



## (Des)Caminhos do setor elétrico no Brasil e a mudança global do clima

**André Braga Escada**

Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ)

[andre.escada@gmail.com](mailto:andre.escada@gmail.com)

**Daniel Caixeta Andrade**

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

[daniel.andrade@ufu.br](mailto:daniel.andrade@ufu.br)

### Resumo

A Agência Internacional de Energia (AIE) aponta um possível, mas desafiador, caminho para o setor energético global alcançar emissões líquidas neutras de CO<sub>2</sub> em 2050. No planejamento do setor elétrico de determinados países já é uma realidade a incorporação de critérios referentes à mudança global do clima. Ao se comparar as diretrizes apontadas pela AIE com o planejamento energético brasileiro por meio da análise dos principais documentos de planejamento energético nacional, é possível avaliar a adequabilidade da ambição climática no planejamento do setor elétrico brasileiro frente a urgência do contexto da mudança global do clima. Os resultados deste trabalho indicam que o planejamento do setor elétrico no Brasil não considera adequadamente a mudança global do clima e os seus impactos como um fator central no planejamento. Além disso, diferentemente de outros países, que precisam reduzir as suas emissões no setor de energia, o Brasil precisa considerar a vulnerabilidade hídrica exacerbada pelas mudanças climáticas num sistema altamente dependente de hidroeletricidade.

**Palavras-chave:** mudança global do clima; energia; setor elétrico; planejamento energético; adaptação.

**Abstract:** The International Energy Agency (IEA) points out a possible but challenging path for the global energy sector to achieve CO<sub>2</sub> net zero emissions in 2050. In planning the electricity sector of certain countries, the incorporation of criteria related to global climate change is already a reality. By comparing the guidelines showed by the IEA with the Brazilian energy planning through the analysis of the leading national energy planning documents, it is possible to assess the adequacy of climate ambition in the planning of the national electricity sector, given the urgency of the context of climate change. This paper's results show that Brazil's electricity sector planning does not adequately consider climate change and its impacts as a central factor in the sector planning. Furthermore, unlike other countries, which need to reduce their emissions from the energy sector, Brazil needs to consider water vulnerability exacerbated by climate change in a system highly dependent on hydroelectricity.

**Keywords:** climate global change; energy; power sector; energy planning; adaptation.

**JEL Codes:** Q4; 54; Q58.



## 1. Introdução

O atual regime energético global é fundamentado no consumo de combustíveis fósseis. Após 1950, o consumo energético se intensificou a ponto de 60% de toda energia produzida pela humanidade na história ter sido consumida a partir de tal ano, superando o consumo de todo o Holoceno, estimado em 14,6 ZJ (Syvitski et al, 2020). A transição para um novo regime energético mostra-se como elemento chave no atual contexto climático, cuja complexidade representa uma possível ameaça à continuidade do desenvolvimento das civilizações humanas e a própria existência do ser humano como espécie (Steffen et al, 2011).

A transição energética para uma economia de baixo carbono traz consigo grandes desafios, assim como oportunidades para países em desenvolvimento como o Brasil, em especial pela composição da matriz energética nacional (Valavanidis & Vlachogianni, 2013). No caso brasileiro, há que se impedir que a participação das renováveis, já em um patamar comparativamente elevado, seja reduzida. Tal processo de transição, que não será homogêneo para todos os países do mundo, deve garantir a redução dos impactos ambientais e, ao mesmo tempo, garantir a segurança energética dos sistemas, de modo a garantir a sustentabilidade econômico-ecológica do desenvolvimento dos países.

Nesse contexto, a Agência Internacional de Energia publicou um guia de um possível, porém desafiador, caminho para atingir emissões líquidas zero de CO<sub>2</sub> em 2050<sup>1</sup> voltado ao setor de energia, chamado “Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global

<sup>1</sup> Estado no qual as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera são equivalentes às remoções.

Energy Sector”<sup>2</sup>. Este artigo visa analisar tal documento e compará-lo com aqueles do planejamento do setor elétrico do Brasil – o Plano Decenal de Energia 2030 e o Plano Nacional de Energia 2050, sendo este último de caráter mais qualitativo – de modo a verificar coerências e incoerências nos caminhos do desenvolvimento trilhados pelo planejamento do setor elétrico nacional frente ao caminho indicado pela AIE e a complexidade climática global.

## 2. Energia elétrica e a mudança global do clima

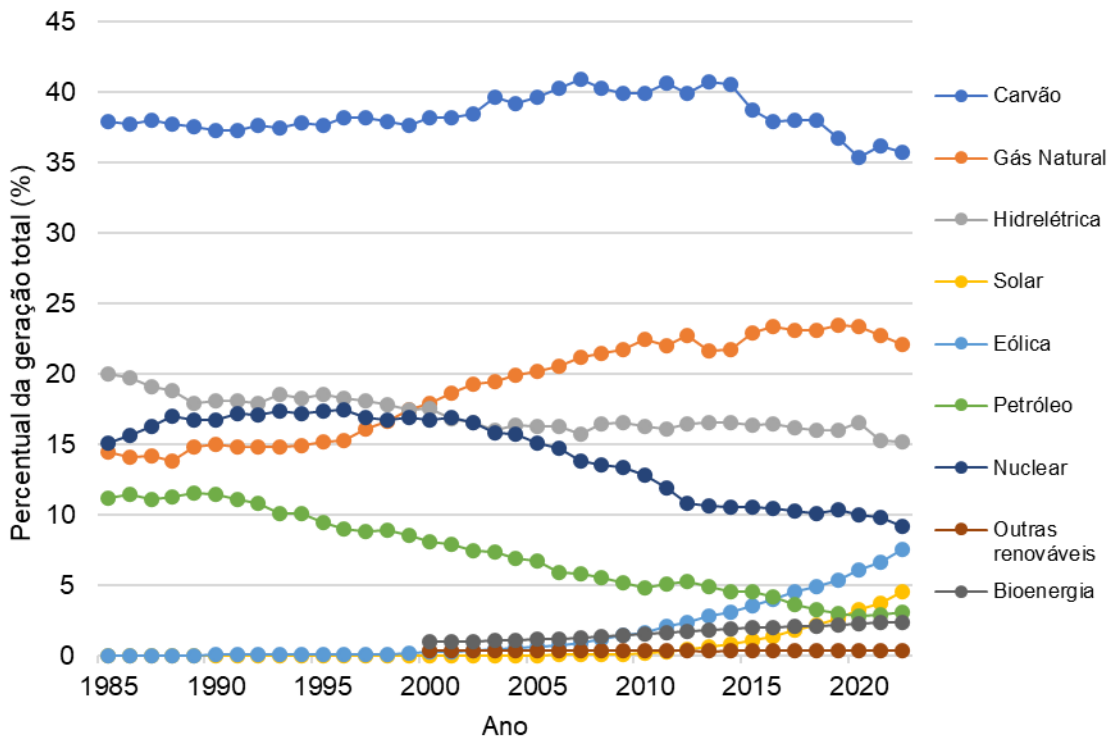
O setor elétrico caracteriza-se por ser o principal setor responsável por emissões de gases de efeito estufa (GEE) no mundo. Segundo a AIE, o setor foi responsável por cerca de 36% das emissões globais de CO<sub>2</sub> em 2020. Dessa forma, é um setor de grande relevância no contexto da mudança global do clima.

A geração de energia elétrica se dá por meio de diversas fontes, como ilustrado na Figura 1, na qual se tem a evolução histórica da geração de eletricidade por fonte.

<sup>2</sup> A Agência Internacional de Energia publicou uma atualização do documento como um capítulo do *World Energy Outlook 2022*, no qual introduz os efeitos da recuperação econômica da pandemia de Covid-19 e da crise energética global oriunda da guerra entre Rússia e Ucrânia. Com a retomada econômica, as emissões de gases de efeito estufa aumentaram em nível recorde em 2021, com aumento na demanda de carvão e novos investimentos em fontes fósseis não previstos no documento original, mesmo com crescimento de fontes renováveis. Mesmo que o cenário tenha se tornado mais desafiador, ainda é considerado atingível e o setor elétrico segue sendo central na descarbonização das atividades econômicas.



Figura 1: Geração global de eletricidade por fonte (1985-2022)



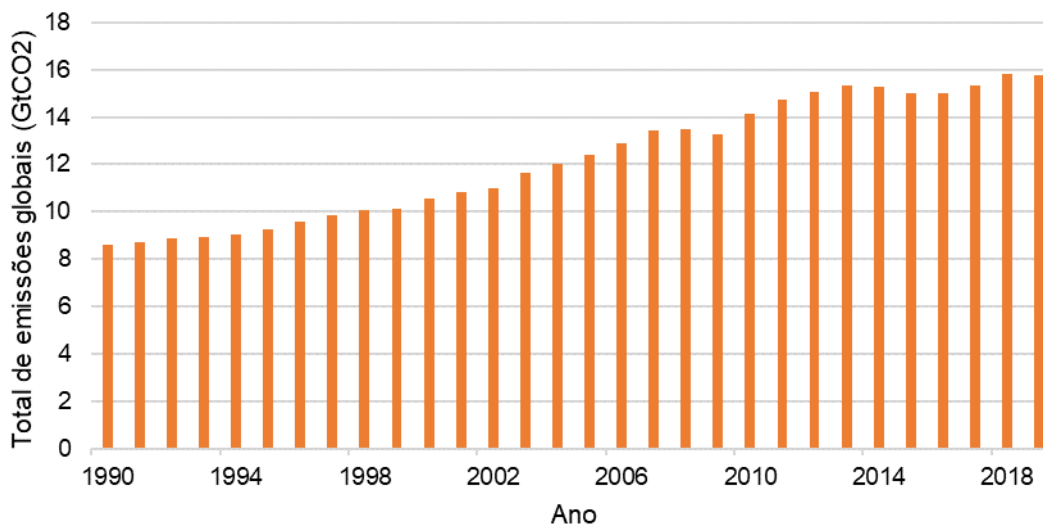
Fonte: *Our World in Data*, 2022.

Destaca-se a significativa e crescente participação de fontes fósseis na geração de eletricidade em todo o mundo, em especial

carvão e gás natural. A Figura 2, por sua vez, ilustra a evolução histórica das emissões de CO<sub>2</sub> oriundas do setor elétrico e da geração de calor.



Figura 2: Emissões globais de CO<sub>2</sub> oriundas da geração de eletricidade e calor (1990-2019)



Fonte: *Our World in Data*, 2020.

O crescimento das emissões globais de CO<sub>2</sub> oriundas de carvão, turfa e óleo de xisto usados para geração de eletricidade e calor atingiu a marca de 103% entre 1990 e 2019, enquanto as emissões oriundas da queima de gás natural cresceram 129% no mesmo período. Isto num período marcado pela adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, na sigla em inglês), em 1992, e por dois grandes acordos climáticos (Kyoto em 1997 e Paris em 2015). A transição energética para um setor de emissões líquidas zero é, portanto, desafiadora e necessária, em especial quando se considera a eletrificação da economia como uma alavanca para uma economia de baixo carbono, desde que baseada em fontes renováveis de geração de energia elétrica. Sendo assim, governos, empresas e organizações não governamentais estão traçando trajetórias para a redução de emissões em seus respectivos escopos de

atuação, muitas vezes em linha com a ambição climática do Acordo de Paris.

### 3. O caminho a seguir: o “roadmap” lançado pela Agência Internacional de Energia (AIE)<sup>3</sup>

Para limitar o aquecimento global em 1,5°C, como recomendado pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e estipulado no Acordo de Paris, é fundamental que a economia atinja emissões líquidas zero até 2050. No âmbito dos esforços para a descarbonização da economia global, a transição energética para uma matriz renovável assume papel central, uma vez que o setor de energia é responsável por cerca de 75% das emissões de GEE no planeta atualmente.

A despeito da estreita margem de ação para caminhos possíveis rumo a emissões

<sup>3</sup> Esta seção se baseia no documento “Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector”.



líquidas zero de CO<sub>2</sub>, a AIE elaborou um caminho focado no setor energético global coerente com o limite de aquecimento global de 1,5°C até 2100, tido pela agência como o mais viável tecnicamente, de melhor custo-benefício e mais socialmente aceito para uma transição justa e inclusiva, com apoio técnico e financeiro de países desenvolvidos aos demais países. Apesar do caminho de caráter global, cada país deve se adequar à sua própria estratégia e características.

Para tal, é necessária a ação conjunta do setor público, privado e sociedade civil, assim como ações internacionais coordenadas entre governos, sendo o setor público o agente central na transição. Os governos devem manter o papel de liderança no planejamento estratégico e na tomada de riscos, sendo o principal investidor, resultando na atração de investimentos privados (*Economics of Energy Innovation and System Transition*, 2022). Em complemento, o setor privado assume o papel de disponibilizar parte dos investimentos previstos e a mudança de comportamento da sociedade tem papel fundamental nas transformações por meio das escolhas de compra e comportamento.

Conforme a AIE (2021), o ano de 2019 marcaria o pico definitivo das emissões globais. Embora em 2020 as emissões globais de CO<sub>2</sub> tenham caído 6,4% em função da pandemia de COVID-19 (Tollefson, 2021), registrou-se no Brasil um aumento de 9,5% neste mesmo ano, principalmente devido ao setor de mudança no uso da terra e florestas (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG, 2021). A retomada nas emissões com a intensificação das atividades

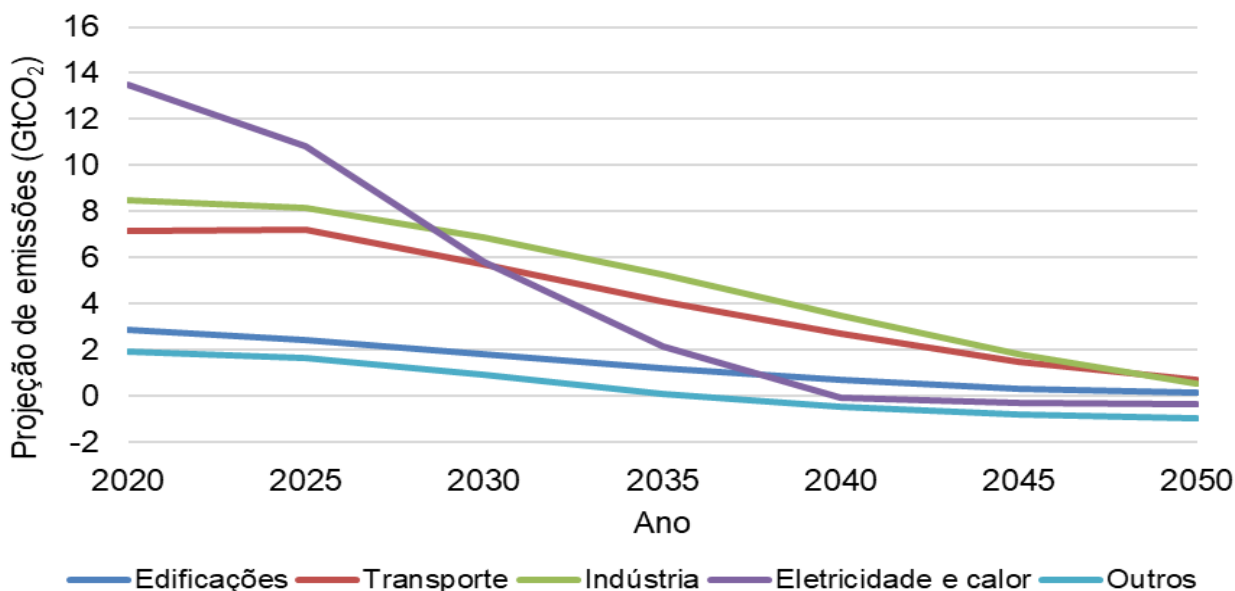
econômicas no pós-pandemia demanda Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) mais ambiciosas por parte de todos os países, em especial os de maiores emissões globais, assim como maior aderência e comprometimento com metas de emissões líquidas zero.

A transição energética deve considerar as disparidades socioeconômicas ao redor do mundo. Segundo a AIE (2021), em 2021 havia 790 milhões de pessoas ainda sem acesso à eletricidade e 2,6 bilhões de pessoas sem tecnologias de cozinha limpa, com uso de combustíveis de alta emissão de poluentes quando queimados, muitas delas na África Subsaariana e na Ásia. Além disso, uma transição justa deve ser abordada, visto que responsabilidades diferentes devem ser consideradas. Segundo o “Our World in Data” (2020), de 1750 a 2020 os Estados Unidos responderam por 25% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, enquanto a China – atualmente o maior emissor mundial – é responsável por 14% das emissões históricas.

No “roadmap” da AIE, os pilares são a eletrificação, eficiência energética, mudança de comportamento social, energias renováveis, hidrogênio, bioenergia e tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS). Dentre as incertezas, destaca-se o necessário ritmo acelerado de inovação e desenvolvimento tecnológico. Como parâmetros às projeções, a população global se aproxima da marca de 7,8 bilhões até 2030 e de 9,8 bilhões até 2050. A Figura 3 ilustra a redução projetada das emissões por setor até 2050.



Figura 3: Projeções das emissões de CO<sub>2</sub> por setor econômico no caminho apontado pelo *roadmap* da Agência Internacional de Energia



Fonte: Agência Internacional de Energia (2021).

O setor elétrico, responsável por cerca de 36% das emissões globais de CO<sub>2</sub> em 2020 (AIE, 2021), é central nesta estratégia, atingindo a marca de cerca de 50% do consumo energético total em 2050. É, também, o setor a enfrentar a mais significativa redução de emissões dentre os setores analisados. A redução de emissões globais fundamenta-se na transição da matriz elétrica para uma matriz renovável e a eletrificação seria fundamental para alcançar emissões líquidas zero em todos os setores econômicos e para a segurança energética global. A representatividade da eletricidade no consumo total de energia global saltaria de 20% em 2020 para 26% e 50% em 2030 e 2050, respectivamente. A energia elétrica seria a principal fonte energética em 2050 em setores como transporte, indústrias e edificações.

Até 2050, a geração de eletricidade aumenta cerca de 2,5 vezes, com aproximadamente 90% da geração elétrica oriunda de fontes renováveis. As fontes solar e eólica sozinhas são responsáveis por 70% da geração total, sendo os demais 30% supridos por demais fontes renováveis, combustíveis fósseis com captura de carbono e energia nuclear. Países emergentes e em desenvolvimento são responsáveis por 75% do crescimento projetado da demanda elétrica em 2050 devido ao crescimento populacional e econômico. A flexibilidade dos sistemas elétricos quadruplica até 2050 devido à presença de fontes intermitentes, como solar e eólica, e a oferta centra-se em fontes como hidrelétricas, hidrogênio, baterias, dentre outras.

A década atual apresenta-se como fundamental para uma expansão expressiva de renováveis, sendo que as tecnologias



necessárias para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> projetada pela AIE até 2030 já estão disponíveis comercialmente. Até 2030, indica-se a necessidade da adição anual de 630 GW de fonte solar e 390 GW de eólica – montante quatro vezes superior ao observado em 2020. Entre 2030 e 2050, a adição anual passa a ser de 600 GW de solar e 340 GW de eólica.

Por meio de suas projeções, o “roadmap” ilustra que a transição do petróleo e gás natural para as fontes renováveis poderia ser conduzida sem o desenvolvimento de novos campos de exploração de tais fontes fósseis além daqueles já projetados em 2021, bem como novas minas de carvão ou expansão das já existentes.

A demanda por petróleo e gás natural em 2050, segundo o “roadmap”, apresenta queda de 75% e 55%, respectivamente, frente ao observado em 2020, enquanto a demanda por carvão sem CCS diminui em 90%. Projeta-se queda de 80% nas receitas de países produtores de petróleo e gás natural em 2050 em comparação com valores de anos recentes. Por outro lado, o conhecimento técnico e a experiência do setor de óleo e gás se adaptam a atividades fundamentais na transição como, por exemplo, produção industrial de hidrogênio, CCS, geração eólica offshore e mineração. Além disso, o caminho apontado pela AIE apresenta potencial de criação de 14 milhões de vagas de emprego até 2030 em decorrência da disseminação de energia renovável, com redução de 5 milhões de postos de trabalho no setor de combustíveis fósseis.

A energia solar assume a posição de principal fonte energética em 2050, com 20% da oferta total. As tecnologias necessárias para as reduções de cerca de 50% das emissões de CO<sub>2</sub> até 2050 não estão

disponíveis comercialmente atualmente. Os setores de transporte e industrial são os que mais enfrentam dificuldades em relação à disponibilidade tecnológica para alternativas de redução de emissões em caminhões pesados, aviação, transporte marítimo e indústria pesada.

Projetam-se expressivos investimentos no setor energético de US\$ 5 trilhões em 2030 e US\$ 4,5 trilhões em 2050, em comparação com a média recente dos últimos 5 anos, de US\$ 2 trilhões, destinados tanto para geração renovável quanto para tecnologias como captura de carbono associada aos combustíveis fósseis. A fim de suportar o aumento na geração elétrica, os investimentos anuais em redes de transmissão e distribuição devem aumentar em cerca de 215% (dos atuais US\$ 260 bilhões para cerca de US\$ 820 bilhões) até 2030, mantendo-se no mesmo patamar até 2050, enquanto o aumento de pontos de recarga de veículos elétricos vai de atuais 1 milhão para 40 milhões no mesmo período, com investimento anual de cerca de US\$ 90 bilhões.

A dimensão das mudanças no sistema econômico e produtivo global necessária para a transição energética é ilustrada juntamente com a complexidade do caminho proposto e a relevância do setor financeiro para a disponibilização dos montantes de recursos necessários. Ao considerar as diferentes realidades socioeconômicas dos países no mundo, bem como fatores geopolíticos como a Guerra da Ucrânia, iniciada no início de 2022, que alteram a dinâmica do cenário energético global, entende-se que o caminho proposto pela AIE é desafiador (Tollefson, 2022). Ainda assim, pode ser considerado uma referência teórica de um caminho possível, apesar de improvável.



#### 4. Setor elétrico brasileiro e a mudança global do clima

O setor elétrico brasileiro caracteriza-se pela grande extensão no território nacional, presente em regiões com diferentes condições climáticas e em bacias com comportamentos hidrológicos e sazonalidades diversas. Por conta disso, o sistema divide-se em quatro grandes regiões chamadas de subsistemas: Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Norte e Nordeste. Os subsistemas são conectados pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), uma grande rede de transmissão que possibilita a transferência de excedentes de energia entre eles, otimizando seu funcionamento e o armazenamento em reservatórios hidrelétricos.

No Brasil, 65,2% da oferta interna de energia elétrica em 2020 foi oriunda de fontes hídricas (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2021). Dessa forma, variações nas precipitações podem causar impactos significativos no fornecimento de energia elétrica, impactando diretamente a economia do país (Silveira et al, 2019). As precipitações nas bacias de interesse para o setor elétrico nacional apresentam variação temporal e espacial, conferindo às regiões vulnerabilidade a estresses hídricos, que, por sua vez, resultam em impactos socioeconômicos. Uma vez que as características climáticas das regiões diferem entre si, os impactos esperados no país não serão uniformes (Liu et al, 2016; Li et al, 2020).

Apesar das incertezas dos modelos climáticos devido ao conhecimento limitado a respeito do sistema climático e imprevisibilidade futura, é necessária a inclusão de estratégias de adaptação à mudança global do clima nas políticas públicas e no planejamento energético do

Brasil, uma vez que eventos de secas severas devem se tornar cada vez mais comuns e com maior duração em determinadas regiões em decorrência da mudança global do clima (Soito & Freitas, 2011; Mukheibir, 2013; Almeida Prado et al, 2016; Lucena et al, 2018), resultando em menor disponibilidade hídrica para geração de energia e, conseqüentemente, no acionamento de térmicas – mais caras e poluentes (Almeida Prado et al, 2016; de Queiroz et al, 2019; Silveira et al, 2019).

No período úmido entre 2012 e 2017, as precipitações totais observadas ficaram abaixo da média histórica, o que resultou em níveis reduzidos dos reservatórios hidrelétricos devido ao atendimento dos diversos usos. Após recuperação parcial dos volumes em 2018, o nível dos reservatórios encontrava-se novamente reduzido ao fim de 2019, ano que registrou o menor volume útil do SIN dentre os cinco anos anteriores (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2020). Já em 2021, o Sistema Nacional de Meteorologia (SNM) emitiu, pela primeira vez, um Alerta de Emergência Hídrica devido à baixa expectativa de chuvas entre maio e setembro de 2021 em cinco estados da bacia hidrográfica do Paraná: Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás –, principal bacia para o setor elétrico (SNM, 2021).

A inclusão da análise de riscos climáticos em projetos de hidrelétricas e no planejamento do setor elétrico é de suma importância, em especial no Brasil, país no qual grande parte do potencial hidrelétrico remanescente encontra-se na região Amazônica, que vem sendo explorado na forma de usinas a fio d'água<sup>4</sup> - mais impactadas pela redução nas precipitações e passíveis de contribuir com o

<sup>4</sup> Usinas hidrelétricas com baixo ou nenhum armazenamento de água.





aumento das emissões de GEE de maneira indireta, visto que a complementação da geração em períodos secos dá-se com usinas térmicas (Almeida Prado et al, 2016; Lucena et al, 2018; de Queiroz et al, 2019;).

No Brasil, o setor elétrico apresenta maior presença de fontes renováveis quando comparado com o mundo, com destaque para a geração hidrelétrica. Segundo a Agência Internacional de Energia, a geração de eletricidade e calor no Brasil emitiu, em 2019, cerca de 65,3 MtCO<sub>2</sub>. Segundo o SEEG, as emissões totais de CO<sub>2</sub> do país em 2019 foram de cerca de 2.137 MtCO<sub>2</sub>. Consequentemente, o setor elétrico brasileiro foi responsável por cerca de 3% das emissões de CO<sub>2</sub> no país em 2019, valor inferior à média global, de 40% no mesmo ano.

Ainda assim, o país enfrenta o duplo desafio de encontrar uma trajetória rumo às emissões líquidas zero e, além disso, avaliar a vulnerabilidade do setor elétrico brasileiro frente à mudança global do clima, tendo em vista a grande dependência do setor de fontes hídricas.

## **5. O que dizem o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2030 e o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050?**

O PDE é um documento indicativo do planejamento governamental da expansão do setor de energia no Brasil em um horizonte de 10 anos, enquanto o PNE é um documento de referência ao planejamento de longo prazo da expansão do setor, com diretrizes e tendências para elaboração de políticas energéticas no país.

O PDE 2030 abrange o horizonte entre 2021 e 2030 e permite a análise da perspectiva da matriz elétrica nacional em 2030. Com isso, pode-se avaliar o quão ambicioso em termos

de mudança global do clima está o planejamento da expansão do setor e avaliar se a participação e gestão das hidrelétricas na matriz está coerente com as projeções da precipitação.

Além disso, o PNE 2050 traz as diretrizes a serem seguidas na expansão do setor de energia até 2050, permitindo analisar se as tendências apresentadas para o setor elétrico com foco no planejamento estratégico das hidrelétricas estão coerentes com os cenários de mudança global do clima.

### **5.1 PDE 2030<sup>5</sup>**

A principal fonte geradora de eletricidade na matriz brasileira é a hidrelétrica. Em um cenário de expansão que demanda flexibilidade, tal fonte reitera o protagonismo na operação do sistema. Embora explicitada a necessidade da consideração de questões socioambientais na implementação de novos projetos hidrelétricos – e a despeito da simulação de diversos cenários hidrológicos –, pouco se discute sobre os impactos da mudança global do clima em variáveis essenciais para a geração hidrelétrica, como variação nas precipitações, o que pode resultar em maior acionamento de usinas termelétricas em cenários de menor disponibilidade hídrica e, consequentemente, maiores emissões de CO<sub>2</sub>. Considera-se, também, ampliação e modernização de hidrelétricas existentes. A resposta da demanda é vista como uma forma de suprimento de potência na matriz.

Com a produção de óleo e gás nas reservas do pré-sal e as descobertas de bacias no pós-sal, o gás natural é tido como o principal combustível fóssil na expansão do parque gerador. A queima do gás para geração de

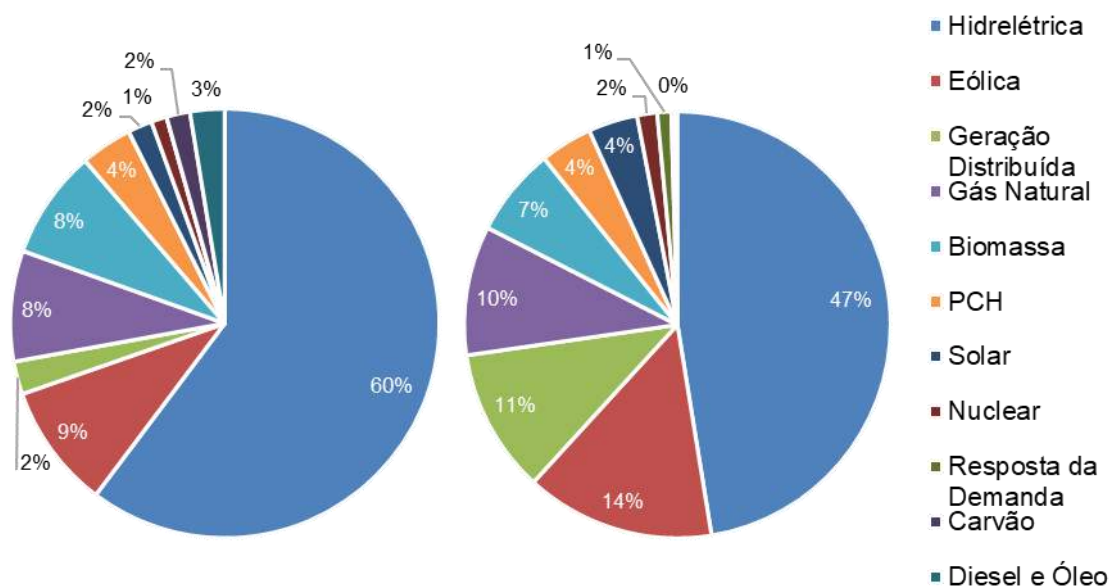
<sup>5</sup> Esta seção se baseia no documento “Plano Decenal de Expansão de Energia – 2030”.



eletricidade em usinas sem geração compulsória - usinas flexíveis - é apontada como peça-chave na segurança da operação do sistema elétrico brasileiro. Dessa forma, a geração de eletricidade no horizonte decenal contribui para a expansão do setor de óleo e gás no Brasil. Outra fonte considerada na expansão da geração é a nuclear, com a entrada da usina de Angra 3 em operação comercial.

A expansão total indicada para o cenário de referência é de aproximadamente 37 GW, distribuídos entre 2026 e 2030, com incremento médio de 7,5 GW ao ano. A comparação entre a matriz elétrica brasileira em 2020 e a projeção para 2030 do cenário de referência do PDE encontra-se na Figura 4.

Figura 4: Representatividade da capacidade instalada por fonte na matriz elétrica brasileira em 2020 (esquerda) e em 2030 (direita)



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2021).

Na matriz projetada, as hidrelétricas seguem como a principal fonte, apesar de menor representatividade, com possibilidades de mudanças na gestão das hidrelétricas no sistema frente ao contexto climático, o que não foi apontado como critério estratégico na projeção da expansão no PDE 2030.

A crescente participação de renováveis na matriz é notória, especialmente pela expressividade da fonte eólica e geração distribuída (GD), sendo aquela energia gerada próxima ao ponto de consumo. A fonte solar centralizada apresenta um crescimento expressivo de 171% de capacidade instalada no cenário de referência em 2030, embora a



representatividade na matriz permaneça baixa, em 4%, deixando muito espaço para o crescimento de tal fonte. Nota-se, também, a redução na participação relativa dos combustíveis fósseis carvão, diesel e óleo para níveis inferiores a 1% cada na matriz na projeção para 2030.

Por outro lado, destaca-se o aumento da participação de usinas a gás natural, que atinge 10% da matriz em 2030 e fortalece a associação do setor elétrico ao setor de óleo e gás, o que certamente aumenta as emissões de GEE do setor durante sua operação, na contramão dos caminhos de descarbonização da economia global.

As emissões projetadas para o cenário de referência do setor elétrico são de 24,4 milhões de tCO<sub>2</sub> para 2030, frente a 46,2 milhões em 2020 (SEEG, 2021), o que representaria uma queda de 47%. Tal projeção é considerada otimista, uma vez que é prevista a inserção de 8 GW de termelétricas inflexíveis a gás natural na matriz até 2030 em decorrência da privatização da Eletrobras, que representarão, sozinhas, um incremento de 17,5 MtCO<sub>2</sub> (Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA, 2021).

Além disso, por mais que o crescimento da participação de gás natural seja centrado na contribuição de potência ao sistema por meio de usinas flexíveis, e não de contribuição de energia, as usinas térmicas têm sido frequentemente acionadas para suprir a demanda em cenários cada vez mais comuns de secas, nos quais a geração hidrelétrica diminui devido ao baixo nível dos reservatórios, em decorrência da estratégia hidrotérmica de operação do sistema. Sendo assim, as emissões do setor podem aumentar consideravelmente caso os períodos de secas se tornem mais comuns e duradouros, o que é esperado em

decorrência da mudança global do clima (Cunha et al, 2019).

Atualmente, 62% do petróleo e 60% do gás natural produzidos no Brasil são oriundos das reservas do pré-sal. Espera-se que a produção de petróleo em 2030 atinja a marca de 5,3 milhões de barris diários, praticamente o dobro da registrada em 2019. Projeta-se que em 2030 a demanda termelétrica seja a principal consumidora de gás natural no Brasil, atingindo 79 milhões de m<sup>3</sup>/dia, equivalente a mais de 50% do consumo diário (147 milhões de m<sup>3</sup>/dia). A evolução da produção líquida de gás natural saltará de 73 milhões de m<sup>3</sup>/dia em 2021 para 140 milhões m<sup>3</sup>/dia em 2030.

## 5.2 PNE 2050<sup>6</sup>

Ao considerar que o Brasil enfrenta o desafio da administração da abundância de recursos energéticos e seu potencial econômico, o governo tem papel central no delineamento dos caminhos a serem traçados para o desenvolvimento nacional no âmbito da complexidade da mudança global do clima.

A fronteira de expansão do potencial hidrelétrico encontra-se na Amazônia, região de grande sociobiodiversidade. O PNE avaliou que 77% do potencial hidrelétrico inventariado acima de 30 GW ainda não explorado sobrepõem-se com alguma área de proteção, seja em Unidades de Conservação, Terras Indígenas ou Territórios Quilombolas.

O cerne da expansão da geração hidrelétrica na Amazônia traz consigo preocupações devido aos possíveis danos socioambientais na região, como a emissão de GEE decorrentes do alagamento de áreas de

<sup>6</sup> Esta seção se baseia no documento “Plano Nacional de Energia – 2050”.



floresta, a perda de áreas de conservação, interferência no habitat aquático e queda na biodiversidade e consequente perda de serviços ecossistêmicos e impactos socioculturais diversos (Soito & Freitas, 2011; Almeida Prado et al, 2016).

O advento dos impactos da mudança global do clima no ciclo hidrológico representa um risco adicional à geração hidrelétrica, evidenciando a urgência da consideração da mudança climática no planejamento do setor, dado que grande parte do potencial hidrelétrico deixa de ser economicamente viável nos cenários climáticos usados como referência, resultando em maior utilização de renováveis não hídricas. Isto demandaria, por sua vez, complementação de potência – oferta incremental para suprimento em momentos de máxima demanda –, além de termelétricas a combustíveis fósseis associadas a tecnologias de CCS. Em um cenário no qual todo o potencial já inventariado no PNE – de 52 GW – seja disponibilizado, mesmo aqueles com interferência em áreas de proteção, parte não seria utilizada devido aos custos inferiores de fontes alternativas.

A alteração da operação das hidrelétricas é abordada como possível fonte de oferta de flexibilidade ao sistema em um cenário de expansão das fontes solar e eólica. Em momentos de baixa geração destas, as hidrelétricas podem suprir a demanda com a água armazenada nos reservatórios, como baterias do sistema elétrico. Com isso, os reservatórios permanecem com níveis mais altos por um período maior e proporcionam flexibilidade e melhor gestão do sistema. Tal modo de operação demanda um novo desenho de mercado a fim de remunerar os serviços de fornecimento de flexibilidade e capacidade.

A fronteira do desenvolvimento da energia eólica situa-se no grande potencial offshore do país. Nota-se coerência ao apontar a geração eólica como uma fonte de significativa expansão na matriz até 2050, com capacidade instalada entre 110 GW e 195 GW no cenário “Desafio da Expansão”, o que representaria de 22% a 33% da capacidade instalada na matriz. Em casos de expansão 100% renovável ou de frota de veículos 100% elétricos, a fonte eólica pode ultrapassar a marca de 200 GW.

A energia solar, fonte de maior crescimento no mundo, é abundante no Brasil, possibilitando o aproveitamento do recurso em diversas localidades e escalas. Com exceção de áreas de vegetação nativa, estima-se que a capacidade disponível de energia solar nas melhores áreas é de 307 GWp. A capacidade instalada de geração solar centralizada pode atingir entre 27 e 90 GW, o que representaria participação de 5% a 16% da matriz elétrica. Em cenários de restrições à expansão hidrelétrica, espera-se que a energia solar substitua a expansão de tal fonte. A energia solar é a fonte majoritária na GD, responsável por cerca de 85% da capacidade instalada em 2050, do total de até cerca de 50 GW.

As simulações mostram maior demanda de geração a biomassa em cenários de maior presença de fonte hidrelétrica, dada a característica da complementaridade sazonal. Além do indicativo de possibilidade de maior uso de biomassa na geração elétrica, indica-se também a necessidade de estímulo de pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis para descarbonização de segmentos do setor de transporte de difícil eletrificação, como navegação e aviação, em alinhamento com a AIE.

Em relação às tecnologias de armazenamento, como as baterias, aponta-



se a possibilidade do uso associado a fontes geradoras não controláveis, em especial em locais isolados não conectados ao SIN. Além disso, para uso de forma centralizada de maior escala, ressalta-se a necessidade de investimento em pesquisa e desenvolvimento em tecnologias de armazenamento. As tecnologias disruptivas, dependentes de investimento em pesquisa e desenvolvimento e apontadas como as mais promissoras são o hidrogênio, etanol lignocelulósico, biorrefinarias, energia dos oceanos, geotermia, dentre outras.

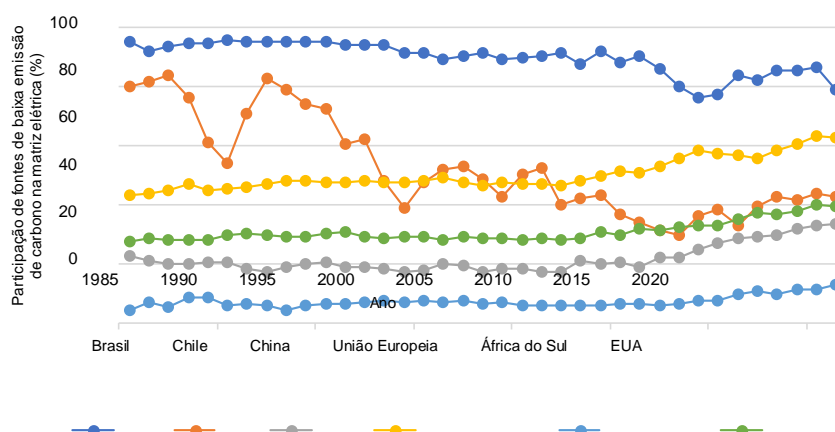
Na contramão do caminho apontado pela AIE, o PNE indica a projeção do Brasil de grande produtor de petróleo e gás natural, com expectativa de atração de investimentos à indústria petrolífera nos próximos 10 anos de cerca de R\$ 2,5 trilhões. Entre 2015 e 2050, projeta-se um aumento de produção de petróleo de cerca de 2,5 vezes. Em 2030, projeta-se a produção de 5,5 milhões de barris diários, que deve manter-se em tal patamar até 2050, além de oferta potencial entre 340 e 450 milhões de m<sup>3</sup> de gás natural em 2050. O documento considera como uma

oportunidade a exploração de óleo e gás para além das 200 milhas náuticas e aposta no crescimento da demanda por derivados de petróleo, como o diesel, em decorrência do crescimento populacional no Brasil, elevação do padrão de consumo e maior exportação de commodities. Já o gás natural é apontado como fundamental para o setor elétrico com presença crescente de fontes não-controláveis, associando a expansão do setor elétrico com a do setor de óleo e gás.

## 6. O planejamento energético nacional e a mudança global do clima: reflexões e críticas

O “roadmap” da AIE está centrado na transformação do setor energético em um setor com emissões líquidas zero, sendo que o setor elétrico é o primeiro a atingir tal marca. Tal preocupação é legítima no Brasil e não exigirá transformações profundas e estruturais na organização econômica se comparado a outros países com matrizes elétricas mais fósseis, como ilustra a Figura 7.

Figura 7: Participação de fontes de baixa emissão de carbono na matriz elétrica por país entre 1985 e 2021





Fonte: *Our World in Data*, 2022.

A análise do planejamento energético dos países África do Sul, Chile, China e Estados Unidos da América (EUA), bem como o da União Europeia, locais de distintas realidades sociais, ambientais e econômicas, possibilita a comparação entre os distintos níveis de consideração dos riscos oriundos da mudança global do clima em cada país. Para Escada (2022), com exceção dos EUA, cujo planejamento energético mostrou-se centrado no aspecto econômico, todos os países consideram, em distintos níveis, a mudança global do clima como um fator a ser considerado quando se versa sobre energia.

Ainda segundo Escada (2022), a inserção da mudança global do clima como estrutural na elaboração de estratégias econômicas e energéticas, não é, até então, um movimento homogêneo, conferindo a possibilidade de pioneirismo para aqueles mais ambiciosos no contexto climático. Deve-se considerar a estrutura da matriz energética atual, os recursos naturais, econômicos e políticos mobilizados, bem como peculiaridades histórico-institucionais e o aprendizado tecnológico ocorrido, visto que diferentes opções de matrizes têm forte natureza “path-dependence” e “locked-in”.

O planejamento elétrico nacional considera apenas o risco oriundo da variabilidade das vazões, chamado de risco climático, sem considerar o risco da mudança global do clima, resultante do rompimento da estacionariedade das vazões, cenário no qual o perfil histórico das vazões não é mais observado no futuro. A estacionariedade das vazões assume que as vazões no horizonte de planejamento apresentam distribuição de probabilidades igual às das vazões históricas (Banco Mundial, 2017).

A análise dos documentos PDE 2030 e PNE 2050 evidencia a limitação da expansão da fonte hidrelétrica, dado os riscos socioambientais de tais projetos na Amazônia (Fearnside, 2016; Lees et al, 2016). Além disso, o impacto da mudança global do clima no ciclo hidrológico afeta a viabilidade de tais projetos. Em paralelo, as fontes solar e eólica mostram-se cada vez mais competitivas e com grande disponibilidade. A expansão de tais fontes, central à transição energética e em alinhamento ao caminho da AIE, demanda complementação de potência, uma vez que se trata de fontes intermitentes e não controláveis.

É interessante notar a presença de mais de um cenário no qual a expansão da matriz elétrica é 100% renovável no PNE, evidenciando a viabilidade técnica e disponibilidade de recursos energéticos para que a mudança global do clima seja um critério central no desenho do desenvolvimento do setor.

Não obstante, no documento é perceptível que o uso de termelétricas a gás natural é tido como essencial à complementação de potência, quando, na verdade, se trata de uma opção estratégica. A necessidade da demanda e do fluxo de receita previsível e estável do gás natural associado ao petróleo é motivo para a desejada relação entre tais setores, reforçando o papel do setor elétrico de fortalecimento e impulsionamento do setor de óleo e gás. Dessa forma, por este caminho, **a transição energética no Brasil mostra-se como uma transição para uma matriz mais fóssil e poluente, incoerente com o caminho apontado pela AIE.** Tal incoerência dá-se num momento crítico ao futuro do setor, visto que a presente década é decisiva em termos de descarbonização da



economia e combate à mudança global do clima.

Por mais que assuntos relevantes como a descarbonização, descentralização da geração e impacto da mudança global do clima na geração hidrelétrica sejam pautados nos estudos, bem como a abordagem constante da crescente relevância e conscientização acerca do tema da mudança climática, ressalta-se a insuficiência da ambição climática no planejamento energético nacional ao persistirem os modelos hegemônicos.

A fim de adaptar-se ao cenário de secas mais frequentes em decorrência da mudança global do clima, deve-se incluí-las no planejamento do setor - como a consideração de cenários hidrológicos divergentes da média histórica, por exemplo -, diversificar a matriz com fontes renováveis e adequar a política operativa e regulatória do setor de modo que a complementação de potência possa ser feita com renováveis, como as usinas hidrelétricas (Acende Brasil, 2021; IEMA, 2021).

Dessa forma, é necessária uma mudança estratégica de longo prazo no planejamento do setor elétrico nacional. Tal mudança não acontecerá de forma repentina, dada a magnitude do setor, bem como a vida útil da infraestrutura ativa. Combustíveis fósseis como o gás natural são relevantes para o fornecimento de potência e flexibilidade ao sistema, mas precisa ser questionado em comparação com fontes renováveis de geração. O Brasil é um país com abundância em recursos energéticos renováveis, que devem ser considerados no debate do planejamento setorial e fomentar políticas públicas que alcem o país à posição de pioneirismo na agenda da transição energética global.

A gravidade dos impactos da mudança global do clima em distintos cenários futuros, divulgados no relatório do Grupo de Trabalho 1 do Sixth Assessment Report (AR6) do IPCC, como a maior variabilidade de precipitações e vazões superficiais, torna essencial que diferentes cenários futuros sejam considerados no planejamento de um setor com grande dependência da hidrologia, como no setor elétrico brasileiro (IPCC, 2021).

Tais fatos reforçam a necessidade de o planejamento energético, em especial em um país com grande dependência do setor de recursos hídricos como o Brasil, considerar critérios de riscos climáticos como centrais e adotar projeções de escassez hídrica, não baseando-se apenas em dados históricos. É conveniente citar o registro da perda de cerca de 3,1 milhões de hectares de superfície de água no Brasil entre 1991 e 2020, correspondendo a uma redução de 15,7% da superfície de água nacional em tal período (MapBiomass, 2021).

A associação dos setores elétrico e de óleo e gás avança com a aprovação da Medida Provisória 1.031/2021, que deu origem à Lei 14.182/2021, ao propor o incremento no SIN de 8 GW de termelétricas inflexíveis a gás natural na matriz brasileira entre 2026 e 2030, em detrimento de fontes renováveis e mais competitivas. Espera-se, em 2030, o incremento de 17,5 MtCO<sub>2</sub> em um cenário com fator de capacidade de 70%, o mínimo previsto pela lei, além da construção de gasodutos no Nordeste (IEMA, 2021).

Sendo assim, a retórica da descarbonização da matriz elétrica brasileira afasta-se da prática, já que se torna mais poluente. A escolha do gás natural – usado globalmente para substituição de óleo combustível, diesel e carvão como combustível de transição para uma matriz menos emissora – não é coerente no contexto brasileiro, dado que a



expansão das térmicas a gás é concorrente por recursos e demanda elétrica de fontes renováveis, resultando em maiores tarifas ao consumidor (IEMA, 2021).

## 7. Considerações Finais

Um ponto central na transição energética é o tempo hábil para as mudanças necessárias acontecerem. Dado o atual nível de urgência, é notório que a velocidade de tais mudanças está aquém do necessário. Em um contexto de necessidade de rápidas mudanças estruturais na operação do sistema econômico e produtivo devido à mudança global do clima, esta última deve ser colocada como elemento central ao planejamento do setor energético e elétrico no Brasil e no mundo. Entretanto, uma análise mais cuidadosa dos documentos oficiais revela uma consideração ainda inadequada na realidade brasileira. Mudanças como a alteração da gestão dos reservatórios de hidrelétricas podem se colocar como um elemento viabilizador da expansão de fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, o que possibilitaria, também, melhor gestão dos recursos hídricos para seus múltiplos usos.

O Brasil, país de território continental, tem papel relevante no cenário global como país de grande presença de fontes renováveis nas matrizes energética e elétrica. As escolhas estratégicas dos caminhos do desenvolvimento energético de um país têm reflexos no longo prazo, remetendo à necessidade de mudanças estruturais e ambiciosas atualmente, de modo que, no futuro, no qual a realidade climática é ainda desconhecida, mas sabidamente sensível e crítica, as decisões tomadas no presente solidifiquem a construção de uma sociedade coerente com o contexto climático global. Dessa forma, o planejamento e a gestão da expansão dos setores de energia e energia

elétrica assumem um papel estratégico central rumo aos compromissos climáticos assumidos e à descarbonização da economia.

Devido às tendências de menores precipitações em comparação com as médias históricas no Brasil, reforça-se a necessidade de mudanças estruturais no sistema elétrico brasileiro, altamente dependente das usinas hidrelétricas. O atual modelo de gestão das hidrelétricas deve ser adaptado à nova realidade climática, assim como a expansão das fontes de geração de eletricidade.

Em outras palavras, a mudança global do clima deve ser um fator central no planejamento do setor elétrico no Brasil, que apresenta coerências quanto à expansão das fontes renováveis no planejamento, mas incongruências com relação à expansão de fontes fósseis, tanto na retórica quanto na prática, em especial comparado com o desafiador caminho apontado pela AIE e com o observado no planejamento energético dos países selecionados, nas quais o planejamento energético é, em alguns casos, um desdobramento do planejamento climático.

Em alguns países como África do Sul, Chile, China, Estados Unidos e União Europeia, o setor energético é a principal fonte de emissões de GEE, justificando a centralidade do planejamento do setor nas políticas climáticas. No Brasil, o perfil das emissões é distinto, com maior relevância ao setor de mudança no uso do solo e florestas, em decorrência do desmatamento, sendo o setor energético responsável por cerca de 18% das emissões em 2020, segundo o SEEG. Contudo, tais emissões tornar-se-ão cada vez mais relevantes para o país num cenário – pouco provável, é verdade – de fim do desmatamento ilegal, previsto para 2028 em





uma antecipação da meta anunciada na COP26. O setor elétrico brasileiro parecer estar, portanto, na contramão do movimento de transição energética global, com caminhos cada vez mais poluentes.

Ressalta-se a relevância do gás natural na matriz elétrica brasileira, o que deve ser objeto de debate. Todavia, não se deve confundir soluções de crise do atual sistema hidrotérmico brasileiro em época de crise hídrica com soluções estruturais do sistema. Sendo assim, defende-se a inclusão dos riscos oriundos da mudança global do clima como estruturais nos setores energético e elétrico brasileiro, que caminha na contramão da urgência da mudança global do clima em aspectos teóricos e, principalmente, práticos. Historicamente renovável, o setor elétrico

nacional direciona-se para um setor cada vez mais poluente.

Por fim, ao seguir na contramão dos caminhos da ambição climática apontados pela AIE e de um planejamento do setor elétrico com mudanças estruturais e centrado na mudança global do clima, como adotado por países como o Chile, o Brasil caminha para uma perda de protagonismo, com aumento da desconfiança e descrédito no país no contexto da transição energética para matrizes renováveis no mundo. Tendo em vista os desafios do setor elétrico no Brasil em atingir emissões líquidas zero e da vulnerabilidade dos impactos da mudança global do clima, o país não endereça nenhuma delas com a necessária ambição e urgência.

## 8. Referências

- Almeida Prado, F., Athayde, S., Mossa, J., Bohlman, S., Leite, F., Oliver-Smith, A. (2016). How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth, and climate change related to hydropower expansion in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1132–1136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.050>
- ANA. (2020). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual. ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. <https://www.gov.br/ana>
- Banco Mundial. (2017). Cenário de baixa hidrologia para o setor elétrico brasileiro (2016 – 2030): impacto do clima nas emissões de gases de efeito estufa. <http://adaptaclima.mma.gov.br/conteudos/195>
- CSET. (2021). Outline of the People's Republic of China 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development and Long-Range Objectives for 2035. CSET

- Center for Security and Emerging Technology. <https://cset.georgetown.edu/publication/china-14th-five-year-plan/>
- Cunha, A.P.M.A., Zeri, M., Leal, K.D., Costa, L., Cuartas, L.A., Marengo, J.A., Tomasella, J., Vieira, R.M., Barbosa, A.A., Cunningham, C., Cal Garcia, J.V., Broedel, E., Alvalá, R., Ribeiro-Neto, G. (2019). Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, 10. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>
- de Queiroz, A.R., Faria, V.A.D., Lima, L.M.M., Lima, J.W.M. (2019). Hydropower revenues under the threat of climate change in Brazil. *Renewable Energy*, 133, 873–882. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.050>
- EEIST. (2022). Ten principles for policymaking in the energy transition: lessons from experience. EEIST – Economics of Energy Innovation and System Transition.



<https://eeist.co.uk/eeist-reports/ten-principles-for-policy-making-in-the-energy-transition/>

EIA. (2021). Annual Energy Outlook 2021 with projections to 2050. EIA – U. S. Energy Information Administration.  
<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>

EPE. (2021). Balanço Energético Nacional (BEN) Relatório Síntese – 2021. EPE - Empresa de Pesquisa Energética.  
<http://www.epe.gov.br>

EPE. (2021). Plano Decenal de Expansão de Energia – 2030. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. <http://www.epe.gov.br>

EPE. (2020). Plano Nacional de Energia – 2050. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. <http://www.epe.gov.br>

Escada, A. B. (2022). Os (des)caminhos do setor elétrico brasileiro no âmbito da mudança global do clima. Nazaré Paulista, Brasil: Instituto de Pesquisas Ecológicas.

European Commission. (2021). Renewable Energy Directive (RED II).  
[https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en#revision-of-the-directive](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en#revision-of-the-directive)

Fearnside, P. M. (2016). Greenhouse gas emissions from Brazil's Amazonian hydroelectric dams. *Environmental Research Letter*, 11, 1–3.  
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/1/011002>

IEMA. (2021). Termelétricas a gás natural na MP 1.031/2021. IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente.  
[http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/06/20210609\\_notatecnica\\_eletrobras.pdf](http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/06/20210609_notatecnica_eletrobras.pdf)

IEA. (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. IEA – International Energy Agency.  
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IEA. (2022). World Energy Outlook 2022. IEA – International Energy Agency.  
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

Instituto Acende Brasil. (2021). O Plano Nacional de Energia 2050, cenários e sinais de longo prazo.  
[https://acendebrasil.com.br/wp-content/uploads/2021/03/WP25\\_FINAL-WEB.pdf](https://acendebrasil.com.br/wp-content/uploads/2021/03/WP25_FINAL-WEB.pdf)

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.  
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>

Lees, A.C., Peres, C.A., Fearnside, P.M., Schneider, M., Zuanon, J.A.S. (2016). Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 25, 451-466. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1072-3>

Li, J., Wang, Z., Wu, X., Ming, B., Chen, L., Chen, X. (2020). Evident response of future hydropower generation to climate change. *Journal of Hydrology*, 590, 125385.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125385>

Liu, X., Tang, Q., Voisin, N., Cui, H. (2016). Projected impacts of climate change on hydropower potential in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 3343–3359.  
<https://doi.org/10.5194/hess-20-3343-2016>

Lucena, A.F.P., Hejazi, M., Vasquez-Arroyo, E., Turner, S., Köberle, A.C., Daenzer, K., Rochedo, P.R.R., Kober, T., Cai, Y., Beach, R.H., Gernaat, D., van Vuuren, D.P., van der Zwaan, B. (2018). Interactions between climate change mitigation and adaptation: The case of hydropower in Brazil. *Energy*, 164, 1161–1177.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.005>

Ministerio de Energía. (2021). Transición Energética de Chile – Política Energética Nacional: Actualización 2021. Ministerio de



Energía – Gobierno de Chile.  
<https://energia.gob.cl/energia2050>

Mukheibir, P. (2013). Potential consequences of projected climate change impacts on hydroelectricity generation. *Climatic Change*, 121, 67–78. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0890-5>

Projeto MapBiomias. (2021). Mapeamento da superfície de água no Brasil (Coleção 1). [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias\\_A%CC%81gua\\_Agosto\\_2021\\_22082021\\_OK\\_v2.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_A%CC%81gua_Agosto_2021_22082021_OK_v2.pdf)

Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2020). Energy. *Our World In Data*. <https://ourworldindata.org/energy>

Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *Our World In Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *Our World In Data*. <https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-by-sector>

SEEG. (2021). Emissões Totais. SEEG Brasil – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. <http://seeg.eco.br>

Silveira, C.D.S., Vasconcelos Junior, F.D.C., Souza Filho, F.D.A. de, Guimarães, S.O., Marcos Junior, A.D., dos Reis, G.N.L., Porto, V.C. (2019). Performance evaluation of AR5-CMIP5 models for the representation of seasonal and multi-annual variability of precipitation in Brazilian hydropower sector basins under RCP8.5 scenario. *Hydrological Sciences Journal*, 64, 1279–1296. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1612521>

SNM. (2021). Nota Conjunta - Alerta de Emergência Hídrica. SNM – Sistema Nacional de Meteorologia.

[http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/NOTA\\_Emergencia\\_Hidrica\\_v05.pdf](http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/NOTA_Emergencia_Hidrica_v05.pdf)

Soito, J.L.D.S., Freitas, M.A.V. (2011). Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3165–3177. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.006>

República da África do Sul. (2020). South Africa's Low-Emission Development Strategy 2050. <https://unfccc.int/documents/253724>

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *Stockholm Resilience Centre*, 81–98.

Syvitski, J., Waters, C.N., Day, J., Milliman, J.D., Summerhayes, C., Steffen, W., Zalasiewicz, J., Cearreta, A., Gałuszka, A., Hajdas, I., Head, M.J., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Poirier, C., Rose, N.L., Shotyk, W., Wagemann, M., Williams, M. (2020). Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch. *Communications Earth & Environment*, 1, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00029-y>

Tollefson, J. (2021). COVID curbed carbon emissions in 2020 - but not by much. *Nature*, 589, p. 343.

Tollefson, J. (2022). What the war in Ukraine means for energy, climate and food. *Nature*, 604, p. 232-233.

UNFCCC. (2022). Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement – Fourth session. UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change.

Valavanidis, A., Vlachogianni, T. (2013). Homo sapiens' energy dependence and use throughout human history and evolution. *Chem-Tox-Ecotox.Org*, 1–32.