dos incentivos fiscais, deve ser previsto o estabelecimento de mecanismos de precificação do carbono que reflitam os custos sociais, de forma a incentivar o desmantelamento e substituição destes equipamentos.
- 4. Reconversões.** Fornecer assistência financeira às regiões e setores produtivos que o desmantelamento dos ativos de extração de petróleo e a exploração das minas de carvão irão afetar.
- 4. Transporte.** Promover tecnologias limpas nos transportes, no hidrogénio e na eletricidade, e na infraestrutura de carregamento associada. Fortalecer a introdução de biocombustíveis nos transportes e manter suas cadeias de abastecimento e produção. Implementar transporte ferroviário elétrico e transporte elétrico ou movido a hidrogênio de cargas e passageiros.
- 6. Novas tecnologias.** Promover a adoção massiva de novas tecnologias com reduções comprovadas de emissões, incluindo novas práticas de eficiência energética.

## 2. O roteiro

Para desenvolver o roteiro foram propostas três etapas. Na primeira fase existem duas fases, uma de debate e desenvolvimento onde são definidas as políticas públicas a serem desenvolvidas e os segmentos que necessitam de financiamento concessional ou de apoio. A Tabela 13 mostra as políticas por tema e ação esperada.

A fase de debate centra-se em conceptualizar, em conjunto com os países, as implicações da transição energética justa entre 2024 e 2025. Essa transição levanta a necessidade de combinar planos econômicos que permitam altas taxas de crescimento e uma melhoria na qualidade de vida da população, por meio de políticas públicas focadas na redução das necessidades energéticas.

Da mesma forma, a transição energética justa também deve discutir o financiamento das medidas de transição em linha com o que está indicado no artigo 7º do Acordo de Paris.

**Tabela 13**

► Roteiro a ser promovido pelo CAF

Política	Entre 2024 e 2025	Entre 2026 e 2030	Entre 2031 e 2040	Depois de 2040
Políticas públicas	- Integrar os conceitos do TEJ aos planos e políticas energéticas nacionais desenvolvidos pelo Ministério da Energia nas esferas federal e estadual, agências reguladoras, ANP, ANEEL e agências estaduais.	- Emitir os primeiros planos para a TEJ.	- Ajustar os planos TEJ com os prazos em que os padrões de vida decentes são alcançados.	

Continua

Continuação

Política	Entre 2024 e 2025	Entre 2026 e 2030	Entre 2031 e 2040	Depois de 2040
Acesso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcançar a cobertura total dos serviços de eletricidade e o acesso universal a cozinha limpa.</li> <li>- Introduzir a geração renovável em todos os sistemas isolados (solar, eólica e mini hidrelétricas).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Começar a introduzir baterias nos sistemas isolados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar esquemas de fornecimento isolados sem combustíveis fósseis.</li> </ul>
Eficiência energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conceber, financiar e implementar políticas de substituição e sucateamento de eletrodomésticos (frigoríficos, ar-condicionado, aquecimento e outros).</li> <li>- Estabelecer políticas para promover a introdução de veículos híbridos e elétricos.</li> <li>- Analisar programas de sucateamento e substituição de caminhões e veículos com mais de 20 anos.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuar com políticas de substituição, incluindo todos os tipos de eletrodomésticos e equipamentos isolantes.</li> <li>- Promover planos para substituir veículos particulares de baixa eficiência por veículos híbridos e começar a introduzir veículos elétricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuar com as políticas de reposição, incluindo todo tipo de eletrodomésticos e equipamento isolante dos lares.</li> <li>- Promover veículos pesados a hidrogênio verde.</li> </ul>
Subsídios energéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Focalizar os subsídios nos habitantes com necessidades energéticas insatisfeitas.</li> </ul>			
Preços dos combustíveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar o teor de biocombustíveis em combustíveis líquidos e promover o desenvolvimento do biodiesel verde.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Internalizar cada vez mais os custos de remediação nos preços dos combustíveis, seja através de impostos sobre emissões ou de sistemas de comércio de emissões.</li> </ul>	
Tarifas dos serviços públicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Que as tarifas de distribuição dissociadas cubram os custos de forma separada à geração.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Internalizar os investimentos em mitigação e adaptação nas tarifas.</li> </ul>	
Regulações	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aprofundar políticas de incentivos fiscais e financeiros que promovam o investimento em energias renováveis e na eficiência energética.</li> <li>- Promover regulamentos financeiros que incentivem empréstimos associados à transição energética (fontes renováveis e combustíveis de transição).</li> <li>- Promover regulamentações para favorecer os veículos híbridos com foco na frota privada.</li> <li>- Promover regulamentações rigorosas para a frota de veículos de carga, a fim de incentivar a substituição de unidades com elevadas emissões de CO<sub>2</sub>.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- No âmbito dos incentivos fiscais, devem ser previstas disposições para estabelecer que os impostos sobre o carbono estão relacionados com os custos de remediação e adaptação.</li> <li>- Desenvolver regulamentos detalhados para impulsionar políticas relacionadas com o hidrogênio e a CAC, a fim de reduzir as incertezas para estas empresas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dentro de los incentivos fiscales, se debe prever establecer que los impuestos al carbono reflejen su costo social, de manera que incentiven la chatarrización y el recambio de estos equipamientos.</li> </ul>

Continúa

Continuação

Política	Entre 2024 e 2025	Entre 2026 e 2030	Entre 2031 e 2040	Depois de 2040
Aspectos socioambientais para o desenvolvimento de projetos			- Propor esquemas de acordos socioambientais para viabilizar o desenvolvimento de projetos de hidrogênio e de CCUS.	
Combustíveis de transição	- Permitir o financiamento e a regulação do setor do gás e petróleo na regulamentação bancária.	- Promover a expansão dos biocombustíveis. - Promover o investimento em ativos de gás natural necessários para permitir o avanço das energias renováveis e a reconversão das indústrias brasileiras que utilizam carvão.	- Manter o investimento no setor do gás e petróleo, centrado o financiamento nas operações e não na expansão. - Aumentar os biocombustíveis tanto quanto possível.	
Conversões	- Iniciar estudos de impacto nas comunidades relacionados com a exploração de gás natural, outros minerais e petróleo. - Iniciar o desenvolvimento de planos de reconversão para economias dependentes de hidrocarbonetos, a fim de desenvolver regulamentos e regras de negócios que permitam a promoção de novos negócios na região. - Desenvolver planos estratégicos para a reconversão das economias regionais associadas às indústrias extrativas para garantir o TEJ		- Implementar planos estratégicos de reconversão das economias regionais associadas às indústrias de extração para garantir a TEJ.	- Estabelecer programas para mitigar o impacto do TEJ nos setores que não alcançaram a sua reconversão.
Descomissionamento de usinas de óleo combustível e carvão		- Estabelecer regulações para dismantelar as usinas a carvão e óleo combustível que ficarem operativas.		
Desmantelamento de ativos de hidrocarbonetos	- Estabelecer um plano de ativos extras a serem desenvolvidos para a transição.	- Implementar regulações e regras de promoção para as zonas fortemente de hidrocarbonetos.	- Desenvolver planos de compensação e ajuda de recursos para as zonas a serem reconvertidas. - Começar com as políticas de financiamento para viabilizar novos negócios na região.	- Implementar as políticas de financiamento para viabilizar novos negócios na região. - Desenvolver as políticas necessárias para incentivar a realocação da população caso os planos de reconversão não sejam efetivos.

Continua.

Continuação

Política	Entre 2024 e 2025	Entre 2026 e 2030	Entre 2031 e 2040	Depois de 2040
Desenvolvimento de redes inteligentes e infraestrutura de medição avançada (AMI)	- Analisar os mecanismos de integração de redes inteligentes na transmissão e distribuição, e de financiamento internacional que permitam uma melhor administração do sistema como um todo.	- Introduzir a medição inteligente.		
Integração de energias renováveis e sistemas de armazenamento		- Estimar as necessidades de armazenamento a longo prazo para integrar grandes quantidades de energia renovável como complemento ao armazenamento hidroelétrico.	- Desenhar mecanismos de remuneração dos serviços prestados pela armazenagem para facilitar o seu desenvolvimento.	
Operação das redes de distribuição e transmissão de maneira coordenada		- Desenvolver mecanismos de operação integrados entre distribuidores e transportadores.		
Desenvolvimento dos mercados secundários de eletricidade		- Desregulamentar o marketing residencial e comercial para introduzir decisões de consumo baseadas não só nos preços, mas também no tipo de energia que é produzida. - Introduzir mercados de derivados para todos os segmentos energéticos. - Avançar regimes de concorrência ao nível do fornecimento final para consumidores regulamentados.		

# Trabalhos citados

---

**CEBRI, E. C.** (2023). *Neutralidade de carbono até 2050: Cenários para uma transição eficiente no Brasil.*

**EPE.** (2019). *Atlas of Energy Efficiency Atlas.*



**EUROSTAT.** (2021). Obtido de [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_consumption\\_in\\_households](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households)

**IEA.** (2021). *Net Zero by 2050.*

**IEA.** (2021). *Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector.*

**IEA.**(2022). *Energy Efficiency 2022.*



**Foro Internacional de Transporte, BID.** (2022). Obtido de <https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Decarbonising-Transport-in-Latin-American-Cities-Assessing-Scenarios.pdf>

**Law, H. y otros** (2015). *The motorcycle to passenger car ownership ratio and economic growth: A cross-country analysis.*

**Ministério de Minas e Energia.** (2005). *Balanço de Energia Útil.*

