

[R]E



[R]evolução Energética

Rumo a um Brasil com 100%
de energias limpas e renováveis

A Apresentação <u>pág. 06</u>	1 Mudanças climáticas e energia <u>pág. 10</u>	2 A geração de energia <u>pág. 14</u>	3 O setor elétrico no [R]evolução Energética <u>pág. 28</u>	4 Eficiência energética <u>pág. 34</u>	5 Transportes e mobilidade <u>pág. 40</u>	6 Metodologia <u>pág. 46</u>	7 Resultados <u>pág. 50</u>	8 Referências bibliográficas <u>pág. 74</u>	Anexo <u>pág. 78</u>
---	--	---	---	--	---	--	---	---	--------------------------------

Prefácio

Por Roberto Schaeffer*

Em dezembro de 2015, o Acordo de Paris foi adotado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês). Isso significa que, a partir de agora, o mundo tem um novo acordo global para combater as mudanças climáticas.

O objetivo maior do Acordo de Paris é manter o aumento da temperatura média global a bem menos que 2 °C acima dos níveis pré-industriais e envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C. Esse objetivo está associado ao nível de mudança climática que, entendido pelos governos como minimamente seguro, possibilitaria um desenvolvimento econômico satisfatório para as nações.

A questão é que limitar o aquecimento do planeta [a qualquer patamar implica em emissões líquidas de dióxido de carbono (CO₂) iguais a zero, em algum momento do tempo, sendo que alguns estudos indicam que cerca de 2/3 da quantidade total de CO₂ que a humanidade poderia emitir já foram lançados na atmosfera. Assim, as emissões globais precisam ser reduzidas urgentemente, de maneira que ainda tenhamos alguma chance de manter o aquecimento global abaixo dos 2 °C.

De fato, o Acordo de Paris parece reconhecer essa necessidade urgente ao defender que o pico global de emissões de gases de efeito estufa se dê o mais próximo possível, provavelmente até 2030. Desse ponto em diante, as emissões globais líquidas de CO₂ terão de diminuir rapidamente, em particular aquelas associadas ao uso de energia e a processos industriais, e chegar a zero na metade do século. A partir daí, as economias mundiais terão de se tornar – e se manter – totalmente descarbonizadas, o Brasil aí incluído.

O problema é que sistemas econômicos têm inércias e dependem de trajetórias de desenvolvimento, o que é, ao mesmo tempo, uma característica e um determinante crucial da dinâmica de transição de sistemas econômicos. Dada a longa duração dos estoques de capital e do aprendizado tecnológico e considerado o longo tempo necessário para que comportamentos humanos se modifiquem, trajetórias de desenvolvimento são particularmente relevantes para sistemas energéticos.

O Brasil é um dos signatários do Acordo de Paris e, como tal, faz parte do imprescindível esforço mundial para transformar totalmente os sistemas energéticos, em um primeiro momento, reduzindo de modo significativo e, não muito longe no tempo, eliminando a dependência dos combustíveis fósseis.

Esta edição do relatório [R]evolução Energética 2016 mostra o Brasil até 2050 com 100% de participação de fontes renováveis em sua matriz, zerando emissões de gases de efeito estufa do setor de energia. Esse cenário apresenta uma visão de um país que, além de contribuir para o objetivo maior do Acordo de Paris, também diminui a poluição do ar e aumenta a qualidade de vida nas suas cidades, assim como protege a biodiversidade e os direitos de populações indígenas e de comunidades tradicionais.

Nesse Brasil, fontes modernas de energia renovável, como solar e eólica, passam a ter papel fundamental na matriz elétrica nacional. Nas situações em que a eletrificação não é possível, os biocombustíveis também crescem em importância e a eficiência energética é alçada a um outro patamar nos diferentes setores da economia. Isso nos faz pensar o porquê de ainda produzirmos e usarmos tão mal, e de maneira ambientalmente tão insustentável, a energia de que necessitamos.

Também os transportes, a indústria e os outros setores são investigados, sempre explorando o Brasil 100% baseado em fontes renováveis. No caso do setor de transportes, por exemplo, além das fontes de energia renováveis, que serão necessárias para garantir a mobilidade de pessoas e mercadorias, o potencial dos diferentes modais é explorado, mostrando que a verdadeira eficiência do setor deriva do melhor aproveitamento de cada modal.

O trabalho que o leitor encontra nas páginas a seguir é um exercício interessante que mostra que o futuro do planeta em geral e do Brasil, em particular, pode ser muito menos assustador do que se pensa – ou até nada assustador, a depender das escolhas e esforços que fizermos no setor energético brasileiro.

* Roberto Schaeffer é professor titular de Economia da Energia do Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Apresentação

O relatório [R]evolução Energética mostra como o Brasil pode chegar a 2050 com 100% de participação de fontes renováveis em sua matriz de energia. Isso implica zerar as emissões de gases de efeito estufa desse setor, reduzir a poluição do ar e melhorar a qualidade de vida nas cidades. E mostra como se dará o aproveitamento das fontes renováveis para a geração de eletricidade em cada região do país. Por exemplo, a partir do aproveitamento da geração solar distribuída, que pode ser instalada em boa parte dos mais de 50 milhões de telhados brasileiros.

Aqui, aprofundamos discussões sobre transição energética, como a integração da geração de energia solar e eólica na operação do sistema elétrico, e a promoção da mobilidade nas cidades, com o favorecimento do transporte coletivo em detrimento do individual. E, ainda, a criação de novos postos de trabalhos mais qualificados impulsionados pela indústria de renováveis.

A transição energética já está acontecendo no mundo. O preço de fontes renováveis, em especial a solar, segue em queda, registrando ano após ano novos recordes de investimentos. Enquanto isso, a indústria global de carvão entra em declínio e a volatilidade do preço do petróleo torna este mercado ainda mais arriscado. Não há dúvidas de que os combustíveis fósseis vão ficar no passado e que as energias renováveis se fortalecerão cada vez mais. Isso pode ser feito nas próximas décadas, contanto que haja planejamento e políticas públicas.

No Brasil, só chegaremos lá se tivermos vontade política. A forma como o país projeta o uso e a expansão da energia, e como desenvolve sua infraestrutura, terá de mudar. Precisamos pensar uma

matriz elétrica além da fonte hídrica. A proteção do meio ambiente e a garantia da justiça social precisam ser premissas, e os combustíveis fósseis, abandonados. Precisaremos, também, fortalecer as soluções já existentes de eficiência energética.

O ano de 2015 terminou com uma mensagem de esperança para o mundo: 195 nações negociaram e construíram um acordo determinando o que deve ser feito para limitar o aumento da temperatura do planeta, visando 1,5 °C. O reconhecimento de que combater as mudanças climáticas é uma prioridade e um desafio global reforça a mudança estrutural pela qual o mundo tem de passar. Uma nova forma de pensar a expansão energética, que garanta o acesso universal e justo à eletricidade, se faz mais que necessária. E trata-se de um momento para diversificar e descentralizar a forma como nossa energia é gerada, trazendo mais segurança para a matriz energética e tornando a economia de baixo carbono uma realidade cada vez mais competitiva.

Nesse sentido, o relatório fornece à sociedade a reflexão sobre as decisões que precisam ser tomadas e encorajadas hoje para que o país trilhe esse rumo, seja pelas instâncias governamentais e planejadores, seja por nós, enquanto cidadãos.

Asensio Rodriguez

Diretor executivo
Greenpeace Brasil

Ricardo Baitelo

Coordenador da Campanha de Clima e Energia
Greenpeace Brasil

Sumário executivo

O Brasil pode chegar a 2050 com uma matriz energética 100% renovável, criando novos postos de trabalho, melhorando a qualidade do ar e a vida de milhões de pessoas e ajudando a limitar o aumento da temperatura global. Para mostrar que isso é possível, o [R]evolução Energética 2016 propõe um caminho para a geração e o consumo de energia que atenderá ao crescimento do Brasil nas próximas décadas de forma limpa e justa.

Esse futuro representa ganhos para a infraestrutura do país, que contará com uma matriz energética mais diversificada, e mais autonomia para a população urbana, que irá gerar sua própria energia e contar com uma melhor mobilidade nas cidades. Para as comunidades tradicionais e populações indígenas, esse futuro garantirá o respeito a seus direitos e a segurança de que não sejam impactadas por grandes obras – como as hidrelétricas propostas atualmente para o abastecimento de eletricidade do país.

A economia brasileira e a população serão diretamente beneficiadas, já que, no cenário do [R]evolução Energética, em 2030, teremos 618 mil empregos relacionados apenas à geração de eletricidade e ao aproveitamento da energia solar térmica e do calor de ambiente por todo o país. Os preços da eletricidade diminuirão e, em 2050, estaremos economizando cerca de R\$ 45 bilhões por ano no custo total de seu fornecimento. O resultado direto será a diminuição das contas de luz dos cidadãos, que terão a opção de gerar sua própria energia elétrica.

Nos últimos anos, os brasileiros conviveram com um aumento médio de 72% em suas despesas com eletricidade. Parte desse acréscimo deve-se ao fato de o país ter sua geração de eletricidade calcada num modelo que privilegia o uso de usinas hidrelétricas e termelétricas. E porque, recentemente, a redução de águas nos reservatórios de hidrelétricas demandou um constante acionamento das térmicas. Assim, a conta recaiu sobre os cidadãos,

uma vez que as térmicas geram energia mais cara. O [R]evolução Energética propõe um novo rumo para os investimentos em energia, solucionando esse e outros problemas e, ainda, trazendo benefícios para o Brasil.

Este relatório é uma referência global para o setor de energia. Dezenas de edições em outros países e cinco edições globais foram publicadas. A mais recente, de setembro de 2015, mostrou como o mundo pode ter 100% de energia renovável e abandonar todos os combustíveis fósseis ao implementar uma transição energética que também seja justa. Seguindo a mesma linha, a quarta edição do relatório brasileiro demonstra como o país pode transformar sua matriz energética.

Desde a primeira edição brasileira, em 2007, o relatório evoluiu. Em 2016, o [R]evolução Energética traz cenários de energia para todos os setores, incluindo a indústria e os transportes. E inova ao apresentar como o país pode atingir 100% de energética renovável em sua matriz – além de mostrar em detalhes como funcionará a operação do sistema elétrico baseado apenas nessas fontes.

Um grupo de especialistas apoiou o Greenpeace Brasil na montagem deste relatório. A elaboração geral dos cenários foi realizada pela equipe de Análises de Sistemas do Instituto de Engenharia Termodinâmica do DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* ou *German Aerospace Center*, em inglês), da Alemanha – uma referência mundial em cenários energéticos. A equipe do DLR também contou com a colaboração do Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

O relatório também teve como base uma série de estudos construídos em parceria com instituições nacionais com reconhecido mérito em suas áreas de especialização. Os cenários do setor de trans-

1 Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (2016a). Dados referentes à tarifa média de eletricidade com impostos para o setor residencial entre abril de 2013 e dezembro de 2015.

portes foram elaborados pelo Laboratório de Transporte de Carga (Coppe/UFRJ). Já os de eficiência e transição energética para a indústria e outros setores ficaram a cargo da equipe da *International Energy Initiative* (IEI) e do Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Por fim, a estrutura do cenário Base para energia e os cenários para eletricidade foram elaborados pelo Greenpeace Brasil.

PREMISSAS E PRINCÍPIOS DO [R]EVOLUÇÃO ENERGÉTICA

O Acordo de Paris, resultado da Conferência do Clima das Nações Unidas de 2015, define como os países do mundo todo deverão cortar suas emissões de gases de efeito estufa e descarbonizar suas economias, durante a segunda metade deste século. Sua implementação significa um planeta livre de combustíveis fósseis e de desmatamento e a dissociação do crescimento econômico do aumento de emissões, o que já vem acontecendo em algumas nações.

Uma mudança profunda no paradigma de produção, transporte e consumo de energia será exigida. Para responder a esse desafio e mostrar como o Brasil pode ter 100% de energia renovável em 2050, o [R]evolução Energética considera algumas premissas e princípios em seu cenário:

Eliminação do uso de todos os combustíveis fósseis na matriz energética, zerando as emissões do setor;

Eliminação do uso da energia nuclear e de novos projetos hidrelétricos no bioma Amazônia;

Implementação de soluções renováveis, com a priorização de novos projetos de energia solar e eólica, incluindo sistemas de geração de energia descentralizados;

Respeito ao meio ambiente na construção de projetos energéticos;

Consideração dos impactos sociais, causados por grandes obras, nas comunidades tradicionais e povos indígenas, causados por grandes obras. E respeito aos direitos constitucionais e humanos;

Fim da dependência dos combustíveis fósseis para o crescimento econômico.

RESULTADOS DO [R]EVOLUÇÃO ENERGÉTICA

O [R]evolução Energética 2016 apresenta e compara dois cenários que mostram como a matriz energética brasileira poderá ser em 2050. O cenário Base reflete a continuidade das políticas do governo para o setor energético. Já o cenário [R]evolução Energética é a projeção assinada pelo Greenpeace Brasil, que considera o potencial do país em utilizar energias renováveis para alcançar 100% de sua matriz limpa e com zero emissões de gases de efeito estufa.

Segundo o relatório, em 2050, o Brasil vai consumir 6.849 PJ de energia (ou 163,59 milhões de toneladas equivalentes de petróleo). É 47% a menos do que o previsto pelo cenário Base, em função dos elevados ganhos de eficiência que podem ser alcançados. A transição energética proposta pelo Greenpeace Brasil também conta com o aumento da participação de eletricidade renovável em substituição a tecnologias que hoje queimam combustíveis fósseis, principalmente no setor de transportes. Dentre os principais resultados do cenário [R]evolução Energética estão:

Uso de 100% de energias renováveis em toda a matriz energética em 2050: os combustíveis fósseis podem ser abandonados gradativamente até 2050. Para a geração de eletricidade, é possível abrir mão do carvão já em 2030, e do petróleo, em 2040. O gás natural poderá ser usado como combustível de transição, até ser deixado de lado na metade do século. Principalmente no setor de transportes e na indústria, o abandono das fontes fósseis também ocorre de modo gradativo, com a transição para o uso da eletricidade e dos biocombustíveis. Na geração de eletricidade, a expansão da energia eólica e da energia solar (fotovoltaica e solar concentrada) merece destaque: elas alcançam participação de 46%, sendo mais que o dobro do previsto pelo cenário Base. A capacidade instalada das renováveis partirá dos atuais 106 GW e alcançará 349 GW em 2050 – crescimento 48% maior do que no cenário Base.

Aumento da eficiência energética: a substituição de tecnologias obsoletas por outras mais eficientes e mudanças nos padrões de uso trarão um ganho de 47% de eficiência energética em 2050. Exemplos de medidas que contribuirão para isso são: adoção da eletrificação nos transportes, ampliação do uso de coletores solares e motores mais eficientes

na indústria, climatização adequada dos edifícios e sistemas de iluminação melhores. A partir de 2020, o cenário proposto pelo Greenpeace Brasil já é mais eficiente do que o cenário projetado pelo governo. Para os transportes, o potencial de eficiência chega a 61% em 2050 e, na indústria, a 40%. Nos demais setores (residencial, comercial, público e rural), a eficiência alcança 38%.

Eletrificação da matriz energética: o cenário [R]evolução Energética prevê o aumento da demanda por eletricidade em todos os setores como uma decorrência da substituição dos combustíveis fósseis. No setor de transportes e na indústria, a participação da eletricidade chegará a 25% e 37% do consumo, respectivamente. Com isso, a demanda anual de eletricidade do país subirá dos atuais 500 TWh para 864 TWh em 2050 – ainda assim, cerca de 6% menor do que no cenário Base. O aumento da eletricidade baseada em energias renováveis é uma das medidas que possibilitará ao país alcançar elevados níveis de eficiência energética e poupar recursos, permitindo o fim do uso de combustíveis fósseis e, consequentemente, das emissões de gases de efeito estufa.

Diversificação e descentralização: a geração de eletricidade no [R]evolução Energética é mais diversa e descentralizada. As usinas hidrelétricas têm uma pequena ampliação em relação ao número já existente hoje, e não serão necessários novos projetos na região amazônica. Em 2050, a fonte hídrica passa a representar 45% da geração, enquanto a energia eólica cresce para 25% e a fonte solar (fotovoltaica e térmica) salta para 21%. A biomassa permanece com 7% da geração, e outras fontes, como a oceânica e o hidrogênio, representam juntas 2%. Além disso, há uma mudança na lógica atual de produção, já que boa parte dos consumidores passará a gerar sua própria energia com painéis fotovoltaicos em suas residências, nos comércios e indústrias e a enviar eletricidade para a rede elétrica.

Revolução no setor de transportes: a redução no consumo total de energia neste setor pode chegar a 61% em relação ao cenário Base. Para isso, serão necessárias medidas como: introdução dos motores elétricos, transição do transporte de cargas do modal rodoviário para o ferroviário, maior eficiência logística, e priorização do transporte público e de deslocamentos não motorizados nas áreas urbanas. Tecnologias que permitam o uso da eletricidade como fonte de energia serão funda-

mentais para a renúncia aos combustíveis fósseis. Além disso, os biocombustíveis têm papel importante em situações em que o uso da eletricidade não é o mais indicado – como em aviões e alguns automóveis. No [R]evolução Energética, o uso da eletricidade para os transportes alcançará 25% do consumo deste setor, contra apenas 1% no cenário Base. Os biocombustíveis, que hoje têm participação de 19%, alcançarão 47% em 2050.

Eletricidade mais barata: o fim do uso de combustíveis fósseis, que hoje alimentam usinas termelétricas, permitirá uma relevante economia de custos. Em 2050, a geração de eletricidade no cenário [R]evolução Energética custará R\$ 209 bilhões ao ano, contra R\$ 254 bilhões no cenário Base. Essa economia anual, de R\$ 45 bilhões, significa um enorme ganho para o país e para os consumidores.

Muitos empregos: dentre os muitos benefícios que a [R]evolução Energética traz para o país está um grande número de postos de trabalho. Em 2030, são estimadas 618 mil vagas vinculadas à geração de eletricidade e às tecnologias de aproveitamento de energia térmica solar e de calor do ambiente. Além disso, no cenário proposto pelo Greenpeace Brasil, neste ano, haverá 61 empregos por cada petajoule (PJ) de energia primária consumida para gerar eletricidade. No cenário previsto pelo governo, serão apenas 57 empregos por cada PJ. Nos processos de construção, fabricação, manutenção e operação de usinas de geração de eletricidade, o cenário [R]evolução Energética prevê 1.247 empregos por cada GW instalado em 2030, contra 1.093 no cenário Base. Uma diferença de 12% a menos.

Com inegáveis ganhos sociais, ambientais e econômicos, fica claro que o ingrediente que falta para acelerar a transição energética para um futuro renovável é vontade política. Este relatório do Greenpeace Brasil mostra que essa revolução energética é possível. E os caminhos para colocá-la em prática, assim como seus resultados, estão detalhados nas próximas páginas.

Mudanças climáticas e energia

“Estamos quase no final de uma estrada e, com certeza, no começo de uma outra”. Foi com essa frase que Laurent Fabius, presidente da COP21 (21ª Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas), começou seu discurso antes da aprovação do documento que definiu as metas fundamentais para evitar os efeitos das mudanças climáticas – o Acordo de Paris. O Acordo, aprovado por representantes de 195 países em dezembro de 2015, é um marco importante na história, não apenas das negociações climáticas, mas também para o futuro do planeta. No entanto, como aponta Fabius, ainda há muito a fazer.

O Brasil e todas as outras nações terão de agir para conter o aumento da temperatura global, o que significa transformar profundamente a economia, visando um modelo de desenvolvimento de baixo carbono no qual os combustíveis fósseis e o desmatamento não são tolerados.

→ **Conter o aumento da temperatura global significa uma transformação da economia, visando o fim dos combustíveis fósseis e do desmatamento.**

O ano de 2015 desbancou 2014 como o mais quente desde que os registros globais de temperatura começaram, em 1880². E 2016 já está no páreo para superar esse recorde. Abril desse ano foi o sétimo mês seguido a quebrar recordes globais de temperatura³. Além disso, há indicativos de que os eventos climáticos extremos estão se tornando cada vez mais intensos e frequentes. No Brasil, presenciamos enchentes que têm deixado muitas vítimas em algumas regiões, enquanto períodos de secas são cada vez mais frequentes em outras áreas⁴. Não há outra saída a não ser começar a agir o mais rápido possível para cortar as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas.

Além de ser uma solução para reanimar economias em crise, como é caso do Brasil, a transição rumo ao fim dos combustíveis fósseis criará oportunidades de mudanças positivas do ponto de vista social e ambiental. Enquanto as mudanças climáticas podem colocar em risco cerca de US\$ 2,5 trilhões⁵ em ativos financeiros – o equivalente a 1,8% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial –, o investimento em renováveis alavancará a economia. Alcançar 36% de energias renováveis na matriz energética global até 2030 (o equivalente a dobrar a participação destas em relação aos níveis de 2010) elevaria o PIB mundial em cerca de US\$ 1,3 trilhão. E, ainda, criaria 24,4 milhões de novos postos de trabalho e salvaria 4 milhões de vidas por ano⁶.

Falsas soluções, como o desmatamento líquido zero, usinas hidrelétricas em ambientes sensíveis, usinas nucleares, tecnologias de captura e armazenamento de carbono e soluções de geoengenharia, não são opções para alcançar as metas do Acordo de Paris.

- ² Gistemp Team (2016).
- ³ Slezak, M. (2016).
- ⁴ Marengo, J. A. *et al* (2011).
- ⁵ Dietz, S. *et al* (2016).
- ⁶ International Renewable Energy Agency (IRENA) (2016).

- 7
Excluindo as grandes hidrelétricas.
- 8
Frankfurt School- Unep Centre e Bloomberg New Energy Finance (2016).
- 9
Frankfurt School- Unep Centre e Bloomberg New Energy Finance (2016).
- 10
Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2015).
- 11
De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDE2024)
- 12
Brasil (2015).
- 13
SEEG (2016). Dado referente à 2014.
- 14
Leia mais sobre a contribuição da sociedade civil em OC (2015).
- 15
Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2015a).

A boa notícia é que as alternativas aos combustíveis fósseis não apenas existem, como estão se tornando cada vez mais acessíveis. Em 2015, pela primeira vez na história, a eletricidade a partir das energias renováveis⁷ instalada naquele ano bateu recorde e superou o adicionado em termelétricas fósseis⁸. Isso também veio acompanhado de investimentos recordes – direcionados principalmente a projetos de energia solar e eólica –, que somaram US\$ 285,9 bilhões. O valor é mais de duas vezes maior do que o recebido por usinas a combustíveis fósseis⁹.

No setor de transportes, grande responsável pela utilização de combustíveis poluentes, o uso das renováveis também tem sido crescente, e a produção de biocombustíveis no mundo cresceu quatro vezes na última década¹⁰.

A transição energética já começou. Países, investidores e empresas que resistirem a transformações na forma como a energia é gerada e consumida ficarão do lado errado da história. Cabe ao Brasil escolher o caminho certo e trilhá-lo rumo a um futuro com 100% de energia renovável até 2050.

A 21ª CONFERÊNCIA DO CLIMA E O ACORDO DE PARIS

O Acordo de Paris é um documento histórico. Seu texto, no entanto, é insuficiente. Muitas das metas nacionais apresentadas – inclusive pelo Brasil – terão de ser revistas para alcançar a ambição de barrar o aquecimento global. O que foi apresentado voluntariamente antes da COP21 fará com que o planeta vivencie um aumento de temperatura entre 2,7 °C e 3,5 °C. O texto do Acordo define o limite do aumento da temperatura média global em “bem abaixo dos 2 °C”. E diz que a comunidade internacional deve “continuar os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C”.

A implementação do Acordo significa um passo importante na reorientação da economia mundial. O crescimento econômico terá de se dissociar, de uma vez por todas, do aumento de emissões. E, ao criar um regime para a proteção das populações mais vulneráveis do planeta, o Acordo também se torna um instrumento para reduzir a pobreza e promover o desenvolvimento e os direitos humanos.

O futuro de baixo carbono sem combustíveis fósseis significa que a forma como a energia é produzida e consumida mudará. A eficiência energética e os investimentos em energia solar, eólica e combustíveis renováveis terão de aumentar. Áreas degra-

dadas serão restauradas e reflorestadas, e o setor agropecuário adotará práticas mais sustentáveis. As florestas terão de ser conservadas e protegidas com o desmatamento zerado até 2020, sem novas grandes usinas hidrelétricas construídas nos rios amazônicos. E os direitos dos indígenas, verdadeiros protetores da floresta, deverão ser garantidos.

LIÇÃO DE CASA PARA O BRASIL

Para que o Brasil faça sua parte no combate às mudanças climáticas, terá de rever o tímido e insuficiente documento de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas (INDC, na sigla em inglês), enviado às Nações Unidas antes da COP21. É necessário incluir um plano robusto para acabar com o desmatamento e redirecionar os investimentos dos combustíveis fósseis – que hoje representam 70% dos investimentos na área de energia para os próximos dez anos¹¹– para a indústria de renováveis. Essa revisão acontecerá em 2018 e, dois anos depois, o acordo entra em vigor. E a partir de 2025, os países serão obrigados a rever suas metas e contribuições de redução de emissões a cada cinco anos.

A contribuição do Brasil poderia ter ido muito além. O país se propôs a reduzir suas emissões em 37% até 2025 em relação a 2005, com uma meta indicativa de 43% até 2030¹². Em termos absolutos, isso representa a emissão de 1,2 bilhão de toneladas de CO_{2eq} em 2030 – hoje as emissões brasileiras estão em cerca de 1,6 bilhão¹³. Cálculos do Greenpeace Brasil e de outras organizações junto ao Observatório do Clima mostram que seria possível limitar as emissões em 1 bilhão de toneladas¹⁴.

O objetivo do governo é ter, até 2030, entre 28% e 33% de fontes renováveis, além da hídrica, na matriz energética¹⁵. Isso é equivalente ao patamar atual, que já está em cerca de 28%. Para eletricidade, a proposta brasileira prevê 23% da geração a partir de fontes renováveis excluindo a hídrica até 2030, ou seja, a partir de usinas eólicas, solares e a biomassa. Segundo dados do Greenpeace Brasil e do Observatório do Clima, é possível chegar a 34% da eletricidade oriunda dessas fontes renováveis.

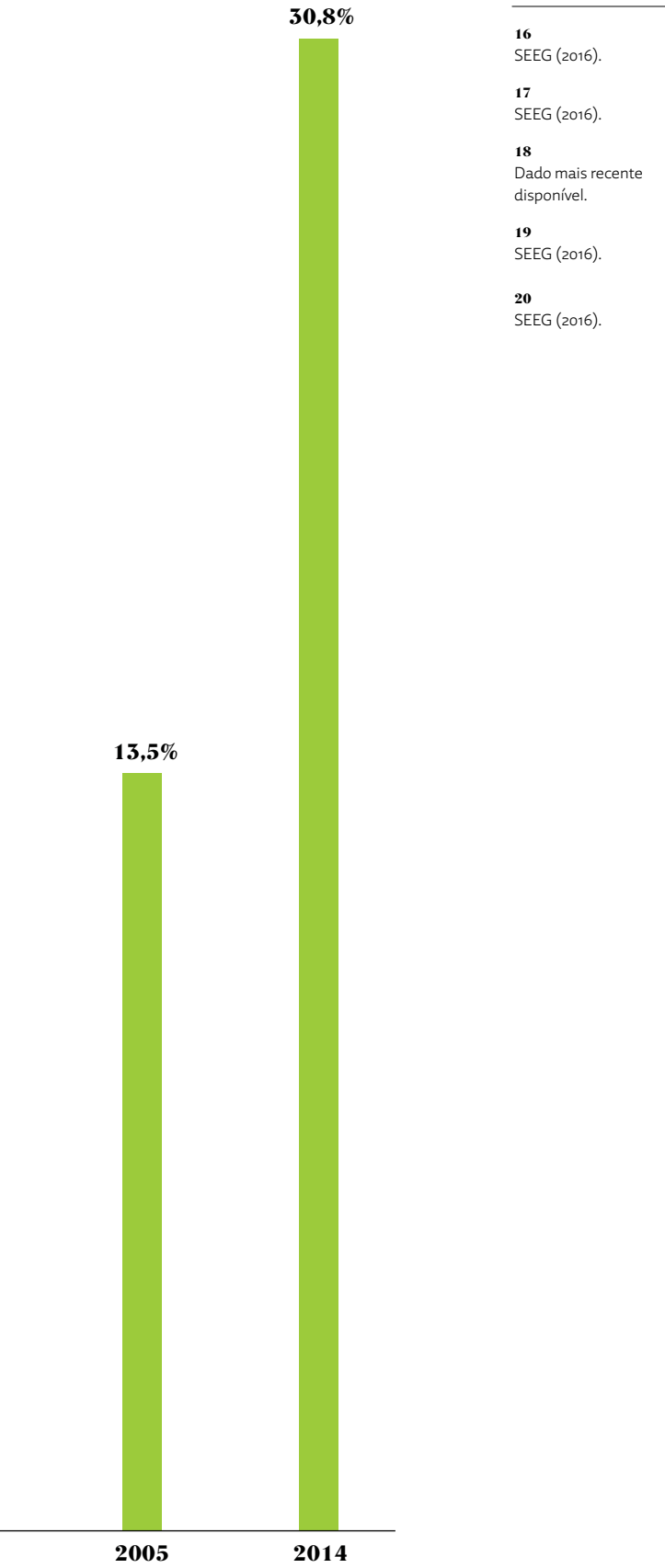
A proposta brasileira pode ser considerada, portanto, como um cenário tendencial, mas não ambicioso. O relatório [R]evolução Energética, do Greenpeace Brasil, confirma que é possível ir muito mais longe em 2030, somando 35% de geração a partir de fontes renováveis.

Quanto antes o Brasil colocar em prática medidas de baixo carbono, mais rápido o país, sua economia e população se beneficiarão. Traçar um plano claro para ter 100% de energia renovável até 2050 e desmatamento zero até 2020 é uma necessidade urgente.

PARTICIPAÇÃO DO SETOR ENERGÉTICO NAS EMISSÕES BRASILEIRAS

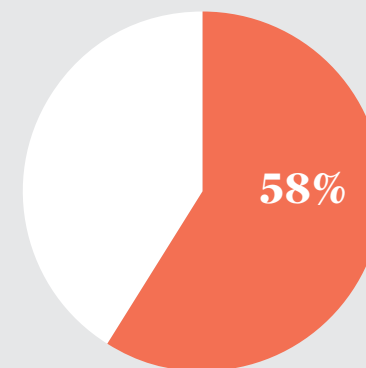
Historicamente, o desmatamento tem sido o maior responsável pelas emissões brasileiras de gases de efeito estufa. Desde 2005, no entanto, o setor de energia tem aumentando sua participação¹⁶. O Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)¹⁷ indica que, em 2014¹⁸, o país manteve suas emissões totais estáveis em relação ao ano anterior, apesar da redução de 18% na taxa de desmatamento da Amazônia, já que o setor de energia emitiu mais do que em 2013.

Entre 2005 e 2014, as emissões do setor de energia passaram de 13,5% do total emitido pelo Brasil para 30,8%¹⁹. Foi o setor com o maior crescimento de emissões no período, de 53%. Esses valores se devem, principalmente, ao subsetor de transportes. E a tendência deve permanecer. Em 2005, os transportes respondiam por 6% do total das emissões e, nos últimos anos, o percentual mais que dobrou, chegando a 14%²⁰. Sob essa ótica, o relatório [R]evolução Energética demonstra como o desafio das mudanças climáticas pode trazer oportunidades para que o Brasil transforme sua matriz energética, ao mesmo tempo que promove uma sociedade mais justa e inclusiva.



A geração de energia

Ainda que o Brasil volte a crescer acima dos 2% ao ano²¹, o cenário [R]evolução Energética prevê uma necessidade menor de energia do que a consumida pelo país atualmente. A estimativa é de que a demanda por energia em 2050 seja 6.849 PJ, cerca de 24% a menos do que a atual e 47% a menos do que o cenário Base projetado para 2050. Isso porque existe um grande potencial para implementar medidas de eficiência energética. Neste capítulo, são descritas e contextualizadas as fontes de energia que compõe tanto o cenário Base como o [R]evolução Energética, propostos para 2050.



→ **As fontes fósseis, que são altamente poluentes, representam 58% do consumo de energia do Brasil**

FONTES FÓSSEIS DE ENERGIA

Atualmente, o petróleo, o carvão mineral e o gás natural ainda são as fontes de energia mais utilizadas no mundo, respondendo por cerca de 66% do consumo global de energia e por 68% da geração de eletricidade²². A queima deles é altamente poluente e um dos principais causadores das mudanças climáticas.

No Brasil, as fontes fósseis representam cerca de 58% do consumo total de energia. Em relação à geração de eletricidade, a participação somou 23% em 2014²³. E há indicativos de expansão dessas fontes na matriz energética brasileira para os próximos anos. Cerca de 70% dos investimentos no setor de energia do Brasil serão voltados para esse tipo de combustíveis, segundo o Plano Decenal de Energia 2024 (PDE 2024)²⁴.



Carvão

O carvão é o mais abundante dos combustíveis fósseis e também o maior emissor de gases de efeito estufa. Atende 11,5% do consumo de energia no mundo e é responsável por cerca de 46% das emissões globais²⁵. No Brasil, a exploração das poucas reservas de carvão concentra-se em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. As usinas termelétricas a carvão têm participação de 4,3% na matriz elétrica atual²⁶.

21 O aumento médio do Produto Interno Bruto (PIB) do país entre 2014 e 2050 é de 1,9% ao ano. O valor já considera o decréscimo da economia nos anos de 2015 e 2016. As estimativas das taxas de crescimento do PIB foram elaboradas pelo banco Itaú Unibanco (2015). Os dados da taxa do PIB anual estão no Anexo.

22 MME e EPE (2015a).

23 MME e EPE (2015a).

24 MME e EPE (2015b).

25 Energy Information Administration (EIA) (2015a).

26 MME e EPE (2015a).

27
Carbon Brief (2016).

28
International Energy Agency (IEA) (2015a).

29
IEA (2015a).

30
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2015).

31
ANP (2015).

32
ANP (2015).

33
Greenpeace International (2008).

34
Greenpeace Brasil (2015b).

35
Greenpeace Brasil (2015b).

36
Quaino, L. (2012).

37
Greenpeace Brasil (2015c).

38
Greenpeace International (2015a).

39
Greenpeace International (2015a).

40
Greenpeace International (2015a).

41
Jones, C. M. e Chaves, H. A. F. (2015).

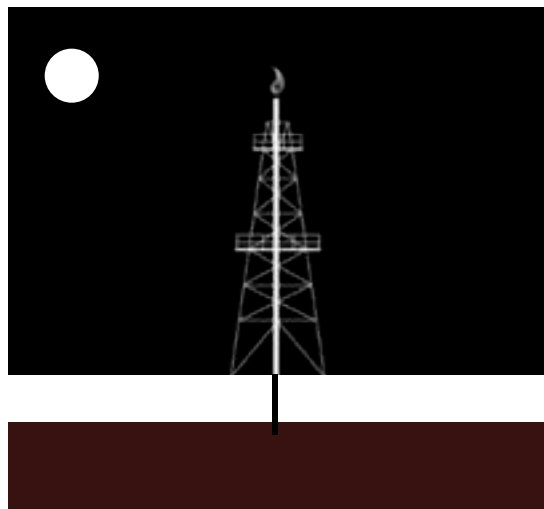
42
Greenpeace Brasil (2015c).

43
MME e EPE (2015b).

Em 2015, pela primeira vez na história, a humanidade registrou uma queda no consumo desse combustível. Isso se deu principalmente pelo declínio de seu uso na China, responsável por cerca de metade da demanda mundial de carvão²⁷. As mudanças conduzidas pela China são um exemplo para que outros países invistam em modelos energéticos de baixo carbono.

O Greenpeace Brasil considera que tecnologias para gerar energia a partir de um “carvão limpo” – por processos que reduzem o teor das impurezas do carvão – e as técnicas de captura e sequestro de carbono (*veja a seção Captura e Sequestro de Carbono*) são falsas soluções para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas. O carvão deve ser abandonado, enquanto combustível, e seus investimentos direcionados para energias renováveis. as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas.

↓ O carvão deve ser abandonado enquanto combustível e seus investimentos direcionados para energias renováveis.



Petróleo

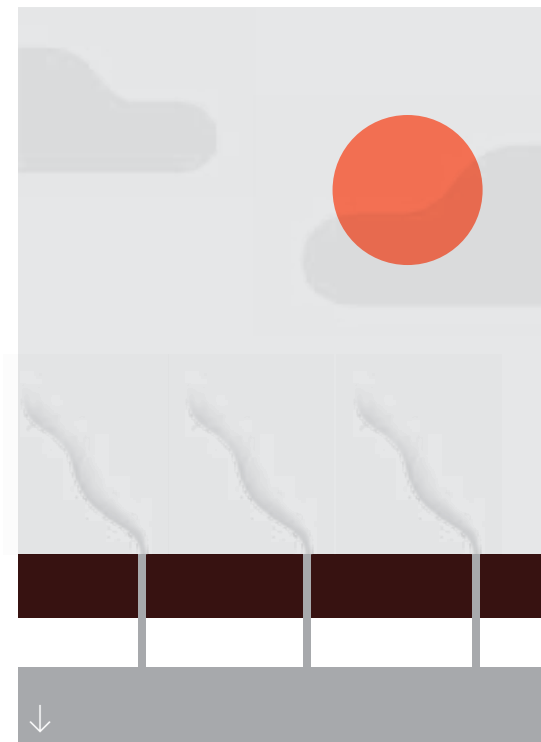
O petróleo é atualmente a principal fonte de energia no mundo²⁸. Em 2013, cerca de 64% do petróleo produzido foi destinado ao setor de transportes, pouco mais de 8% foi utilizado pela indústria e 4,4%, na geração de eletricidade²⁹. Além de ser a

base para a produção³⁰ de gasolina, dele derivam produtos como o diesel e o querosene.

O Brasil está atualmente na 15ª posição no *ranking* mundial das maiores reservas provadas de petróleo, com 16,2 bilhões de barris, e na 13ª dos maiores produtores de petróleo do mundo, com 823 mil barris por dia. Nossos mares concentram 95% do volume de reservas e 90% da atual produção. Vinte e dois por cento da produção está na área do pré-sal, em águas profundas³¹ (*leia mais no quadro O que não fazer com o pré-sal*). Como grande parte da produção de petróleo no país é no mar (*offshore*³²) e os avanços tecnológicos têm permitido acesso a reservas cada vez mais profundas, é imprescindível levar em consideração os impactos negativos dessa atividade ao ambiente marinho.

Há também o risco de vazamentos³³, como o que aconteceu em 2010, quando uma explosão na plataforma de exploração Deepwater Horizon, no Golfo do México, ocasionou a morte de 11 pessoas e liberou aproximadamente 5 milhões de barris de petróleo em alto-mar³⁴. Mais de mil quilômetros de costa foram atingidos, destruindo habitats, vida marinha e prejudicando as populações locais³⁵. Um ano depois, em 2011, foi a vez do Campo de Frade, na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro, sofrer com o vazamento de 3.700 barris de um poço, operado pela Chevron³⁶. No início de 2015, um acidente no navio-plataforma FPSO Cidade de São Mateus deixou 9 mortos e 26 feridos no litoral do Espírito Santo devido a uma explosão decorrente de um vazamento de gás na casa de bombas³⁷.

O Greenpeace se opõe à exploração de petróleo e gás *offshore*. E a todos os subsídios voltados para combustíveis fósseis, que prejudicam a competitividade das energias renováveis e de medidas de eficiência energética.



Captura e sequestro de carbono

A captura e sequestro de carbono (*Carbon Capture and Storage* ou CCS, em inglês) refere-se a uma série de tecnologias, ainda em estágio de desenvolvimento, projetadas para capturar o CO₂ liberado pela queima de combustíveis fósseis e processos industriais e armazená-lo em formações geológicas subterrâneas e em aquíferos³⁸. Espera-se, assim, atenuar o impacto dos combustíveis fósseis nas mudanças climáticas. Essa é, no entanto, uma aposta incerta e perigosa, visto o risco de o gás armazenado vazar e escapar para a atmosfera novamente.

Os projetos atuais têm encontrado dificuldades para comprovar a viabilidade de armazenar permanentemente o CO₂. O projeto In Salah, na Argélia, por exemplo, foi encerrado definitivamente por volta de 2011 depois que a injeção de CO₂ no subsolo provocou atividades sísmicas que romperam a rocha-mãe de um reservatório³⁹.

Outras preocupações relacionadas à tecnologia de CCS incluem os custos para seu desenvolvimento e comprovação de viabilidade, a definição de limites e responsabilidades legais pelo CO₂ armazenado e por possíveis vazamentos. A tecnologia também não atenua outros impactos ambientais e de saúde pública associados à mineração, perfuração, transporte e queima dos combustíveis fósseis⁴⁰.

© Markus Mauthe / Greenpeace



O que não fazer com o pré-sal

As reservas de petróleo do pré-sal estão localizadas sob uma camada de rocha situada até 5 quilômetros abaixo da superfície do oceano e sob uma camada de sal de até 2 quilômetros de espessura. Essas reservas têm entre 119 bilhões e 217 bilhões de barris de óleo⁴¹, volume suficiente para fazer do Brasil um dos maiores produtores de petróleo do mundo.

Anunciada anos atrás como nova fonte de riquezas, a lista de razões para o país não apostar suas fichas nesse petróleo é longa. Além dos altos custos de investimento, ainda não há tecnologia capaz de evitar grandes desastres ambientais na exploração. Um vazamento resultaria na poluição dos mares e uma profunda alteração dos ecossistemas. O plano de contingenciamento do Brasil, em caso de acidentes nas operações de petróleo, é extremamente vago⁴². A exploração do pré-sal é uma verdadeira bomba de carbono, que não poderá ser explorada diante da crise climática que enfrentamos⁴³.

- 44
Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (2006).
- 45
IEA (2015a).
- 46
IEA (2015a).
- 47
MME e EPE (2012, 2015a).
- 48
MME e EPE (2015a).
- 49
EPA (2015).
- 50
EPA (2015).
- 51
EPA (2015).
- 52
EPA (2015).
- 53
Greenpeace Brasil (2015d).
- 54
Greenpeace Brasil (2013).
- 55
Greenpeace Brasil (2013).
- 56
Greenpeace International (2016).
- 57
Greenpeace International (2016).
- 58
Greenpeace International (2016).
- 59
Polito, R. (2016).
- 60
Rubim, B. e Leitão, S. (2014).
- 61
Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (2016).

Gás natural

O gás natural ainda terá um papel importante na transição para as energias renováveis já que, dentre as fontes fósseis, é o que emite menos gases de efeito estufa. Para gerar a mesma quantidade de eletricidade, o gás natural libera quase a metade de CO₂ do que o carvão, por exemplo⁴⁴.

É a fonte fóssil que mais cresceu no mundo nas últimas décadas⁴⁵ e sua participação na geração de eletricidade saltou de cerca de 12%, na década de 1970, para cerca de 22%, em 2013⁴⁶. No Brasil, o gás natural representava 4,4% da geração de eletricidade em 2011 e alcançou 13% em 2014⁴⁷. Esse combustível também tem sido muito utilizado pelas indústrias, sendo hoje responsável por cerca de 11% do consumo energético total deste setor⁴⁸.

No cenário [R]evolução Energética, esse gás é considerado um combustível de transição, e será o último combustível fóssil a ser abandonado, em 2049. Ainda assim, o Greenpeace não aceita sua exploração por meio de processos como o fraturamento hidráulico (ou *fracking*, em inglês) e nem na área do pré-sal.

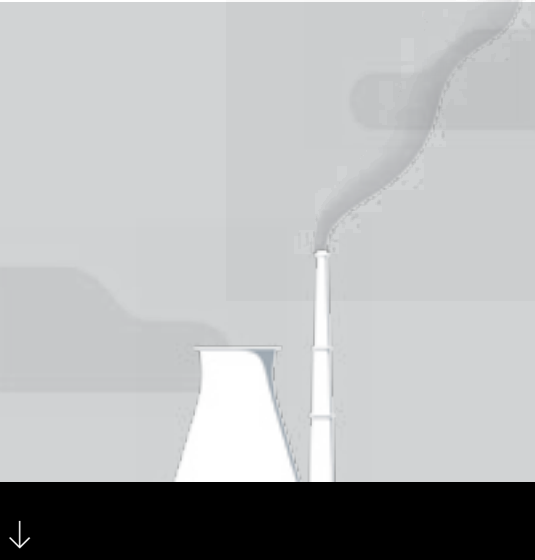


Fraturamento hidráulico

O processo de fraturamento hidráulico é a perfuração de poços em meio às rochas com reservatórios de gás. Isso é feito por meio da injeção de água sob alta pressão, areia e produtos químicos que irão expulsar o gás para superfície⁴⁹. A perfuração de poços por extensões horizontais e verticais e a extração de gás por este método estão associadas a uma série de impactos socioambientais e à alta emissão de gases de efeito estufa. O metano liberado nos poços tem maior potencial de agravar as mudanças climáticas do que as emissões provenientes do carvão.

Além disso, a técnica do fraturamento hidráulico consome uma enorme quantidade de água, que representa 90% ou mais do fluído que é injetado nos poços⁵⁰. A Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA) investigou os riscos do fraturamento hidráulico para a qualidade da água de consumo humano e constatou contaminação em alguns dos casos⁵¹.

Alguns dos produtos químicos injetados no processo são tóxicos e cancerígenos, e podem contaminar lençóis freáticos e aquíferos, ameaçando a segurança hídrica das regiões de exploração. O estudo da EPA registrou casos de má construção dos poços, o que ocasionou contaminação de reservatórios de água para consumo humano com benzeno, substância cancerígena⁵². Por conta desses e de outros impactos, o Greenpeace se opõe à exploração de petróleo e gás em reservas não convencionais.



Energia nuclear

Apesar do avanço tecnológico, acidentes e incidentes envolvendo usinas nucleares acontecem com frequência. Além da insegurança, figuram outros problemas, como a administração de resíduos e o descarte radioativo, a pouca experiência com o descomissionamento das usinas e a necessidade de elevados subsídios do governo para sua construção.

O acidente nuclear de Chernobyl, em 1986, na Ucrânia, freou a expansão da energia nuclear por cerca de 20 anos. E o mais recente desastre, em Fukushima, no Japão, no ano de 2011, colocou uma nova dúvida sobre esse tipo de empreendimento.

© André Hemstedt & Tine Reimer/Greenpeace



→ Terras Indígenas e Unidades de Conservação ameaçadas

Em outubro de 2015, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) realizou a 13ª rodada de licitações para oferecer contratos de concessão para a exploração de blocos de petróleo e gás em diversas áreas. Alguns desses blocos estavam na região amazônica e muito próximos de Unidades de Conservação (UCs) e com sobreposição à Terras Indígenas (TIs)⁵³. Explorar petróleo e gás na Amazônia é uma ameaça para o meio ambiente e para as populações locais que dependem da floresta para viver. Na época, o Greenpeace Brasil e o Ministério Público Federal no Amazonas cobraram que o leilão fosse cancelado. Ainda que a licitação tenha ocorrido, nenhum dos blocos localizados na Amazônia recebeu oferta.

Essa não foi a primeira vez que territórios indígenas e populações tradicionais estiveram ameaçados por esse tipo de exploração. Em 2013, durante a 12ª rodada de licitações, os blocos oferecidos também estavam próximos a esses territórios e as populações locais não foram consultadas sobre a instalação dos empreendimentos, agravando os conflitos socioambientais que já existem devido à cadeia de petróleo e gás ⁵⁴.

O Greenpeace Brasil defende que a região amazônica deve ser excluída de qualquer leilão de petróleo e gás e que o governo realoque os recursos das fontes fósseis para construir um futuro 100% renovável.

A radiação da usina japonesa contaminou uma área de 13 mil quilômetros quadrados⁵⁵ e 145 mil pessoas foram obrigadas a se deslocar⁵⁶. Os custos de compensação e descontaminação da área devem passar dos US\$ 80 bilhões⁵⁷. E, até hoje, água radioativa é despejada no mar em Fukushima⁵⁸.

Após Fukushima, todos os reatores europeus foram submetidos a testes de segurança para reavaliar sua verdadeira vulnerabilidade a acidentes. Países como Estados Unidos e França paralisaram seus planos de expansão nuclear. Outros, como Alemanha, Itália e Suíça, planejam a desativação de suas centrais até a próxima década.

Enquanto isso, no Brasil, o governo prevê a construção de mais quatro usinas nucleares até 2030⁵⁹, além de Angra 3. Essa usina começou a ser construída em 1984 e, após sucessivos atrasos em suas obras, sua operação está prevista para começar em 2020. Projetada para custar inicialmente R\$ 7 bilhões⁶⁰, seu custo já foi atualizado para R\$ 17,7 bilhões⁶¹.

Ainda não existe uma solução permanente para os rejeitos radioativos e há a constante necessidade de se construir novos depósitos. Esse é um passivo socioambiental e econômico que deixaremos para diversas gerações futuras. Em 2014, o Tribunal de Contas da União (TCU) emitiu um parecer afirmando que a usina nuclear de Angra 2 já poderia ser desligada em 2017 em razão da falta de depósitos para armazenar seus rejeitos.

Em razão de todos esses argumentos, o Greenpeace entende que a geração de energia por usinas nucleares é um enorme risco para a sociedade e para o ambiente, e que o Brasil deve abrir mão desta fonte.

62

Sem contar a eletricidade, que pode ter origem renovável e não renovável.

63

MME e EPE (2015a).

64

MME e EPE (2015a).

65

MME e EPE (2015a).

66

MME e EPE (2015a).

67

MME e EPE (2012, 2015a).

68

MME e EPE (2015b).

69

Para saber mais acesse a publicação *A Luta pelo Rio da Vida* disponível no site do Greenpeace Brasil.

70

Greenpeace (2016).

71

Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) (2015); Angelo, C. e Feitosa, C. (2015).

72

MME e EPE (2015a).

73

Greenpeace Brasil (2015e).

74

Greenpeace Brasil (2015e)

75

Greenpeace Brasil (2015e)

76

Greenpeace Brasil (2015e)

77

Greenpeace Brasil (2015e).

78

Greenpeace (2016).

FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

As energias renováveis são obtidas por recursos naturais que são repostos em um ritmo igual ou superior à sua utilização. São obtidas a partir dos fluxos que ocorrem no ambiente natural e incluem recursos como o sol, os ventos, a água, o mar, as ondas e a biomassa.

Atualmente, as fontes renováveis⁶² representam apenas 12% da demanda energética mundial⁶³. No Brasil, a participação é maior: 28,5%⁶⁴. Na geração de eletricidade, o país já possui cerca de 75% da geração a partir das renováveis⁶⁵. Como a maior parcela desse total é de hidrelétricas, é necessário repensar a forma como essa expansão tem se dado por aqui. Grande parte do potencial hidrelétrico ainda disponível está em regiões ambientalmente e socialmente sensíveis, como a Amazônia.



Hidrica

O Brasil é um dos maiores geradores de energia hidrelétrica no mundo, atrás apenas da China⁶⁶. Historicamente, essas usinas têm sido responsáveis por gerar a maior parte da nossa eletricidade. Nos últimos anos, no entanto, sua participação tem caído em detrimento da geração termelétrica, às custas do aumento das emissões de gases de efeito estufa e também da conta de luz dos brasileiros. A participação da fonte hídrica na matriz elétrica, que figurou em torno dos 80% em 2014, caiu para 65% em 2016⁶⁷.

O país já explorou extensivamente o potencial hidrelétrico mais próximo aos grandes centros consumidores, praticamente esgotando-o nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. É por isso que o governo brasileiro olha para a Amazônia como a próxima fronteira para a construção de novas hidrelétricas.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia (2015), o governo planeja expandir a capacidade instalada em usinas hidrelétricas em cerca de 28 GW até 2024, sendo que mais de 90% estaria localizada na região Amazônica⁶⁸. Dentro do Plano, considera-se, por exemplo, a construção da hidrelé-

trica de São Luiz do Tapajós, obra cujo processo de licenciamento ambiental foi cancelado pelo IBAMA em agosto de 2016. O projeto não considerava o flagrante desrespeito aos direitos humanos e constitucionais da população afetada, notadamente o povo indígena Munduruku, que veria parte de suas terras alagadas em função da hidrelétrica⁶⁹.

A construção de grandes hidrelétricas na Amazônia tem sido apresentada como indispensável para garantir eletricidade para o crescimento do país. No entanto, exemplos recentes de instalação dessas usinas, como Santo Antônio, Jirau e Belo Monte mostram que elas não passam de uma falsa solução de energia limpa. Desrespeito aos direitos constitucionais e humanos, impactos na biodiversidade e nas comunidades tradicionais, violação de leis e de acordos internacionais e denúncias de corrupção generalizada – como se viu a partir de depoimentos sobre propina para a construção da usina de Belo Monte, no rio Xingu, durante a Operação Lava Jato – são algumas das características relacionadas à construção das hidrelétricas na região⁷⁰.

Barragens e lagos artificiais trazem sérias consequências como a inundação de áreas habitáveis e habitats, o deslocamento de comunidades e populações locais e a perda de biodiversidade. Grandes obras também vêm acompanhadas de inchaço populacional nas cidades do entorno, normalmente sem planejamento. Isso ocasiona déficits ainda maiores dos que os já existentes em termos de atendimentos nos serviços públicos, situações de violência, prostituição, entre outros problemas sociais. Diante das alterações profundas no modo de vida das populações indígenas, projetos de hidrelétricas devem respeitar a Convenção 169, da Organização Internacional do Trabalho (OIT), realizando a consulta livre, prévia e informada. Mesmo sendo signatário da Convenção, o governo brasileiro continua ignorando esse processo.

Há também muitas incertezas sobre a real capacidade de essas usinas gerarem a mesma quantidade de energia no futuro. O estudo Brasil 2040, realizado pelo governo brasileiro, sobre os impactos das mudanças climáticas, já indica a possibilidade de redução na vazão de rios com usinas prontas ou em planejamento. No entorno da usina de Belo Monte, a mudança pode ser entre 25% e 55%; e entre 20% e 30%, na área de São Luiz do Tapajós⁷¹.

Como mostra o cenário [R]evolução Energética, essas futuras hidrelétricas, colocadas pelo governo como urgentes, são desnecessárias. O cenário [R]evolução Energética mostra que o país pode chegar em 2050 com 100% de energias renováveis e sem novas hidrelétricas na Amazônia. Para garantir o abastecimento de eletricidade, será necessário explorar um pequeno potencial em regiões mais próximas aos centros de consumo e incentivar o uso das demais fontes renováveis, como a solar e a eólica.

Pequenas Centrais Hidrelétricas

Atualmente, a capacidade instalada total de usinas hidrelétricas no país soma 89 GW. Destes, cerca de 5 GW são de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)⁷², que são usinas com até 30 MW. Se construídas respeitando uma série de exigências socioambientais, as PCHs podem aproveitar o curso natural de rios, reduzindo os maiores impactos da construção de reservatórios e os prejuízos às populações locais e à biodiversidade. No entanto, a construção de PCHs em sequência em um mesmo rio ou em uma mesma bacia pode causar impactos cumulativos até superiores aos de usinas de grande porte. É preciso, portanto, ter os mesmos cuidados em relação à instalação em áreas sensíveis e à consulta e consentimento das populações locais.

→ Tapajós, o rio da vida

Principal fonte de vida para índios, ribeirinhos e moradores de cidades próximas como Santarém e Itaituba (PA), o rio Tapajós abriga uma biodiversidade única de animais e plantas que são protegidos por 10 Unidades de Conservação e 19 Territórios Indígenas na bacia – dos quais apenas quatro foram homologados⁷³. É uma área prioritária para a conservação da Amazônia e para a proteção de culturas tradicionais e povos indígenas. Esse mesmo rio é considerado a mais recente fronteira hidrelétrica do Brasil.

No Tapajós e em seu afluente, o rio Jamanxim, está planejada a construção de um complexo hidrelétrico, formado por cinco usinas. Na maior delas, a de São Luiz do Tapajós, prevê-se a capacidade instalada de 8.040 MW ⁷⁴. Além disso, outros 42 projetos de hidrelétricas de médio a grande porte estão previstos ou já estão em construção em toda a bacia⁷⁵.

A usina de São Luiz do Tapajós alagaria parte do território ancestral do povo indígena Munduruku, inundando 376 quilômetros quadrados de florestas, o que inclui

parte da Terra Indígena (TI) Sawré Muybu e alguns locais sagrados para a etnia⁷⁶.

O projeto é inconstitucional e, além disso, o processo de licenciamento apresentou falhas e omissões graves. O Estudo e o Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), que apresentaram, dentre outros, um quadro distorcido da realidade sobre a biodiversidade local, acabam funcionando apenas como instrumento de marketing para o empreendimento. O consórcio responsável pelo EIA/RIMA não atendeu aos prazos previstos na legislação, o que levou, no dia 4 de agosto de 2016, ao arquivamento do processo de licenciamento ambiental pelo Ibama, que também apontou impedimentos legais e constitucionais em razão do componente indígena. Apesar do arquivamento do processo de licenciamento ambiental, projetos, como o de São Luiz do Tapajós, continuam sendo uma ameaça à região e às suas populações. Para esse projeto, nunca houve consulta livre prévia e informada às populações locais, notadamente ao povo Munduruku, conforme prevista na Convenção 169 da OIT.

Populações de peixes endêmicas dizimadas, deslocamento forçado da população local, áreas inundadas, desmatamento, inchaço populacional sem planejamento, tráfico de drogas, entre tantos outros, foram os impactos da construção das usinas no rio Madeira e da usina de Belo Monte, no rio Xingu⁷⁷. Os exemplos deveriam ter servido de lição para que o país rompesse com o velho modelo de expansão de energia.

Novas usinas hidrelétricas na Amazônia não são necessárias e é possível garantir energia sem destruir o meio ambiente e atropelar direitos humanos. Outras opções renováveis, como usinas eólicas, solares e a biomassa já podem substituir a usina de São Luiz do Tapajós com período de instalação e patamar de investimentos semelhantes⁷⁸.



© Otávio Almeida/Greenpeace



79

Aneel (2016c).

80

Em 2013 foi realizado o primeiro leilão estadual exclusivo para a fonte solar, de iniciativa do estado do Pernambuco. Em 2014, foi o ano das primeiras contratações de usinas fotovoltaicas em leilões públicos federais.

81

Miranda, R. F. C.; Szklo, A. e Schaeffer, R. (2015).

82

Dias, Borotni e Haddad (2005).

83

Portal Brasil (2016).

84

EPE (2014b).

85

De acordo com o consumo de eletricidade registrado em 2014, em MME e EPE (2015a).

86

Greenpeace Brasil (2016b).

87

Fariello, D. (2012).

88

Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol) (2016).

89

Greenpeace Brasil (2016c).

Solar

A energia solar tem um potencial enorme no Brasil e pode gerar eletricidade, por meio de usinas fotovoltaicas e usinas de energia solar concentrada (CSP, na sigla em inglês para *Concentrated Solar Power*), ou energia térmica, para o aquecimento de água em coletores solares.

Uma das vantagens da energia fotovoltaica é ser aproveitável tanto em grande escala, por meio de usinas, como também em pequena escala, com placas nos telhados dos consumidores. Hoje, a maior usina solar no Brasil é a de Tubarão, em Santa Catarina, com potência instalada de 3.068 MW⁷⁹. Como os leilões públicos federais para a fonte solar começaram suas contratações apenas em 2014, nos próximos anos o número dessas usinas deve se multiplicar⁸⁰.

A geração fotovoltaica distribuída em pequena escala, também tende a se espalhar rapidamente. A micro e a minigeração passaram a ser uma possibilidade para os brasileiros a partir de 2012, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) autorizou que os consumidores gerassem sua própria eletricidade a partir de fontes renováveis.

Além de diminuir as contas de luz, a geração solar distribuída não compete com outras atividades em termos de área já que é incorporada em telhados de espaços já ocupados⁸¹. E ajuda o sistema elétrico, diminuindo a necessidade de linhas de transmissão e as perdas na distribuição de energia⁸².

O governo estima que o Brasil poderá ter 1,2 milhão de sistemas de geração distribuída conectados à rede até 2024⁸³. E, um total de 118 GW de potência instalada em sistemas de geração solar distribuída até 2050⁸⁴. Com essa capacidade instalada seria possível atender um quarto de todo o consumo atual de eletricidade do país ou todo o atual consumo residencial⁸⁵.

Algumas mudanças recentes na legislação e em políticas públicas ajudaram a incentivar a geração solar distribuída. Entre elas, está a retirada da cobrança PIS-Cofins e a decisão do Confaz (Conselho Nacional de Política Fazendária) que autorizou os estados a retirarem a incidência do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) sobre a conta de luz do consumidor que gerava sua própria energia.

Com os devidos incentivos, como linhas de crédito subsidiadas e mecanismos de tributação diferen-

ciada, o país poderia aproveitar o imenso potencial que existe em seus telhados. O Greenpeace Brasil analisou, em um estudo, algumas medidas que facilitariam o acesso das pessoas a sistemas fotovoltaicos, tanto para residências quanto para comércios. O documento mostra que isentar de impostos alguns itens que compõem os sistemas fotovoltaicos, por exemplo, poderia baratear seus custos em cerca de 20%, e assim, impulsionar suas vendas. Isso aqueceria o mercado e iria gerar mais de 800 mil vagas de empregos diretas e indiretas nos próximos 15 anos⁸⁶. Além disso, permitir o uso do FGTS para a compra e instalação de sistemas fotovoltaicos aceleraria a difusão deles pelo país.

Comunidades isoladas que não têm acesso a eletricidade podem aproveitar a fonte solar por sistemas *offgrid*, ou seja, sem conexão com a rede elétrica, com painéis solares combinados com o uso de baterias. Em alguns casos, a energia solar substitui antigos geradores a diesel – poluentes e dependentes de um combustível fóssil caro e de acesso limitado. Hoje, cerca de 1 milhão de pessoas ainda não tem acesso à energia elétrica no Brasil⁸⁷. Os sistemas fotovoltaicos poderiam em muito contribuir para a melhoria da qualidade de vida dessa população.

Outra forma de gerar eletricidade é por meio de usinas de energia solar concentrada (ou CSP), que funcionam de modo similar às termelétricas. A energia térmica é obtida pela concentração de radiação solar, por meio de grandes espelhos ou calhas parabólicas. O calor é utilizado para gerar vapor, que movimenta as turbinas geradoras de eletricidade. Os maiores exemplos de projetos estão nos Estados Unidos e Marrocos.

As usinas CSP ainda não são utilizadas no Brasil, mas essa é uma tecnologia importante para a transição energética e irá ocupar espaço significativo na matriz elétrica do país em 2050. Essas usinas armazenam energia em forma de calor e terão a mesma função no sistema elétrico das usinas térmicas movidas a combustíveis fósseis. Serão, portanto, uma opção renovável para garantir energia “firme” ao sistema. E, junto com usinas movidas a biomassa, complementará a carga que será atendida por usinas eólicas e solares fotovoltaicas, fontes intermitentes.

O uso da energia solar para aquecimento já é bastante difundido. Nele, coletores captam o calor do sol para aquecer a água em um reservatório, onde fica armazenada para consumo posterior.

Essa aplicação é uma eficaz medida de eficiência energética porque diminui o uso de chuveiros elétricos, reduzindo a demanda de energia no horário de pico.

Em 2014, a geração solar térmica somou o equivalente a 7.354 GWh a partir de uma área total de 11,24 milhões metros quadrados de coletores solares instalados no país⁸⁸.

→ Um milhão de telhados solares

O Greenpeace Brasil acredita que o grande potencial da energia solar está nos telhados dos brasileiros. E defende a visão de que, com as devidas políticas públicas, é possível que o país tenha 1 milhão de telhados com sistemas fotovoltaicos até 2020.

Uma medida que poderia ser implementada para democratizar a energia solar é a liberação do uso do FGTS ao trabalhador para que ele possa investir esse recurso na instalação de painéis fotovoltaicos⁸⁹.

É necessário também criar linhas de financiamento mais adequadas para pessoas ou empresas que desejam adquirir um micro ou minissistema e revisar a política tributária para a fonte.



© Paulo Pereira/Greenpeace



© Otávio Almeida/Greenpeace

- 90

Aneel (2016b).
- 91

Greenpeace International (2015b).
- 92

REN21 (2015).
- 93

REN21 (2015).
- 94

Aneel (2016c).
- 95

WEG (2015); Portal SEGS (2015).
- 96

Potencial estimado *onshore*, não considera aproveitamentos *offshore*.
- 97

MME e EPE (2015a).
- 98

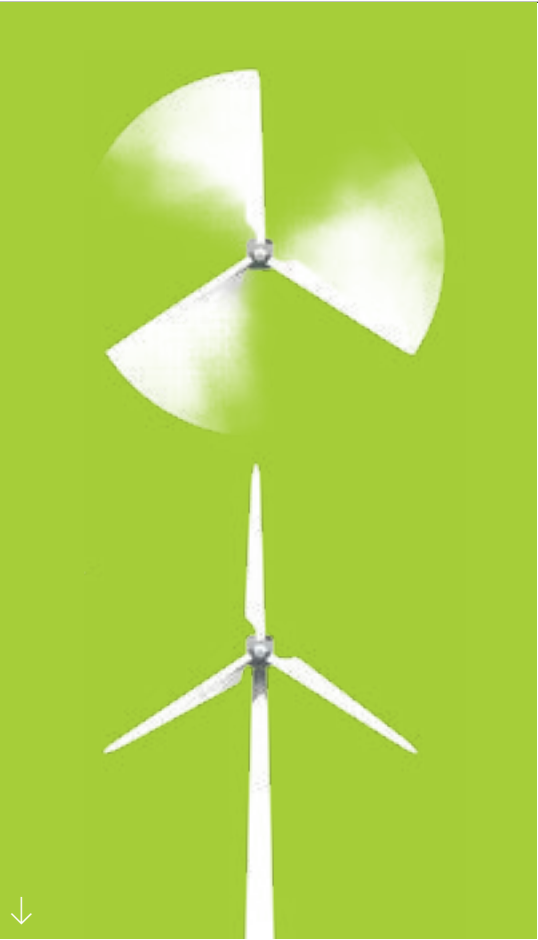
REN21 (2015).
- 99

WEG (2015).
- 100

Riscoti, J. F. C. e Sauer, I. L. (2013).
- 101

Riscoti, J. F. C. e Sauer, I. L. (2013); Amarante, O. A. C. do *et al* (2001).
- 102

Amarante, O. A. C. do *et al* (2001).



Eólica

Nas últimas duas décadas, a energia eólica cresceu no mundo mais rapidamente que todas as outras fontes na geração de eletricidade⁹¹ e tem atraído boa parte dos investimentos em renováveis. Em 2004, o mundo tinha 48 GW instalados em energia a partir dos ventos. Dez anos depois, 370 GW⁹².

O país com maior capacidade instalada é a China, seguida dos Estados Unidos e da Alemanha. O Brasil figura atualmente em 10º lugar, com 8,7 GW instalados, o equivalente a cerca de 6% de todas suas usinas⁹³. Outros 9,2 GW de energia eólica já estão em construção por aqui – já iniciadas ou prestes a se iniciar⁹⁴. Atualmente, o Brasil explora seu potencial eólico – estimado em cerca de 500 GW^{95/96} – em usinas *onshore*, ou seja, localizadas em terra. As usinas no mar (*offshore*) ainda não são utilizadas no país, já que o potencial em terra é enorme.

Em 2014, a energia eólica representou 2% de toda geração de eletricidade brasileira⁹⁷ e, em termos de investimentos anuais, o país ocupou a 4ª posição⁹⁸ do mundo. Com o ritmo de contratação e entrega dos novos projetos, essa participação deve crescer para cerca de 10% já em 2020⁹⁹. A fonte já é uma

→ Usar o sol para gerar a própria energia

Desde 2012, com a aprovação da Resolução Normativa nº482 da Aneel, 2.493 sistemas de micro e minigeração somando 22 MW de potência instalada⁹⁰ já foram ligados às distribuidoras.

Agora, quem tem um sistema de geração próprio pode trocar com a rede o excedente de eletricidade que produzir. Ou seja, a sobra se converte em um crédito para ser abatido da conta de luz seguinte. Foi um passo fundamental para o fortalecimento da energia solar no Brasil.

Em 2015, uma nova norma foi editada: a Resolução Normativa 687. As alterações trazidas por ela incluem a permissão para que diversas pessoas se organizem para instalar um sistema conjuntamente e partilhar os descontos em suas contas de luz. Isso pode ser aplicado, por exemplo, em condomínios ou por grupos de pessoas em localidades diferentes, desde que na mesma área de concessão da distribuidora de energia.

das opções mais baratas para a geração de eletricidade no país¹⁰⁰.

Outra vantagem é ser complementar à geração hidrelétrica¹⁰¹: nos períodos em que a geração hidrelétrica é menor, a geração eólica é maior. A operação conjunta de eólicas e hidrelétricas traz maior controle e estabilidade ao sistema elétrico. A eólica permite que as hidrelétricas armazenem água nos reservatórios para gerar energia em momentos críticos, evitando o acionamento das térmicas¹⁰². Por isso, aumentar o parque gerador eólico no país combina com o perfil de usinas hidrelétricas que foi construído nas últimas décadas.

Recentemente, para a contratação de novas usinas eólicas nos leilões, passou a ser exigida a garantia de conexão em linhas de transmissão. Além de ser um entrave para o crescimento da fonte, isso transfere a responsabilidade e os riscos, que antes eram do setor de transmissão, para o setor de geração.

↗ Salvaguardas socioambientais em relação à energia eólica

O Greenpeace apoia o desenvolvimento da energia eólica *onshore* e *offshore* e considera que investir na fonte será essencial para que o Brasil tenha sua energia 100% renovável no futuro. No entanto, a expansão da fonte deve vir acompanhada de uma real análise sobre os potenciais impactos sociais e ambientais.

Novas usinas eólicas não devem ocupar regiões protegidas ou sítios arqueológicos e devem evitar regiões sensíveis, como dunas de areia. Seu projeto de construção deve proteger, ouvir e respeitar a população local em relação aos impactos, incluindo os visuais e sonoros.

A perturbação sobre a fauna precisa ser continuamente monitorada, e as devidas ações de mitigação definidas e adotadas. Hoje, boa parte das regiões com grande potencial eólico ainda não possui informações sobre ocorrência de espécies, criando a necessidade de ir além dos estudos de avaliação

Biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica animal ou vegetal, incluindo resíduos agrícolas e florestais; a cana-de-açúcar e seus produtos, como o etanol; o biodiesel, produzido hoje majoritariamente a partir da soja e do sebo bovino; além da lenha, do carvão vegetal e também o biogás, hoje aproveitado em aterros sanitários.

Atualmente, mais de 1/4 da demanda energética do país é suprida pela biomassa, a partir dos produtos da cana (15,7%), da lenha e do carvão vegetal (8,1%) e de outros insumos (4,7%)¹⁰⁶. Na indústria, a fonte supre cerca de 39% do consumo energético do setor e, nos transportes, os biocombustíveis representam 17,5% do consumo total de energia¹⁰⁷.

Na geração de eletricidade, a participação da biomassa é atualmente de 8,4%, sendo o bagaço de cana o principal insumo, presente em cerca de 80% da capacidade instalada de todas as usinas termelétricas a biomassa¹⁰⁸. Estudos indicam que ainda há um potencial de bagaço de cana disponível, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, que poderia gerar cerca de 141 TWh por ano¹⁰⁹ – o equivalente a uma vez e meia a geração da usina hidrelétrica de Itaipu.

de impacto ambiental¹⁰³. No caso das turbinas *offshore*, o potencial impacto à vida marinha e alteração do habitat de certas espécies, como mamíferos marinhos e aves, também devem ser considerados e minimizados.

É necessário planejar a expansão de energia eólica, produzindo mapas que identifiquem as regiões sensíveis, com maior rigor nos processos de licenciamento¹⁰⁴, tornando a legislação mais clara sobre as especificações e procedimentos mínimos necessários para avaliações de pré e pós-instalação das usinas eólicas, além de estabelecer medidas de mitigação dos impactos, como a redução da rotação das turbinas, por exemplo¹⁰⁵.

É importante mencionar o uso da biomassa em plantas de cogeração, ou seja, usinas que combinam a geração de energia térmica e de eletricidade (em inglês, *Combined Heat and Power* ou CHP). Nessas plantas, pode-se usar resíduos de biomassa, principalmente de processos industriais, como o bagaço de cana que sobra da produção de álcool e açúcar, ou o licor negro da produção de celulose. Esses insumos fazem a geração combinada de calor e eletricidade, trazendo ganhos de eficiência energética e contribuindo para a redução das emissões de gás carbônico¹¹⁰.

O biogás também pode ter um papel importante no fornecimento de energia. É obtido a partir da decomposição de alguns tipos de matéria orgânica como resíduos agrícolas, madeira, bagaço de cana-de-açúcar, esterco, cascas de frutas e restos animais e vegetais. Em comunidades isoladas, representa uma alternativa para aproveitar resíduos agrícolas das próprias atividades locais em substituição aos poluentes geradores a diesel.

Também é possível obter biogás a partir de aterros sanitários e do tratamento de esgoto. É uma boa opção para lidar com o problema da disposição dos

- 103

Valença e Bernard (2015).
- 104

Hoje, grandes parques eólicos podem ser fracionados e se beneficiar da opção do Relatório Ambiental Simplificado (RAS), com menos informações.
- 105

Valença e Bernard (2015).
- 106

MME e EPE (2015a). Outros usos de resíduos de biomassa também são considerados na matriz energética brasileira sob a categoria "Outros", que em 2014 representaram 4,7% da oferta de energia.
- 107

MME e EPE (2015a).
- 108

MME e EPE (2015a).
- 109

Portugal-Pereira *et al* (2015).
- 110

Henriques Jr., Dantas, F. e Schaeffer, R. (2010).

111

Biogás Energia
Ambiental S/A (2016).

resíduos urbanos. No Brasil, um exemplo do uso do biogás para gerar energia é o Aterro Bandeirantes, em São Paulo, onde o gás é utilizado em uma usina com capacidade instalada de 20 MW e que gera energia suficiente para abastecer cerca de 400 mil habitantes¹¹¹.



↓ Salvaguardas ambientais para o uso da biomassa para fins energéticos

Para a transição rumo a um futuro 100% renovável em 2050, a biomassa terá um papel muito importante. Poderá substituir combustíveis líquidos nos transportes, como diesel e gasolina, atenderá alguns usos finais na indústria e também gerará eletricidade de modo controlável, ao lado de outras fontes renováveis. O Greenpeace defende que é necessário seguir critérios e ter políticas adequadas para o uso dessa fonte, a fim de assegurar seus benefícios ambientais, climáticos e sociais.

A produção de biomassa para uso energético não pode ser feita em áreas com alto valor de conservação, nem causar a destruição direta ou indireta da floresta, ou a conversão ou degradação de área florestal e de outros ecossistemas importantes. Também não deve trazer impactos negativos sobre a biodiversidade, a fertilidade do solo e os recursos hídricos. O uso da biomassa de madeira só pode ser considerado se comprovada sua origem em áreas com manejo florestal responsável por meio de certificação auditada.

A produção da biomassa deve respeitar o meio de vida das pessoas, sem substituir a plantação de alimentos ou causar conflitos sociais. Terras Indígenas, Unidades de Conservação e territórios de populações tradicionais devem ser preservados. E essas comunidades devem ter o direito de consulta livre prévia e informada garantido antes de qualquer atividade em suas terras. Os direitos trabalhistas também devem ser respeitados, e o uso de mão de obra análoga à escrava e infantil, entre outros, deve ser combatido, de acordo com os padrões da OIT.



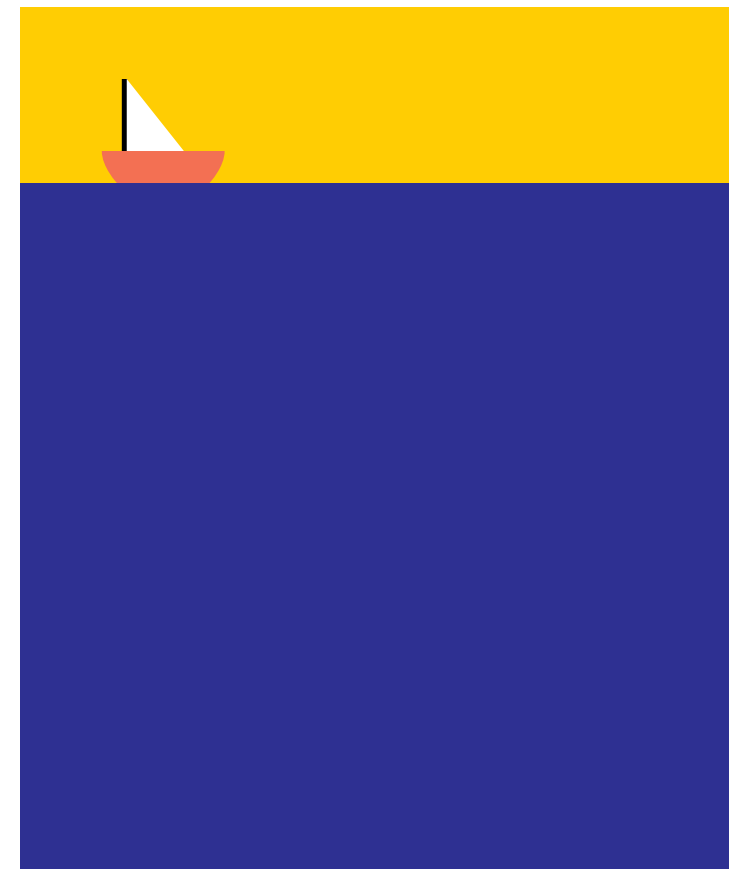
Energia oceânica

A energia dos oceanos é uma fonte ainda pouco explorada, mas com o potencial de abastecer uma importante parcela do consumo de eletricidade no mundo. Tem elevada disponibilidade e não emite gases de efeito estufa. Já foram desenvolvidas tecnologias para aproveitar a energia das marés, das ondas, das correntes, das diferenças de temperatura e, ainda, da salinidade do mar. Algumas estão com protótipos já implementados em larga escala.

O Brasil possui a primeira usina de ondas da América Latina, localizada na área do porto de Pecém, no Ceará. Com 100 kW de potência instalada e construída com tecnologia nacional, já gera energia em modo experimental e deve estar pronta para funcionamento até 2020. Estima-se que o custo do projeto seja de R\$ 18 milhões¹¹².

O Greenpeace defende o uso da energia oceânica, mas com estudos para que os impactos aos ecossistemas e habitats marinhos sejam analisados, considerados e minimizados. Alguns estão relacionados à instalação de cabos de transmissão submarinos, outros, relacionados a processos de erosão e deposição de sedimentos no litoral durante a construção de usinas. Além disso, a construção de barragens para aproveitar a energia das marés pode causar alterações na turbidez e nos padrões de fluxo da água e resultar em mudanças significativas em habitats e em populações de peixes e aves.

112

Pensamento Verde
(2014).

→ Outras fontes de energia

O [R]evolução Energética também considera outras fontes e tecnologias, como o hidrogênio, o próprio calor do ambiente e o calor residual de diversos processos.

Ainda que contribua para o fornecimento de energia apenas de forma marginal, no cenário proposto pelo Greenpeace Brasil, o hidrogênio será introduzido a partir de 2045 como um substituto ao gás natural na geração de eletricidade. E será utilizado na indústria e nos transportes – no modo rodoviário em ônibus urbanos.

A produção do hidrogênio virá do processo de eletrólise, o que, por sua vez, demandará um adicional de eletricidade, inteiramente suprido por fontes renováveis, principalmente eólica e solar.

O cenário [R]evolução Energética também emprega o uso da energia do próprio ambiente – por meio de bombas de calor – e o aproveitamento do calor residual dos processos energéticos, principalmente na indústria. O calor aproveitado pode ser empregado no aquecimento para água ou ambientes e ser utilizado em conjunto com outras tecnologias de aquecimento.

O setor elétrico no [R]evolução Energética

O [R]evolução Energética prevê que a demanda de eletricidade no Brasil crescerá 72% até 2050, passando dos atuais 500 TWh para 860 TWh. Isso acontecerá devido ao crescimento econômico – que traz consigo um aumento na demanda por energia –, e também, à substituição da queima de combustíveis pelo uso da eletricidade em diversos setores, principalmente no setor de transportes¹¹³.

De modo geral, a eletricidade, que hoje representa 20% do consumo total de energia do país, passará a 45% em 2050 no cenário [R]evolução Energética, contra apenas 26% no cenário Base. Para se ter uma ideia, no cenário [R]evolução Energética o setor de transportes – que hoje possui consumo praticamente nulo de eletricidade – terá, até a metade do século, 25% de seu consumo de energia vindo de eletricidade renovável.

O aumento da participação da eletricidade na demanda final de energia do país traz desafios e oportunidades para a atual infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, que precisará ser modernizada e se tornar mais eficiente e inteligente.

O fornecimento de energia elétrica contará cada vez mais com fontes renováveis ao longo dos anos até alcançar 100% em 2050. As usinas hidrelétricas – restritas a pouco mais do que a atual capacidade instalada – seguirão sendo a principal fonte da eletricidade no Brasil, mas com participação reduzida dos atuais 65% para 45%, em 2050.

As fontes eólica, solar e biomassa – chamadas de “novas renováveis” – ganharão mais espaço, com participação fundamental porque, além de serem limpas e de baixo impacto socioambiental, diversificam e trazem mais segurança energética para o

Brasil. Fontes pouco utilizadas hoje, como a energia oceânica e o hidrogênio, também contribuirão, mas em escala muito menor. Ao mesmo tempo, as usinas nucleares de Angra 1, Angra 2 e Angra 3 serão descomissionadas até serem totalmente excluídas da geração em 2050. Isso também acontecerá com todas as termelétricas que usam combustíveis fósseis.

O [R]evolução Energética também analisou como será o funcionamento, hora a hora, dessa matriz elétrica 100% renovável em 2050. E os resultados mostraram que é possível aumentar significativamente a geração das fontes intermitentes, como a solar fotovoltaica e a eólica, e garantir a demanda de energia do país, inclusive nos momentos mais críticos.

De acordo com os resultados apresentados no cenário [R]evolução Energética, haverá uma grande expansão da energia solar com usinas fotovoltaicas e com geração em telhados residenciais. No cenário proposto, na metade deste século, a capacidade instalada de usinas fotovoltaicas, incluindo os sistemas de geração distribuída, será de 100 GW no país, principalmente no Sudeste – onde há grande demanda de carga – seguido das regiões Nordeste e Centro-Oeste.

A capacidade instalada das usinas eólicas também aumentará substancialmente até atingir 85 GW em 2050, com grande parte na região Nordeste, o que também demandará investimentos em novos sistemas de transmissão.

113

Atualmente, cerca de 80% de todo o consumo de energia do setor de transportes depende de combustíveis fósseis.

114

Principalmente entre 2014 e 2015.

115

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2016).

116

MME e EPE (2014, 2015a).

117

No Brasil, a eletricidade é negociada nos chamados ambientes de contratação regulada e livre. No mercado regulado, as empresas distribuidoras compram eletricidade por meio dos leilões públicos, que definem o preço de compra. No mercado livre, os preços são negociados livremente e oscilam, ficando mais caros quando usinas térmicas, mais caras, são utilizadas.

118

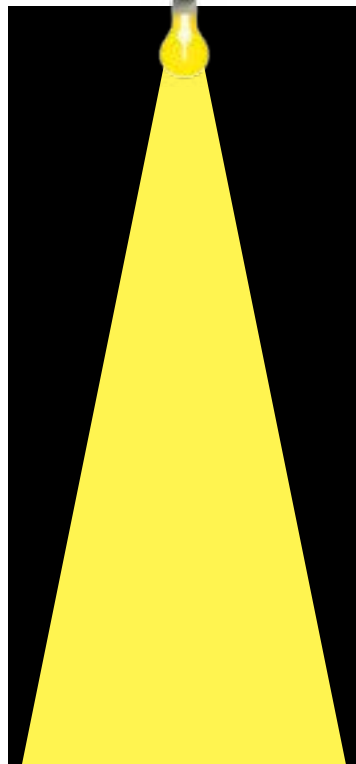
Aneel (2016a).

119

Greenpeace Brasil (2015a).

120

Cálculos feitos com base nos dados de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (2016) e EPE (2014a).



→ O que o Brasil não aprendeu com o apagão de 2001

Nos últimos anos¹¹⁴, o Brasil tem enfrentado uma nova crise no setor elétrico. Um período de seca prolongado levou a níveis extremamente baixos os reservatórios das usinas hidrelétricas – piores do que à época do apagão de 2001¹¹⁵. A participação da principal fonte de eletricidade do país diminuiu 5% em apenas um ano¹¹⁶.

Ao contrário do que aconteceu em 2001, o racionamento de energia não foi decretado, já que muitas indústrias pararam sua produção e houve uma desaceleração econômica. Além disso, desde a crise do apagão, o governo brasileiro instalou um elevado número de termelétricas a combustíveis fósseis. As usinas, programadas para operar somente em períodos críticos, permaneceram ligadas por quase dois anos ininterruptos.

Essa escolha equivocada custou caro para os brasileiros. Com o acionamento das térmicas, o preço da eletricidade no mercado livre¹¹⁷ disparou, e as empresas distribuidoras expostas a este mercado tiveram de arcar com o custo, que foi gradativamente repassado às contas de luz do consumidor. Entre 2013 e 2015, a tarifa média residencial de eletricidade no Brasil subiu 72%¹¹⁸.

No começo de 2015, também passaram a valer as chamadas bandeiras tarifárias (verde, amarela ou vermelha). Elas indicam se a geração de eletricidade está custando mais ou menos em determinado mês e a necessidade, ou não, de repassar os custos extras ao consumidor. Como muitas usinas termelétricas foram acionadas em 2015, a bandeira vigente durante todo esse ano foi a vermelha. Quase R\$ 6 bilhões foram desembolsados pelos brasileiros para pagar esses custos extras¹¹⁹. Para efeito de comparação, com esse valor seria possível instalar cerca de 1,5 GW em usinas eólicas, que poderiam abastecer 3 milhões de residências¹²⁰.

© Otávio Almeida/Greenpeace



MATRIZ ELÉTRICA NO CENÁRIO [R]EVOLUÇÃO ENERGÉTICA EM 2050



100% de fontes renováveis: toda a geração de eletricidade será renovável. As fontes eólica e solar (fotovoltaica e concentrada) ganharão espaço, e a biomassa terá papel importante para garantir energia firme ao sistema elétrico. As hidrelétricas ainda terão grande participação na geração, mas funcionarão de modo flexível, complementando a demanda quando esta não for suprida pelas fontes solar fotovoltaica e eólica. Todas as termelétricas fósseis e nucleares serão descomissionadas até a metade deste século.

Diversificada: a matriz elétrica será diversificada e, portanto, menos dependente das hidrelétricas e suscetível aos regimes hidrológicos. Para isso, a participação de algumas fontes renováveis, como solar e eólica, aumentará significativamente. Novas fontes, como oceânica e hidrogênio, serão incluídas.

Descentralizada: a geração de eletricidade não virá apenas de grandes usinas e parte dela será produzida de forma descentralizada. O consumidor terá papel importante como gerador de sua própria energia. Esse modelo trará ganhos de eficiência, reduzirá perdas na transmissão e distribuição da energia e transformará a lógica de geração e consumo do país, dando mais independência e trazendo ganhos econômicos à população.

A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MATRIZ ELÉTRICA 100% RENOVÁVEL

A integração cada vez maior de fontes renováveis na matriz elétrica do Brasil demandará medidas que permitam gerenciar e combinar a geração de fontes com características diferentes, algumas com maior controle e outras com menor previsibilidade, como a energia solar fotovoltaica e a eólica.

A forma como a eletricidade é gerada, transmitida, distribuída e consumida hoje deverá ser diferente no futuro. O economista Jeremy Rifkin caracteriza esta transição como Terceira Revolução Industrial¹²¹. Ele afirma que as redes inteligentes de energia influenciarão todas as facetas de nossas vidas: residências, escritórios, indústrias e os transportes, que se comunicarão compartilhando informações e energia ininterruptamente. As redes inteligentes serão conectadas a mudanças de tempo e eventuais falhas do sistema, permitindo o ajuste contínuo do fluxo de eletricidade. Milhões de edifícios e residências vão gerar energia renovável e compartilhar o excedente com a rede elétrica. Essa infraestrutura fornecerá energia a veículos elétricos, por exemplo¹²².

O Brasil deve investir nas seguintes medidas para implementar um sistema elétrico inteligente e que seja compatível com um futuro de energia 100% renovável e com a nova lógica de gerar e consumir energia:

1

Avanços na Tecnologia da Informação: que permitam monitoramento e aumento do conhecimento sobre a disponibilidade dos recursos energéticos e a previsibilidade da geração elétrica. Esta evolução é importante principalmente para fontes intermitentes, como a eólica, pois garante um direcionamento correto para a programação do despacho de eletricidade no sistema e o uso de usinas complementares ou de *backup*. Também é fundamental para gerenciar dados em tempo real sobre a demanda, garantindo o atendimento ótimo diante das opções de geração disponíveis no momento.

121

Rifkin, J. (2012).

122

Rifkin, J. (2012).

2

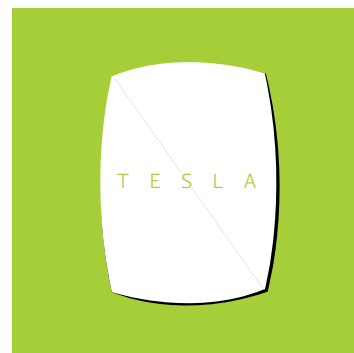
Redes inteligentes: para balancear as demandas de energia nas diversas localidades e horários com a geração das distintas fontes, que também é diferente entre regiões e períodos. Além de compatibilizar o fornecimento com a demanda, é capaz de garantir a qualidade adequada da energia (voltagem e frequência) e suportar situações extremas e de estresse no sistema, como interrupções repentinas no fornecimento. É importante que o consumidor tenha acesso às informações dessa nova rede por meio de medidores inteligentes que mostrem o consumo diário de cada estabelecimento e que avisem automaticamente a distribuidora quando há falhas no atendimento. Essas tecnologias já estão disponíveis, mas precisam ser disseminadas mais rapidamente.

3

Gerenciamento da demanda de eletricidade: para um funcionamento mais eficiente do sistema elétrico no futuro e para que se direcione o consumo de eletricidade para determinados períodos e evitá-lo em outros. Esse deslocamento de demanda pode ser aplicado em todos os setores e ser obtido, por exemplo, por meio de incentivos financeiros, como tarifas mais baratas em certos horários e mais caras em horários de pico. Dessa forma, seria possível direcionar o carregamento de carros elétricos para momentos em que a demanda no sistema é baixa e há “sobras” de eletricidade, como de madrugada.

4

Armazenamento de energia: o Brasil já construiu um grande número de hidrelétricas com reservatórios que funcionam como baterias controláveis e naturais de eletricidade. Outra opção é a adoção de usinas solares concentradas. Nessas é possível armazenar o calor do sol em fluidos para serem usados quando há demanda. Outra opção vantajosa serão usinas “híbridas”, que combinem duas fontes de geração, como usinas solares concentradas que também utilizam a biomassa quando a fonte solar não está disponível¹²³.



→ As novas baterias que chegam ao mercado

As baterias Powerwall, da fabricante de automóveis Tesla, foram lançadas em 2015, para armazenar energia em pequena escala, basicamente para uso doméstico e empresarial. O mundo ficou surpreso porque seu preço é relativamente acessível, e ainda deve baixar nos próximos anos.

Essas baterias tornaram possível o armazenamento da energia gerada em casas e edifícios. Permitem, ainda, que consumidores gerenciem seu consumo de forma mais eficiente, sem depender tanto das condições climáticas

No Brasil, os sistemas de micro e minigeração como painéis fotovoltaicos são conectados à rede elétrica, de modo que o consumidor não fica sem energia se o sistema não funcionar. Já para sistemas em áreas rurais ou comunidades isoladas, baterias são necessárias para garantir que esses usuários tenham controle e independência de seu consumo energético.

A bateria Powerwall é apenas um exemplo de inovação tecnológica. A expectativa é de que, cada vez mais, vejamos tecnologias como essa, desenvolvidas para tornar o consumo de energia melhor e mais inteligente.



© Fábio Nascimento/Greenpeace



© Otávio Almeida/Greenpeace

Eficiência energética



A eficiência energética pode ser traduzida como um melhor aproveitamento da energia utilizada para uma determinada finalidade. Processos e tecnologias são mais eficientes quando utilizam menos energia para atender uma demanda da sociedade por serviços como iluminação, aquecimento, transportes e processos industriais. Investir em eficiência é tão importante quanto desenvolver uma matriz energética que inclua mais fontes renováveis, já que os ganhos permitem redimensionar toda a demanda.

Segundo a edição global do [R]evolução Energética, lançada em 2015 pelo Greenpeace Internacional¹²⁴, o emprego de melhores práticas e tecnologias faria com que a demanda global de energia fosse reduzida em 47% até 2050.

Estima-se também que, entre 2015 e 2030, a melhoria da eficiência energética em todo o mundo poderia evitar a emissão de pelo menos 2,5 gigatoneladas de CO₂ e por ano¹²⁵. Medidas de eficiência evitam outros impactos ambientais ao pouparem a expansão de projetos necessários para a produção energética, como novas usinas e sistemas de transporte¹²⁶.

Além disso, estudos apontam que é mais barato investir em medidas de eficiência do que em novas infraestruturas para o atendimento de uma demanda sempre crescente¹²⁷. Nos últimos 25 anos, melhorias em eficiência energética já economizaram US\$ 5,7 trilhões no mundo todo¹²⁸. Segundo a consultoria internacional McKinsey, se até 2020 investirmos a cada ano US\$ 170 bilhões em eficiência energética, economizaríamos em energia o equivalente a até US\$ 900 bilhões por ano¹²⁹.

Há muitas oportunidades de eficiência energética no Brasil, e estas precisarão ser aproveitadas para que se consiga abandonar os combustíveis fósseis até 2050. O [R]evolução Energética analisou o potencial de eficiência energética em todos os

setores de consumo de energia no país – indústria, transportes, residencial, público, comercial e rural – e conclui que é possível chegar em 2050 com um ganho de 47% em eficiência energética. Em alguns casos, como no setor de transportes, a eficiência pode chegar a 61%.

Medidas de eficiência energética podem ser adotadas tanto em grande escala, na indústria, por exemplo, quanto em pequena escala, no dia a dia da população. Equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes e a economia de eletricidade resultam em benefícios econômicos diretos que são percebidos nas contas de luz. Outra possibilidade é a adoção da energia solar nas residências. Ao usar aquecedores solares, que reduzem o consumo de energia dos chuveiros ou instalar painéis fotovoltaicos, o cidadão estará contribuindo para a redução da demanda de eletricidade da rede nacional.

No Brasil, a eficiência média no segmento de geração de eletricidade caiu cerca de 12%, entre 1994 e 2008, devido ao maior uso de usinas térmicas movidas a combustíveis fósseis que passaram a ser acionadas após a crise do apagão de 2001¹³⁰. A piora na relação entre o uso de recursos naturais e a energia útil que se consegue tirar dos processos de transformação mostra que os esforços para a eficiência energética terão de vir de medidas que diminuam a demanda energética ao mesmo tempo em que se implementa a transição para um futuro 100% renovável.

→ **No cenário [R]evolução Energética, podemos chegar em 2050 com um ganho de 47% em eficiência energética.**

124 Greenpeace International (2015b).

125 Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em inglês, United Nations Environment Programme (UNEP) (2014).

126 Jannuzzi, G. M. (2015).

127 Goldemberg, J. *et al* (1994); IEA (2006) apud McKinsey Global Institute (2008); Jannuzzi, G. M. (2015).

128 IEA (2015b).

129 McKinsey Global Institute, 2008.

130 Santos, A. H. C. e Rodrigues, L. A., 2013.

131
Inmetro (2016); Santos, A. H. C. e Rodrigues, L. A. (2013).

132
Jannuzzi, G. M. (2015); Bajay, S. V. e Santana, P. H. de M. (2010).

133
Jannuzzi, G. M. (2015).

134
Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces) (2015); Jannuzzi, G. M. (2015).

POLÍTICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

No Brasil, a Lei de Eficiência Energética (nº 10.295/01) traz as principais diretrizes sobre o assunto. Nela, são previstos níveis máximos de consumo de energia e índices mínimos de eficiência para máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no país.

A Lei nº 9.991/2000 define a obrigatoriedade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Propostas semelhantes são encontradas no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) – que propõe a meta de 10% de eficiência energética até 2030 para o setor elétrico –, no Plano Nacional de Energia (PNE) e nos Planos Decenais de Energia (PDE).

Há também ações voltadas à implementação da eficiência energética, iniciados com o programa de eficiência para veículos do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), que logo se expandiu para o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e hoje abrange o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet)¹³¹.

Apesar do arcabouço de leis, planos e programas existentes, não há uma diretriz clara sobre a implementação das medidas no longo prazo, e tampouco metas condizentes com o potencial de eficiência já verificado nos diversos setores. Dessa forma ainda são necessários:

1

Metas de eficiência energética, para o uso de eletricidade e para os combustíveis, que sejam concretas e desagregadas nos diversos setores e por usos finais¹³²;

2

Padrões de eficiência mais rigorosos e obrigatórios;

3

Eliminação progressiva de tecnologias ineficientes ou obsoletas em diversos setores;

4

Uma política de investimentos em eficiência dentro do planejamento de longo prazo do setor energético¹³³;

5

Sistemas de financiamento para auxiliar pequenas empresas e consumidores a romper com a barreira de recursos para o investimento inicial;

6

Leilões de eficiência energética para incentivar investimentos e incluir diversos agentes no processo¹³⁴;

7

Repensar a lógica de uso de alguns serviços energéticos, como os transportes, que deveriam passar do individual ao coletivo de massa;

8

Adoção de práticas importantes, como o isolamento térmico adequado dos edifícios, e processos mais eficientes na indústria;

9

Incentivos tributários e financeiros à micro e minigeração renovável.



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

O setor industrial é responsável por aproximadamente um terço do consumo final de energia no país¹³⁵. Por essa razão, a eficiência energética no setor é essencial para reduzir o consumo e desperdício. O cenário [R]evolução Energética indica que esse setor pode ter ganhos de até 40% de eficiência energética em 2050. Os maiores potenciais de conservação de energia encontram-se nos usos finais de aquecimento direto (caldeiras e fornos), força motriz (motores) e calor de processo, nessa ordem.

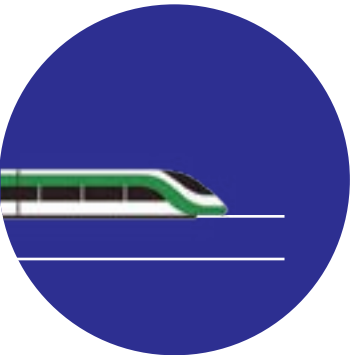
O Brasil tem a oportunidade de tornar sua indústria mais competitiva, reduzindo os custos de seus processos, o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa. Há, no entanto, algumas barreiras para aumentar a eficiência energética na indústria. As principais são os custos de substituir tecnologias em uso¹³⁶ e a falta de priorização do investimento para este fim¹³⁷. A falta de conhecimento e dificuldades de contratação de empréstimos e financiamentos para implantação de projetos de eficiência energética também são entraves significativos¹³⁸.

Para que a indústria nacional seja eficiente, competitiva e zere suas emissões de gases de efeito

estufa, são necessárias regulamentações e incentivos financeiros que alterem a dinâmica de mercado e introduzam tecnologias mais eficientes¹³⁹.

E, para que os investimentos sejam efetivos, as políticas precisam contemplar a energia térmica – que representa 80% do consumo industrial¹⁴⁰ – o que ainda não ocorre hoje¹⁴¹.

Normas de gestão de energia também poderiam ser utilizadas na indústria, especialmente nos segmentos com maior consumo, exigindo comparações de desempenho energético tanto dos equipamentos – como se faz com a etiqueta de eficiência do PBE, por exemplo – como de processos¹⁴².



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE TRANSPORTES

O setor de transportes, ao lado do industrial, é um dos grandes consumidores de energia no Brasil, representando cerca de um terço do consumo total¹⁴³. O [R]evolução Energética analisou todos os modos de transportes e calculou que o setor pode ganhar 61% de eficiência energética em 2050.

Para isso, além de melhorias nas tecnologias dos motores e da introdução dos elétricos, são necessárias transição modal e mudanças nos padrões de uso. Para o transporte de cargas, será importante a migração para o modo ferroviário, além de melhorias em eficiência logística, com o melhor aproveitamento das viagens. Para o transporte de passageiros, além da utilização de veículos com motores elétricos, a lógica do transporte individual deve ser substituída pelo transporte coletivo de qualidade.

São medidas que trazem ganhos econômicos e melhorias na qualidade de vida e saúde das pessoas. Significam a liberdade de ir e vir de modo confortável, econômico e menos poluente, e trazem um sistema logístico que melhora a distribuição das cargas por suas viagens, aumentando a competitividade das atividades econômicas do país.

135
MME e EPE (2015a).

136
Jannuzzi, G. M. (2015).

137
GVces (2015).

138
GVces (2015).

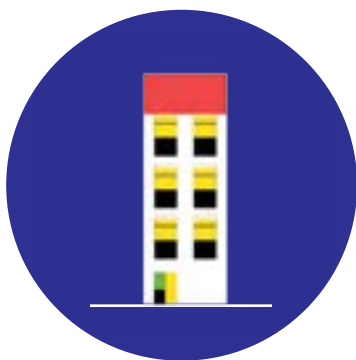
139
Jannuzzi (2015).

140
MME e EPE (2015a)

141
Bajay, S. V. e Santana, P. H. de M. (2010).

142
Bajay, S. V. e Santana, P. H. de M. (2010).

143
MME e EPE (2015a).



144
Centro Clima (2014).

145
Centro Clima (2014).

146
(Department of Energy) DOE e (U.S. Environmental Protection Agency) EPA (2016).

147
MME e EPE, 2015a.

148
MME e EPE, 2015a.

149
Prefeitura do Município de São Paulo (2011).

150
Lamberts, R., Dutra, L. e Pereira, F. O. R. (2014).

151
Lamberts, R., Dutra, L. e Pereira, F. O. R. (2014).

152
Lamberts, R., Dutra, L. e Pereira, F. O. R. (2014).

153
Santos, A. H. C. dos (2015).

EFICIÊNCIA DOS MOTORES DOS VEÍCULOS BRASILEIROS

O cumprimento de metas de eficiência energética e motores mais eficientes representam menos consumo de combustíveis e economia para o motorista, além de menos emissões de gases poluentes, que agravam problemas respiratórios e contribuem com o aquecimento global.

O Brasil está atrasado em relação à eficiência dos motores de seus veículos. A única meta de eficiência é voluntária: o Inovar-Auto, do governo federal. Em relação a veículos leves, a meta é alcançar 12% de eficiência até 2017 – equivalente a 1,82 MJ/km¹⁴⁴. Para efeito de comparação, a União Europeia já estabeleceu a meta de 1,22 MJ/km em 2021¹⁴⁵.

Somente motores eficientes não bastam. É necessário substituir aqueles a combustão interna pelos elétricos. Veículos elétricos convertem 60% da eletricidade em energia para as rodas, enquanto os convencionais com motores a combustão interna só convertem cerca de 20%¹⁴⁶.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS OUTROS SETORES

Juntos, os setores residencial, comercial, público e rural foram responsáveis por cerca de 16% do consumo total de energia no Brasil em 2014¹⁴⁷. Quando analisamos o consumo de eletricidade, esses setores (classificados como "outros setores") se tornam ainda mais expressivos, respondendo por cerca de 47% do consumo total¹⁴⁸, mas podem chegar em 2050 com 38% de ganho de eficiência energética, de acordo o cenário [R]evolução Energética.

Os principais potenciais de conservação de energia desses setores estão nos sistemas de iluminação, força motriz e aquecimento. Principalmente no setor residencial, há medidas de eficiência energética bastante simples que poderiam ser implementadas. Algumas dessas incluem:

A disseminação de tecnologias já acessíveis, como lâmpadas LED, que consomem menos energia, ou sensores de presença ou sensores fotocélula, que evitam lâmpadas acesas sem necessidade;

O maior uso da energia solar para geração de eletricidade, aquecimento e resfriamento com bombas de calor e ar-condicionado;

Substituição dos chuveiros elétricos por chuveiros com aquecimento de água pela energia solar. O potencial para reduzir energia nesse caso é enorme, já que 73,5% dos domicílios brasileiros utilizam eletricidade para essa função¹⁴⁹.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

Nos setores residencial, comercial e público, o consumo da energia se dá dentro de edificações, o que faz com que medidas de eficiência energética nestas sejam muito importantes.

Em 2009, foi lançada uma etiqueta voluntária para avaliar o consumo energético de edifícios, avaliando aspectos como a estrutura que envolve a construção e os sistemas de iluminação e de ar-condicionado. A eficiência energética do edifício é classificada entre A e E (do mais para o menos eficiente)¹⁵⁰.

É possível reduzir o consumo de energia nos edifícios com a adequação do projeto à utilização de luz natural e com o resfriamento e aquecimento passivo dos ambientes, ou seja, aproveitando as condições naturais e a ventilação do local onde está a edificação. Os projetos também podem usar a energia solar para a geração de eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos e para o aquecimento de água¹⁵¹.

Devem ser privilegiados materiais de construção que garantam isolamento térmico, como telhados e vidros adequados¹⁵². Telhados verdes são uma opção simples e barata. Além de visualmente

atraentes, ajudam a diminuir a temperatura interna do ambiente e, dessa forma, o uso do ar-condicionado.

Outra opção para a eficiência energética em edifícios é o uso de vidros fotovoltaicos nas fachadas. A tecnologia é economicamente viável no Brasil e tem a vantagem de permitir a geração de energia e a diminuição da necessidade de refrigeração¹⁵³.

Nos edifícios já construídos e com limitação para adequações de projeto, é possível realizar sua modernização (ou *retrofitting*).

Para mais medidas de eficiência energética, consulte a edição de 2013 do relatório [R]evolução Energética, disponível em www.greenpeace.org.br/revolucao



© Rogério Assis/Greenpeace

Transportes e mobilidade

O relatório [R]evolução Energética mostra que é possível reduzir o consumo energético do setor de transportes em 61% em relação ao cenário Base, e torná-lo 100% renovável. Para isso, o Greenpeace Brasil analisou todos os modos (dutoviário, aéreo, aquaviário, ferroviário e rodoviário), tanto para cargas quanto para passageiros. Considerou a inserção de opções não motorizadas, como o uso de bicicletas e caminhada, e a adoção de medidas de eficiência logística, para melhorar o transporte de cargas.

A conclusão é que o Brasil terá de investir em transferência modal. A participação das ferrovias para transporte de cargas, por exemplo, aumentará, em detrimento do transporte rodoviário e deverá incentivar a eficiência logística e energética. Também será necessário promover combustíveis menos poluentes e tecnologias que permitam que o setor de transportes utilize mais eletricidade como fonte de energia em vez de combustíveis líquidos.

Os investimentos feitos no transporte público para passageiros farão com que estes sejam mais limpos e também mais acessíveis, criando cidades mais inclusivas, igualitárias e que proporcionem mais qualidade de vida a seus habitantes. Mudar a forma como o transporte de passageiros nas cidades é pensado e planejado impactará no próprio planejamento urbano e como se dá a mobilidade urbana.

TRANSFERÊNCIA MODAL

Atualmente, o modo rodoviário é predominante nos transportes, com carros particulares, ônibus e caminhões tendo grande participação no transporte de cargas e de pessoas. Hoje, o transporte rodoviário é responsável por cerca de 91% do transporte total de passageiros e por cerca de 55% do transporte de cargas no Brasil¹⁵⁴.

A utilização de outros modais é fundamental, não apenas do ponto de vista ambiental, mas também

porque representa ganho econômico – o custo do frete ferroviário é metade do rodoviário¹⁵⁵. Apesar de os modos ferroviário e aquaviário serem mais eficientes e menos poluentes para o transporte de cargas, a participação de ambos ainda é muito baixa no Brasil.

No cenário [R]evolução Energética, a participação do transporte de cargas por meio de ferrovias aumentará, saindo dos 25% em 2014 para 46% em 2050. Enquanto isso, o rodoviário perderá espaço, passando dos atuais 55% para 28%¹⁵⁶. A transição modal, aliada à eficiência logística e a utilização de outras fontes de energia e tecnologias mais eficientes, torna possível uma redução de 76% do consumo energético total do transporte de cargas em relação ao cenário Base.

Também haverá melhorias em relação ao transporte de passageiros, no qual será possível alcançar uma eficiência energética de 51% em relação ao cenário Base. O uso de veículos individuais vai diminuir, e o uso do transporte público se fortalecerá a partir de soluções de mobilidade e planejamento urbano. Veremos o maior uso do modal ferroviário em detrimento do rodoviário e a intensificação da utilização de bicicletas e caminhadas – que juntas diminuirão em 6% a demanda do transporte que consome energia no modo rodoviário. Ainda assim, o modo rodoviário continuará predominante, com 79% de participação no transporte de passageiros em 2050.

154
Laboratório de Transportes de Cargas - LTC/ Programa de Engenharia de Transportes - PET/ Coppe/UFRJ (2016). Veja mais detalhes no capítulo de resultados.

155
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (s.d.).

156
O transporte dutoviário representará 2% e o aéreo 0,11%.



157 Santos, R. T. dos et al (2015).

COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS E ELETRIFICAÇÃO DO SETOR DE TRANSPORTES

No cenário [R]evolução Energética, a partir de 2035, os biocombustíveis tornam-se o principal insumo energético dos transportes, avançando a 75% de participação em 2050. Também há um forte crescimento do uso da eletricidade, que alcança 25% do setor – hoje, a participação da eletricidade nos transportes é praticamente nula.

Os biocombustíveis têm, portanto, papel importante nessa transição energética. O biodiesel é utilizado nos modos rodoviário, ferroviário e aquaviário, inicialmente como uma adição ao diesel, que chega a 20% em 2030, a 40% em 2035, a 60% em 2040, a 80% em 2045. Em 2050, finalmente, alcançamos os 100% de biodiesel. O etanol é utilizado no modo rodoviário e na aviação, tanto em mistura à gasolina quanto em sua forma pura.

O bio-óleo, tipo de biodiesel avançado, começa a ser utilizado no modo aquaviário a partir de 2025. Inicialmente, com 10% em uma mistura de diesel de petróleo, com participação progressiva até chegar em 100% de bio-óleo em 2050.

Já na aviação, é o bioquerosene que passa a ser inserido ao querosene a partir de 2025. Aos poucos ganhará espaço, até chegar em 2050 com tecnologias que utilizam 100% desse combustível renovável.

A grande mudança prevista pelo cenário [R]evolução Energética nos transportes é a adoção da eletricidade em larga escala no modo rodoviário e no ferroviário. Como a eletricidade do cenário será 100% renovável em 2050, a eletrificação de parte do setor de transportes significa que veículos, ônibus e trens serão abastecidos por energia limpa e renovável.

MOBILIDADE URBANA: UM NOVO JEITO DE PENSAR AS CIDADES

O sistema de transportes brasileiro enfrenta grandes desafios que remontam à histórica priorização de rodovias e carros. O que parecia ser uma resposta eficiente à necessidade de circulação levou às cidades grandes congestionamentos – com desperdício de tempo e combustível para os cidadãos –, além de problemas de poluição atmosférica, de ocupação do espaço público e emissão de gases de efeito estufa.

Reestruturar a mobilidade urbana demanda o en-

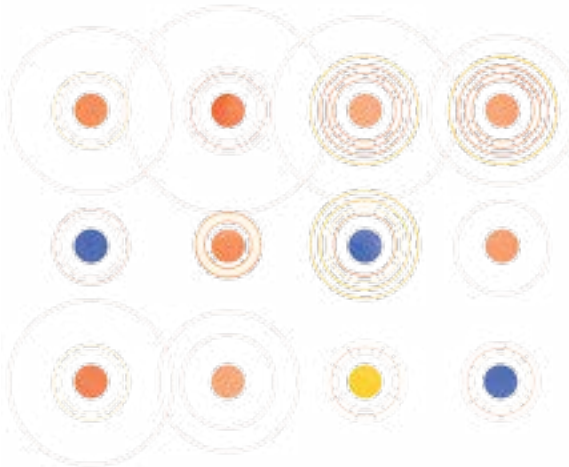
tendimento das cidades como um local de vivência e interação e não apenas como um espaço de traslado entre casa e trabalho, ou casa e escola. Também exige a compreensão sobre o motivo pelo qual as pessoas se deslocam e quais variáveis influenciam a escolha do cidadão.

Um estudo do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) indica que existe hoje um déficit de pelo menos 1.600 quilômetros na rede de transporte público nas 15 maiores regiões metropolitanas do Brasil. O custo de implementação dessa rede é estimado em, pelo menos, US\$ 80 bilhões¹⁵⁷.

Além de transformar a forma como as pessoas veem e vivenciam as cidades, as soluções em mobilidade urbana também têm o potencial de mudar valores. O automóvel individual, tido como símbolo de status e objeto de desejo de muitos, será cada vez mais obsoleto, até ser a última opção de uma longa lista de meios de transporte. Essa lista privilegiará os meios não motorizados, como andar a pé ou de bicicleta e os transportes coletivos de massa.

As chamadas cidades inteligentes (*smart cities*, em inglês) são aquelas que usam a tecnologia da informação para transformar a vida e o trabalho dentro de seu território. As tecnologias ajudam a solucionar problemas sociais, econômicos e ambientais, ao mesmo tempo que incluem o cidadão na participação e na construção de soluções e serviços.

→ **Reestruturar a mobilidade urbana demanda entender que as cidades são locais de vivência e interação, e não apenas um espaço de passagem.**



CIDADES POLICÊNTRICAS

A construção e o crescimento de muitas das metrôpoles foram guiados pelos interesses da especulação imobiliária, que afastou a população de menor renda do centro das cidades como consequência da elevação dos preços de moradia. Essa população mora nas periferias, mas tem de se deslocar diariamente para a região central, que concentra as oportunidades de trabalho. Assim, criou-se a necessidade de transposição de grandes distâncias por uma massa de empregados: o chamado movimento pendular. Esse é um dos problemas que levam a grandes congestionamentos e a necessidade de investimentos constantes em infraestrutura para o transporte.

Outra forma de planejar as cidades é pensá-las de forma policêntrica: em vez de concentrar empregos e serviços em uma única área, distribuí-los em diversas centralidades. Esse tipo de planejamento é uma importante ferramenta para lidar tanto com a questão dos deslocamentos, quanto da qualidade de vida dos cidadãos, que podem percorrer distâncias menores. Esse tipo de planejamento permite maior independência de veículos individuais e menor consumo de combustíveis fósseis.

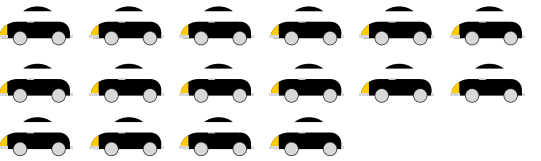
MOBILIDADE URBANA E JUSTIÇA SOCIAL

A mobilidade urbana se relaciona diretamente com a desigualdade. As estatísticas de deslocamento nas cidades analisam o tempo médio que a população gasta para ir e vir, e o quanto se move pela cidade. Em geral, a população de mais baixa renda se locomove na lógica do movimento pendular para trabalhar e raramente se desloca para aproveitar a cidade em opções de lazer – inclusive porque, muitas vezes, não consegue pagar pelas tarifas. Já a população com maior poder aquisitivo, faz diver-

sos deslocamentos diários e gasta mais tempo em viagens pela cidade por motivos de lazer do que para trabalho¹⁵⁸.

Segundo relatório do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), enquanto automóveis individuais funcionam como ferramenta de acentuação das desigualdades, os investimentos em transporte público aumentam a equidade de uma cidade¹⁵⁹. Com esses investimentos também seria possível aumentar em três vezes o acesso da população de baixa renda, e em duas vezes o acesso de pessoas de baixíssima renda ao transporte de alta capacidade, como trens e metrô¹⁶⁰.

Investir na transição para um transporte 100% renovável, ao mesmo tempo que transportes coletivos e não motorizados são priorizados, é uma ação com poder de reduzir as desigualdades sociais, diminuir gastos públicos, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e trazer melhorias significativas de qualidade de vida. Essa trajetória pode transformar as cidades em lugares melhores para viver, trabalhar e se divertir.



OS CUSTOS DA IMOBILIDADE URBANA

Os impactos e custos ocasionados pelos congestionamentos crescentes e pelo uso intensivo de combustíveis fósseis geralmente não são contabilizados quando o sistema de transportes é planejado. Se analisarmos os custos econômicos decorrentes de congestionamentos, a potencial redução de mortes e internações derivadas de acidentes de trânsito e da poluição atmosférica, fica fácil entender como uma melhor mobilidade urbana e um sistema de transportes mais limpo trarão benefícios.

Só na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a estimativa de custos dos congestionamentos chegou a R\$ 29 bilhões em 2013 – é o equivalente a 8,2% do PIB metropolitano¹⁶¹. Se não forem feitos novos investimentos na infraestrutura de transportes na região, esse valor pode chegar a R\$ 40 bilhões em 2022¹⁶². Já na Região Metropolitana de São Paulo, o valor é ainda maior: R\$ 69 bilhões em 2013. E, mesmo com os investimentos atuais, esse valor pode chegar a R\$ 120 bilhões em 2022¹⁶³.

158 Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) (2015).

159 Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP) (2014).

160 ITDP (2014).

161 Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (Firjan) (2014).

162 Firjan (2014).

163 Firjan (2014).

164
Associação Médica
Brasileira (AMB) (2015).

165
Envolverde (205).

166
Saldiva, P.H. N.
et al (2015).

167
Saldiva, P.H. N.
et al (2015).

168
ITDP (s.d.).

Esses cálculos consideram os impactos econômicos de uma população economicamente ativa presa nos congestionamentos, somados aos gastos extras com combustíveis. No entanto, existem outros custos associados aos congestionamentos, aos combustíveis fósseis e ao uso excessivo do automóvel individual.

Todos os anos, o trânsito mata cerca de 45 mil pessoas em colisões e atropelamentos¹⁶⁴. Em 35 anos, seriam mais de 1,5 milhão de vidas perdidas. A poluição atmosférica será a causa de 250 mil mortes nos próximos 15 anos no Brasil, segundo estudo da Universidade de São Paulo com o Instituto Saúde e Cidadania¹⁶⁵.

Já um estudo do Instituto Saúde e Sustentabilidade aponta que a redução do uso de combustíveis fósseis – com o aumento da participação do biodiesel no diesel de petróleo – pode evitar 13 mil óbitos e 28 mil internações nas regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro, entre 2015 e 2025¹⁶⁶. Nesse cenário, o custo evitado em gastos públicos com saúde seria de R\$ 65,5 milhões. Não gastaríamos R\$ 2,2 bilhões com a perda de vidas¹⁶⁷.

© Caio Paganotti/Greenpeace

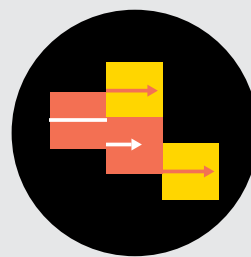


→ Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS)¹⁶⁸

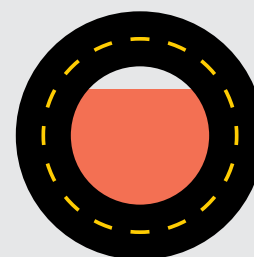
De acordo com o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS, do termo original em inglês *Transit Oriented Development*), estimula uma ocupação compacta nas cidades, com o uso misto do solo, com deslocamentos por distâncias curtas sendo feitos a pé e com a disponibilidade de estações de transporte de alta capacidade para deslocamentos mais longos.

Esse modelo significa maior adensamento populacional e possibilita deslocamentos menores. Bairros de uso misto, com áreas residenciais e comerciais, incentivam moradores a caminhar mais pelas ruas e impulsionam uma comunidade mais ativa. Além disso, a proximidade ao transporte público é fundamental para que, nos deslocamentos mais longos, as pessoas deixem de priorizar o veículo individual.

O conceito de DOTS pensa no uso do solo como uma forma de garantir que o caminhar, o uso da bicicleta ou do transporte público sejam mais convenientes e seguros. Na metodologia do ITDP, há oito princípios essenciais que orientam o DOTS e o planejamento urbano voltado para transportes sustentáveis:



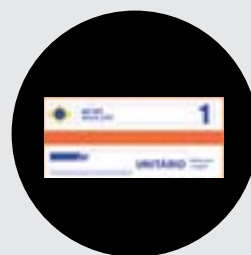
COMPACTAR Reorganizar regiões para encurtar viagens;



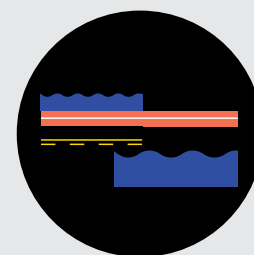
ADENSAR Aumentar a densidade no entorno das estações de transporte de alta capacidade;



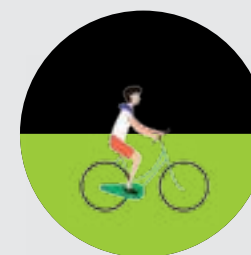
CONECTAR Criar redes densas e conectadas de vias e caminhos;



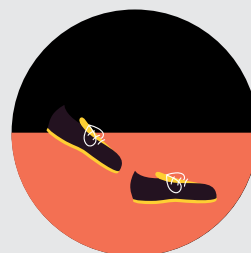
USAR TRANSPORTE PÚBLICO Oferecer sistemas de transporte rápidos, frequentes, confiáveis, integrados e de alta capacidade;



MISTURAR Estimular o uso misto do solo, para reduzir o número de viagens e estimular um cenário de rua mais vibrante;



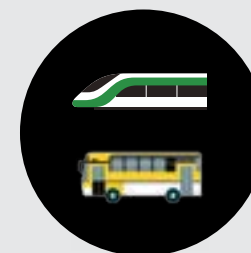
PEDALAR Dar prioridade ao uso da bicicleta;



CAMINHAR Criar ambientes que estimulem as pessoas a andar a pé;



MUDAR Promover mudanças para incentivar o uso de transporte público, à pé ou bicicleta.



Metodologia

Os cenários apresentados por este [R]evolução Energética foram elaborados pela equipe de Análises de Sistemas do Instituto de Engenharia Termodinâmica do DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* ou *German Aerospace Center*, em inglês), da Alemanha, referência mundial em cenários energéticos. A equipe do DLR também contou com a colaboração do Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Também se baseou em estudos construídos junto a instituições nacionais com reconhecido mérito em suas áreas.

Uma equipe do Laboratório de Transporte de Carga (LTC) da Coppe/UFRJ elaborou os cenários do setor de transportes. Já os de eficiência e transição energética para a indústria e outros setores foram formulados por uma equipe da International Energy Initiative (IEI) e do Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Por fim, a estrutura do cenário Base para energia e os cenários para eletricidade ficaram sob responsabilidade da equipe de pesquisa do Greenpeace Brasil.

Energética, que apresenta uma solução possível para que em 2050 o setor energético alcance 100% de energia renovável e zero emissões de gases de efeito estufa¹⁶⁹. Além disso, o cenário de eletricidade do [R]evolução Energética traz uma análise detalhada com uma resolução espacial e horária do atendimento da demanda pelas tecnologias renováveis que serão adotadas.

Considerou-se como premissas as taxas de crescimento demográfico e do Produto Interno Bruto (PIB) até a metade do século, as mais diversas tecnologias energéticas¹⁷⁰, seus potenciais disponíveis no país e os custos de implementação.

Os dois cenários são elaborados primeiramente com a projeção da demanda futura por energia e eletricidade no Brasil em todos os setores de consumo: transportes, indústria, residencial, comercial, público e rural. O crescimento populacional e o crescimento econômico são os principais vetores para a demanda¹⁷¹.

As projeções foram calculadas a partir de estimativas de taxas de crescimento do PIB até 2050 elaboradas pelo Banco Itaú¹⁷² e em projeções de crescimento populacional com dados do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, ou UNDP em inglês)¹⁷³ e do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)¹⁷⁴.

O cenário Base foi baseado nas tendências apresentadas em análises oficiais do governo brasileiro até 2050¹⁷⁵. Já o [R]evolução Energética considerou os potenciais de eficiência energética em todos os setores, elaborados pelas equipes nacionais da IEI e Unicamp¹⁷⁶ e do PET/Coppe/UFRJ¹⁷⁷ envolvidas no estudo.

As projeções de oferta de energia foram calculadas utilizando o modelo de simulação Mesap/PlaNet¹⁷⁸, também empregado nas edições anteriores do relatório [R]evolução Energética, bem como nas edições internacionais¹⁷⁹. O modelo calcula balanços energéticos para qualquer sistema de energia (regional e global) considerando também as emissões de gases

169

O cenário [R]evolução Energética é um cenário com um objetivo final definido (ou *target oriented*, em inglês), já que pressupõe 100% de energia renováveis em 2050. Portanto, ele não deve ser interpretado como uma “previsão” do futuro, mas como um caminho que é possível.

170

Tecnologias como a Captura e Sequestro de Carbono (CCS em inglês) não são consideradas. Veja mais sobre isso no Capítulo 2.

171

Veja as projeções do PIB no Anexo do relatório.

172

Itaú Unibanco (2015).

173

UNDP (2015).

174

IBGE (2013).

175

EPE (2014b).

176

Jannuzzi, G. M. e Jantim, H. (2016).

177

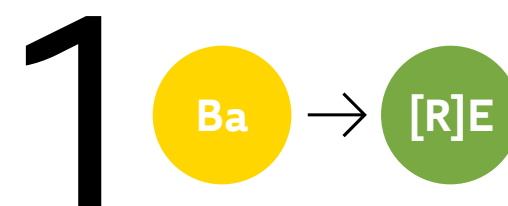
LTC/PET/Coppe/UFRJ (2016).

178

Energy PLAN (2016).

179

Greenpeace International (2015b) e edições anteriores.



CÁLCULOS DOS CENÁRIOS

Esta publicação apresenta a análise de dois cenários energéticos até 2050: (i) um cenário Base, que reflete a continuidade e a tendência de acordo com as políticas atuais e; (ii) o cenário [R]evolução

180
O modelo não utiliza uma abordagem de otimização de custos das diversas tecnologias para calcular a expansão do sistema energético. Em vez disso, utiliza uma definição exógena de objetivo e simula o balanço energético a fim de atingir a meta definida.

181
LTC/PET/Coppe/UFRJ (2016).

182
IEA (2014).

183
MME e EPE (2015a).

184
O modelo considera todas as opções de usinas de geração renováveis, além de sistemas de armazenamento, a produção de hidrogênio, veículos elétricos, medidas de gerenciamento da demanda e linhas de transmissão em corrente alternada e em corrente contínua.

185
LTC/PET/Coppe/UFRJ (2016).

186
Jannuzzi, G. M. e Jantim, H. (2016).

de efeito estufa associadas e os custos de investimento necessários para desenvolver a infraestrutura¹⁸⁰.

A expansão do uso das energias renováveis nos cenários se baseia nos potenciais já avaliados no país, as tendências tecnológicas recentes, os custos de sua implantação e projeções de mercado e da indústria das energias renováveis. No caso dos transportes, as tendências tecnológicas foram baseadas no trabalho desenvolvido pela equipe do Laboratório de Transporte de Carga / PET/Coppe/UFRJ¹⁸¹.

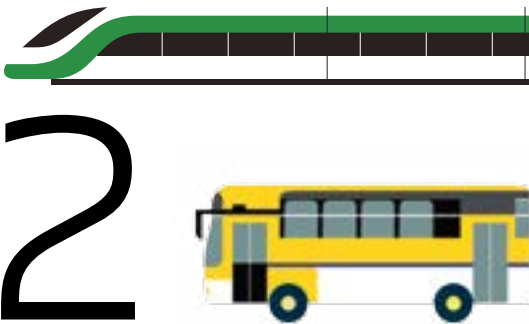
A estrutura geral dos cenários foi baseada nos balanços energéticos da Agência Internacional de Energia (AIE)¹⁸². O ano-base adotado como referência foi o de 2014 com os dados retirados do Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2015¹⁸³.

Os resultados do modelo Mesap/PlaNet para o setor elétrico foram complementados pelo uso do modelo REMix, desenvolvido no próprio Instituto de Engenharia Termodinâmica do DLR, que fornece uma análise detalhada do atendimento da demanda de eletricidade pela combinação de fontes renováveis empregadas na matriz energética em 2050.

O modelo REMix é um programa de otimização linear determinística, realizado no GAMS (*General Algebraic Modeling System*), que simula a interação em resolução horária e geográfica entre todas as tecnologias para geração, armazenamento e transporte de eletricidade disponíveis em 2050, determinando a configuração que garante o menor custo de operação do sistema¹⁸⁴.

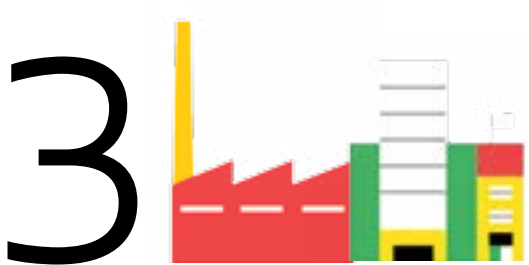
Por esse modelo é possível simular a necessidade do sistema de novas usinas de geração, linhas de transmissão ou capacidade de armazenamento, que são otimizados de acordo com os potenciais disponíveis no país e os próprios requisitos do sistema. Também são calculados os investimentos necessários para essas capacidades adicionais.

Para a aplicação do modelo à matriz elétrica brasileira, consideraram-se os padrões de consumo dos diversos setores, adotada uma divisão geográfica em sete sub-regiões, além de três pontos que representam grandes usinas hidrelétricas (Itaipu, Belo Monte e Teles Pires) e três pontos que representam interconexão dos sistemas de transmissão, mas que não apresentam consumo (*veja a figura da representação das regiões brasileiras no Capítulo 7 – Resultados*).



TRANSPORTES

Os cenários para o setor foram baseados nas análises do Laboratório de Transporte de Carga, da Coppe/UFRJ¹⁸⁵. Para a demanda em 2050, realizaram-se projeções de momento de transporte tanto para carga (t/km) como para passageiros (pass/km). E analisaram-se as transições modais. De modo geral, utilizaram-se duas abordagens para os cálculos e projeções: (i) uma *top-down* para os modos ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo, quantificando o consumo de energia e as emissões de CO₂ de forma agregada e considerando a eficiência energética, o consumo de combustíveis e seus fatores de emissão; (ii) e uma abordagem *bottom-up*, mais detalhada, para analisar o modo rodoviário, quantificando o consumo energético de forma desagregada, considerando informações como as características da frota atual e futura, a intensidade do uso dos veículos, sua eficiência e o consumo por tipo de combustível, bem como seus fatores de emissão.



EFICIÊNCIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA E OUTROS SETORES

A equipe da IEL e Unicamp¹⁸⁶ calculou para os principais segmentos industriais e para os outros setores (público, residencial, comercial e agropecuário) os potenciais de eficiência energética e a tendência para a transição rumo às fontes renováveis. Foi analisada a estrutura de consumo e rendimento tanto

para eletricidade como para energia térmica (combustíveis), de acordo com os distintos usos finais de cada um deles (iluminação, refrigeração, calor de processo, força motriz, eletroquímica e aquecimento direto), com base no Balanço de Energia Útil (BEU)¹⁸⁷ e em outros estudos.

Identificaram-se, então, as principais tecnologias utilizadas e calcularam-se os potenciais de conservação de energia para 2030 e 2050 para cada um dos usos finais, segundo estudos nacionais e internacionais que analisam as tendências tecnológicas e as melhorias nos processos de conversão de energia. Também foi estimada a redução do consumo de combustíveis fósseis pela substituição por fontes renováveis e o uso de eletricidade baseada nas possibilidades técnicas e determinação política para viabilizar as políticas públicas necessárias para a transição energética.

4

ESTIMATIVAS DE NÚMERO DE EMPREGOS

O cenário [R]evolução Energética traz uma estimativa sobre os postos de trabalho ligados à geração de eletricidade e às tecnologias de aproveitamento da energia térmica solar e de calor do ambiente. Esse cálculo teve como base a metodologia desenvolvida pelo Instituto para Futuros Sustentáveis (ISF) da Universidade Tecnológica de Sidney, na Austrália. A metodologia é aplicada desde 2008 nas edições internacionais deste relatório e também na última edição brasileira.

As estimativas utilizam fatores de empregos para cada uma das tecnologias energéticas. Como nem sempre há disponibilidade de dados para fatores de empregos nacionais, em alguns casos são utilizados fatores internacionais adaptados à realidade brasileira. Esses consideram a produtividade do trabalho no Brasil, ajustando o número de trabalhadores necessários às atividades, e o fator de declínio nos empregos para abarcar os avanços que acompanham as diversas tecnologias ao longo dos anos.

187
MME (2005).

188
Rutovitz, J. e Harris, S. (2012).

189
Greenpeace International (2015b).

Fazem parte do cálculo os segmentos de construção, fabricação e operação e manutenção (O&M) de usinas de geração de eletricidade, os empregos gerados na produção dos combustíveis e os ligados às tecnologias para aproveitamento da energia solar térmica e do calor do ambiente. A projeção é feita para o ano de 2030.

A metodologia detalhada para esses cálculos, os fatores de empregos e de ajustes utilizados podem ser consultados no trabalho de Rutovitz & Harris¹⁸⁸ e na edição mais recente do relatório [R]evolução Energética internacional¹⁸⁹.

É importante destacar que o número de empregos é apenas indicativo, pois seu cálculo está sujeito a limitações. Ainda assim, as estimativas fornecem a magnitude das vagas geradas na indústria renovável, que vêm acompanhadas da qualificação da mão de obra, em comparação com a indústria dos combustíveis fósseis.

Resultados

DEMANDA DE ENERGIA POR SETOR

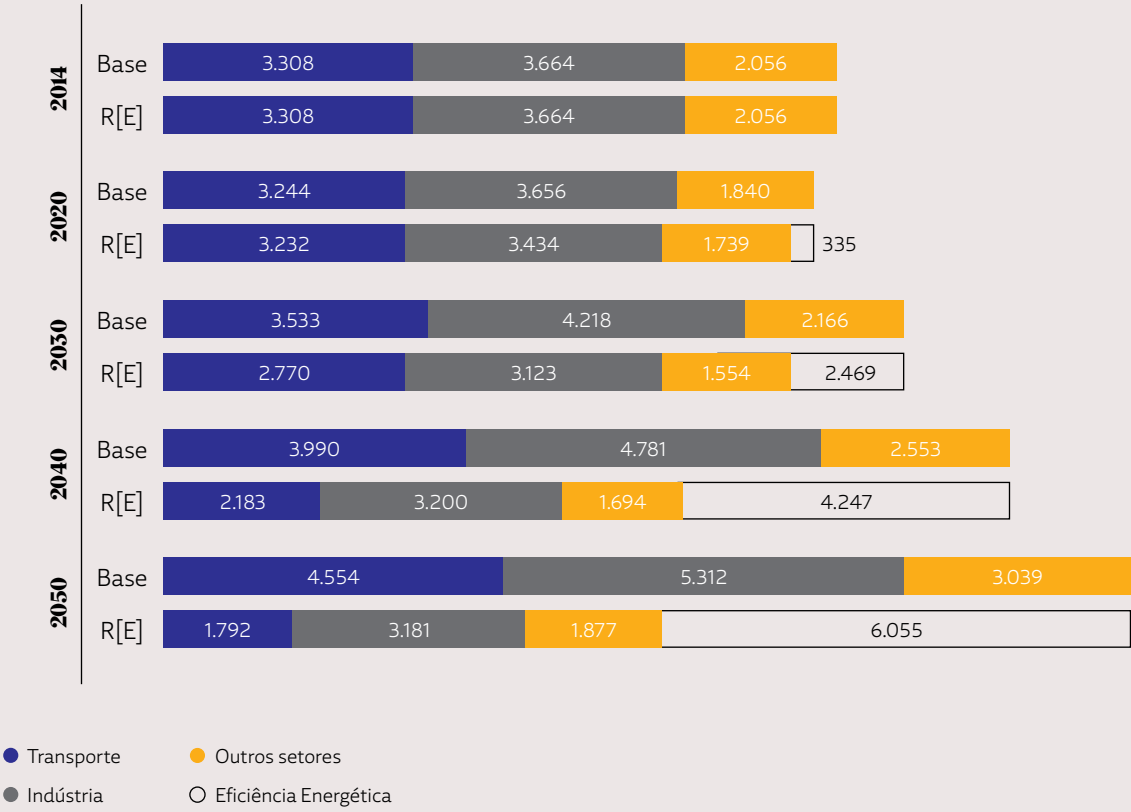
A seguir, estão apresentados os resultados dos dois cenários elaborados para este relatório: (i) o cenário Base, que segue as tendências sinalizadas pelo governo brasileiro para o setor energético nas próximas décadas; (ii) e o cenário [R]evolução Energética ([R]E), que apresenta um caminho para que nossa matriz, em 2050, seja mais eficiente, 100% renovável e livre de emissões de gases de efeito estufa. Os resultados completos também podem ser consultados no Anexo.

Em 2014, o consumo de energia no Brasil somou 9.027 petajoule (PJ)¹⁹⁰, no qual 41% consumidos pelo setor industrial. O cenário Base prevê que a demanda de energia aumentará em 43% até 2050, alcançando 12.904 PJ. Já no cenário [R]evolução Energética, com a substituição dos combustíveis fósseis e ganhos de eficiência energética, a demanda será de 6.849 PJ em 2050. Isso representa 47% a menos que no cenário Base e 24% menos que o consumo atual.

190
O consumo final de energia não inclui o consumo para fins não energéticos e o consumo do próprio setor energético.

→ Demanda de Energia por Setor (PJ/ano)

Como nossa matriz energética vai mudar até o ano de 2050 se seguirmos a tendência atual ou se seguirmos a proposta do Greenpeace Brasil.



TRANSPORTES

O setor de transportes é aquele com o maior potencial de eficiência no cenário [R]evolução Energética. Em 2050, o consumo de energia será reduzido em

61% em relação ao cenário Base. Isso é possível em função da transferência modal – do rodoviário para o ferroviário – e pelo maior uso de eletricidade.

→ Demanda de energia no setor de transportes por tipo e segmento (PJ/ano)

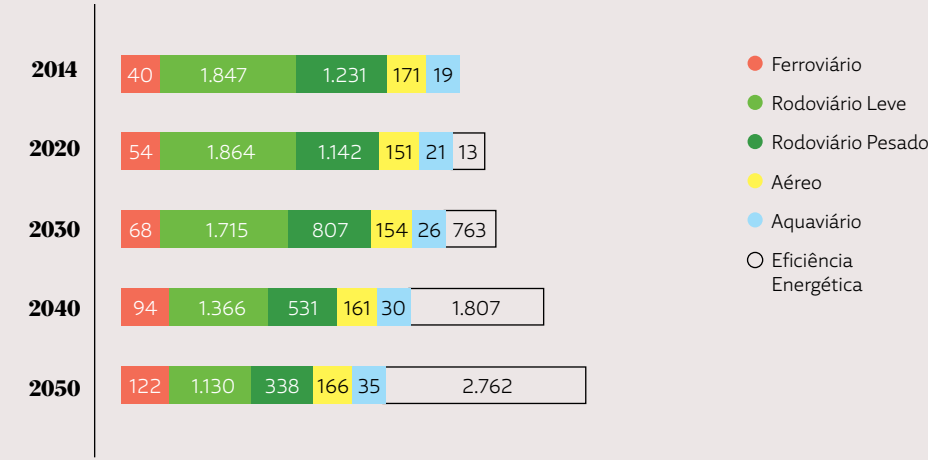
		2 0 1 4	2 0 2 0	2 0 3 0	2 0 4 0	2 0 5 0
Tipo						
Transporte de carga	Base	1.287	1.311	1.396	1.567	1.770
	[R]E	1.287	1.290	1.097	674	420
Transporte de passageiros	Base	2.021	1.934	2.137	2.423	2.784
	[R]E	2.021	1.942	1.673	1.509	1.372
Segmento						
Ferroviário	Base	40	48	58	73	90
	[R]E	40	54	68	94	122
Rodoviário	Base	3.078	3.009	3.262	3.671	4.177
	[R]E	3.078	3.007	2.523	1.898	1.468
Aéreo	Base	171	167	189	216	248
	[R]E	171	151	154	161	166
Aquaviário	Base	19	20	24	31	39
	[R]E	19	21	26	30	35
Total	Base	3.308	3.244	3.533	3.990	4.554
	[R]E	3.308	3.232	2.770	2.183	1.792



Nos dois cenários analisados, a demanda pelo serviço de transporte de passageiros e de carga é a mesma. No [R]evolução Energética, no entanto, é possível ter uma diminuição da demanda no setor rodoviário, a partir de medidas de eficiência logística no transporte de cargas e também com a migração dos modos motorizados para não motorizados no transporte de passageiros.

→ Demanda de energia e eficiência energética no setor de transportes no cenário [R]E (PJ/ano)

Com medidas de eficiência, será possível diminuir o consumo dos transportes em 61% até a metade do século XXI.



→ Divisão modal no transporte de cargas

		2014	2020	2030	2050	
Dutoviário	Base	3%	3%	2%	2%	
	[R]E	3%	3%	2%	2%	
Aéreo	Base	0,10%	0,12%	0,14%	0,20%	
	[R]E	0,10%	0,09%	0,10%	0,11%	
Aquaviário	Base	17%	17%	18%	20%	
	[R]E	17%	19%	20%	23%	
Ferroviário	Base	25%	26%	27%	31%	
	[R]E	25%	26%	31%	46%	
Rodoviário	Base	55%	54%	52%	47%	
	[R]E	55%	52%	46%	28%	
Diminuição da demanda por transporte por eficiência logística		[R]E	0%	2%	4%	6%

191
Demanda de transportes, dada por tonelada/km para o transporte de cargas, e por passageiro/km para o transporte de passageiros.

→ Divisão modal no transporte de passageiros

		2014	2020	2030	2050	
Aéreo	Base	6,4%	6,5%	6,7%	7,0%	
	[R]E	6,4%	6,3%	6,7%	7,4%	
Aquaviário	Base	0,06%	0,06%	0,08%	0,10%	
	[R]E	0,06%	0,07%	0,08%	0,11%	
Ferroviário	Base	2,6%	3,5%	3,6%	4,2%	
	[R]E	2,6%	5,3%	7,3%	13,4%	
Rodoviário	Base	90,9%	89,9%	89,7%	88,7%	
	[R]E	90,9%	88,3%	86,0%	79,1%	
Diminuição da demanda por transporte pelo uso do modo não motorizado		[R]E	0%	1%	3%	6%

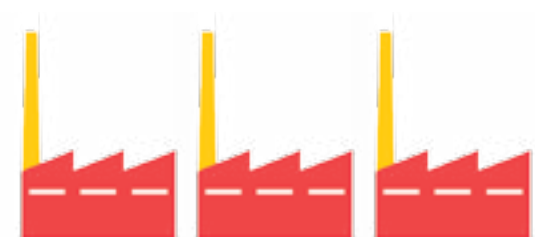
Em relação a cargas, medidas de eficiência logística, como otimização das viagens, permitem reduzir em 6% a demanda por transportes em 2050¹⁹¹. Além disso, com a transferência modal, do rodoviário para o ferroviário e com eficiência energética, o consumo de energia no transporte de cargas o cenário [R]evolução Energética é 76% menor do que no cenário Base, somando 420 PJ.

Para o transporte de passageiros, o cenário [R]evolução Energética prevê a possibilidade de reduzir pela metade o consumo total de energia comparado ao cenário Base em 2050. Para isso, serão necessárias medidas que melhorem a mobilidade urbana, possibilitem a priorização do transporte público coletivo e o estímulo ao transporte não motorizado. O aumento do uso de bicicletas ou caminhadas diminuirá a demanda pelo transporte de passageiros em 6%.

Em 2050, o modo rodoviário ainda será relevante para o transporte de passageiros. Por isso, a adoção de motores elétricos será essencial para a redução global do consumo de energia em transportes. Seguindo as tendências do governo brasileiro, no entanto, devemos chegar a esse ano com 143 milhões de veículos (entre automóveis, veículos comerciais, motocicletas, ônibus e caminhões), mas apenas 0,2% com motores elétricos (cerca de 275 mil automóveis e de 53 mil ônibus). Outros 0,3% serão híbridos, combinando eletricidade e combustível. Aproximadamente 30% da frota de veículos continuarão à base de gasolina ou diesel, e o restante usará o etanol ou terá motores flex.

Já no cenário [R]evolução Energética, a eletricidade será responsável por um quarto do consumo total de energia do setor de transportes. É um crescimento expressivo já que, atualmente, esse consumo é praticamente nulo. A frota total do modo rodoviário será um pouco menor, com cerca de 131 milhões de veículos em 2050. E os elétricos representarão 50% do total (cerca de 65 milhões).

Veículos híbridos serão 21% da frota (cerca de 28 milhões), e os movidos a etanol e biodiesel, 29%. Em relação aos ônibus urbanos, 28 mil deles funcionarão utilizando o hidrogênio.

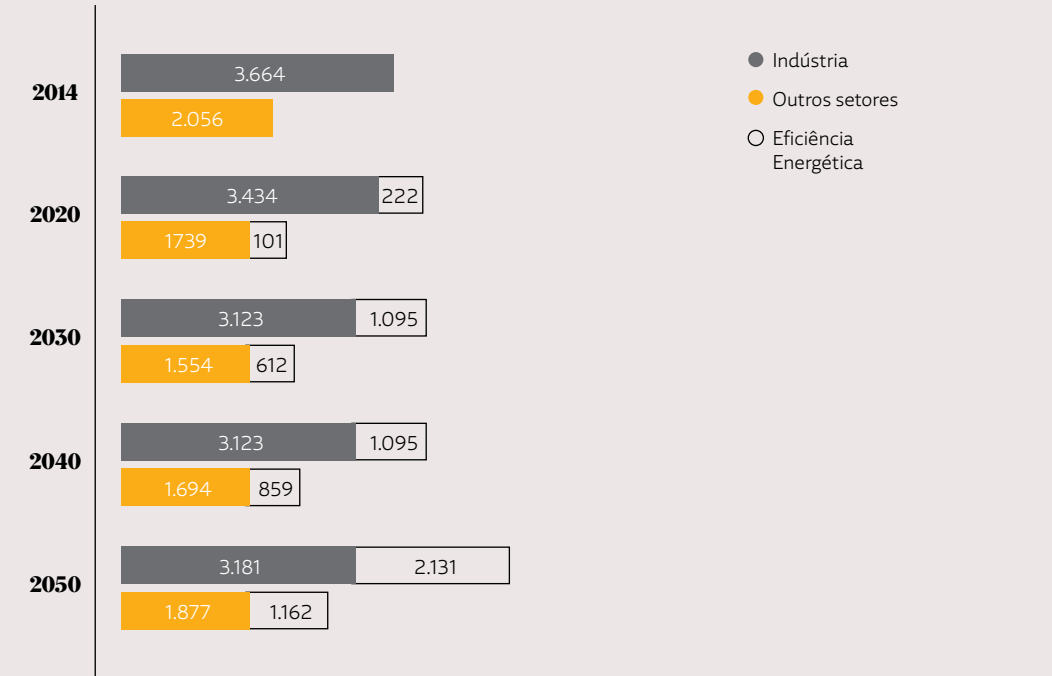


INDÚSTRIA E OUTROS SETORES

Em relação ao setor industrial, o cenário [R]evolução Energética mostra que é possível atingir uma eficiência energética de 40% em relação ao cenário Base. Nos setores residencial, público, comercial e agropecuário, a eficiência energética chega a 38% no cenário [R]evolução Energética, em 2050.

→ Demanda de energia e eficiência energética na indústria e outros setores no cenário [R]E (PJ/ano)

Com medidas de eficiência, até a metade do século, será possível diminuir o consumo da indústria em 40%. E, de outros setores, em 38%.



192
Jannuzzi, G. M. e
Jantim, H. (2016).

De acordo com o estudo elaborado pelo IEI e Unicamp¹⁹² para o relatório [R]evolução Energética, na indústria, os sistemas de iluminação, motores e processos de aquecimento são os principais usos em que podemos conservar energia elétrica. E, no caso da energia térmica, é o uso de aquecimento e de calor de processo.

Nas residências, a principal oportunidade para a conservação de energia elétrica está nos sistemas de iluminação e, para energia térmica, no aquecimento de água e de preparo de alimentos. Nos demais setores, os principais potenciais de conservação estão nos usos de iluminação, força motriz (sistemas de bombeamento de água, por exemplo), refrigeração, calor de processo e aquecimento.

→ Potencial de conservação de energia elétrica (%)

	Indústria		Público		Residencial		Comercial		Agropecuário	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Potencial Médio	24	37	23	36	27	36	24	33	31	46
Iluminação	14	47	15	35	35	50	32	35	29	34
Refrigeração/Resfriamento	10	20	35	31	30	35	14	31	15	35
Calor de processo	7	11	-	-	25	38	-	-	25	38
Força motriz	30	43	32	47	32	46	32	45	34	48
Aquecimento direto	11	22	15	23	15	23	15	23	15	25
Eletroquímica	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-

→ Potencial de conservação de energia térmica (%)

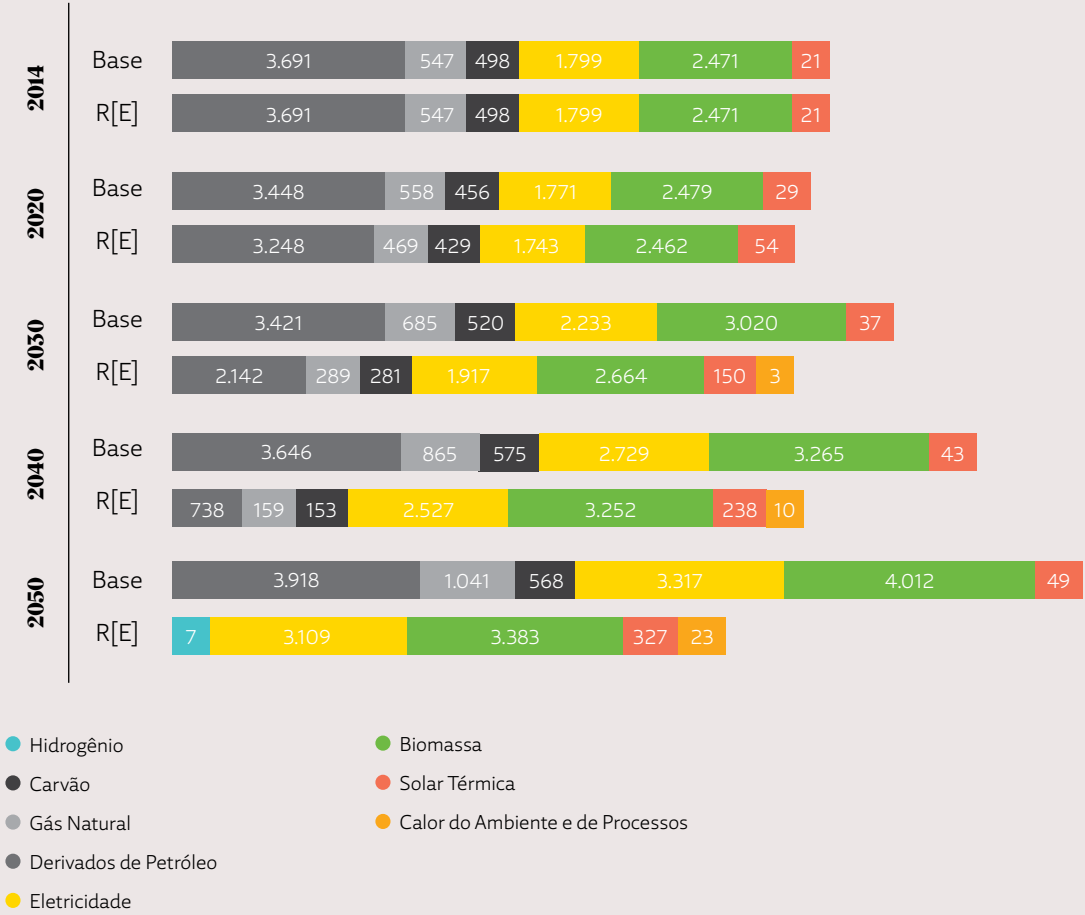
	Indústria		Público		Residencial		Comercial		Agropecuário	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Potencial Médio	28	43	7	18	25	30	35	45	35	47

DEMANDA DE ENERGIA POR FONTE

A demanda de energia no Brasil em 2050 nos cenário Base e no [R]evolução Energética são diferentes em termos da demanda total, pois no cenário [R]E a demanda é 47% menor. Os cenários também se diferem em relação às fontes energéticas.

→ Demanda de energia por fonte (PJ/ano)

Como será o consumo das diferentes fontes de energia no Brasil até 2050.



No cenário Base, ainda há uma grande participação dos combustíveis fósseis. Hoje, eles representam 52% do consumo total de energia e em 2050 permanecerão suprimindo 43% do total. Essa pequena diminuição será substituída em parte pelo uso da eletricidade, que sairá de uma participação atual de 20% para 26% em 2050. Para isso, contará com a expansão de termelétricas a combustíveis fósseis, além de usinas nucleares, como será mostrado mais adiante. O uso da biomassa também sofrerá uma pequena elevação, alcançando uma participação de 31% no consumo total.

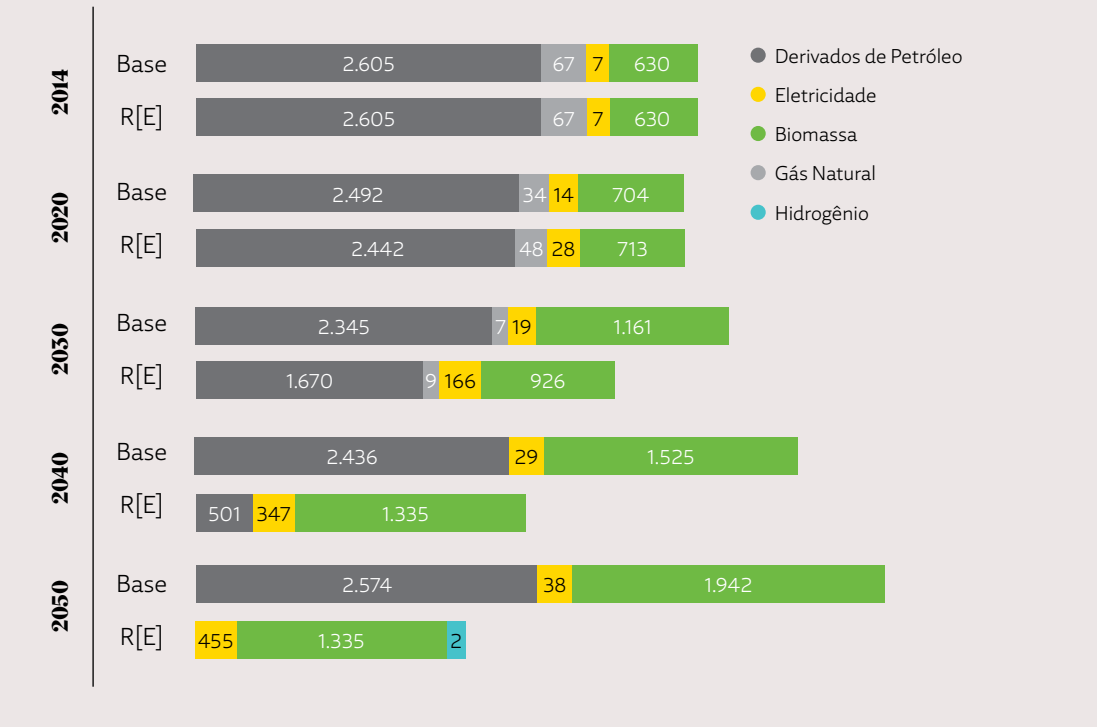
Por outro lado, como no cenário [R]evolução Energética chegamos a 2050 com 100% de energias renováveis, haverá uma grande expansão do uso da eletricidade – 45% do consumo total de energia. Com relação à biomassa, que hoje representa 27% do consumo energético no Brasil, em 2050, essa fonte representará 49%. A energia solar térmica, hoje utilizada marginalmente nos outros setores (residencial e comercial), aumentará sua participação no cenário do Greenpeace Brasil, alcançando 5% do consumo total de energia em 2050. E será

inserida em maior medida no setor industrial, atingindo 4% do consumo desse setor.

Para a área de transportes, cujo consumo atual está baseado em 81% de energia fóssil, o cenário Base prevê a continuidade do uso desses combustíveis, mas seria possível chegar em 2050 com uma participação menor, de 57%. Isso acontecerá porque parte da demanda será suprida por biomassa. Essa fonte passará dos atuais 19% para 43% na metade do século. Já o uso da eletricidade para transportes no cenário Base é marginal, alcançando participação de apenas 1% em 2050. No cenário [R]evolução Energética, a utilização da eletricidade, que chega a 25% do consumo total do setor, será principalmente usada para o modo rodoviário, com 391 PJ (ou 27% do consumo apenas desse modal). Ela também será utilizada no modo ferroviário, que soma 64 PJ ou 53%. Os biocombustíveis – etanol e biodiesel – também terão participação elevada no consumo dos transportes (75%). Ainda, há o uso do hidrogênio em ônibus urbanos de passageiros, no entanto, sua participação é marginal (0,1%).

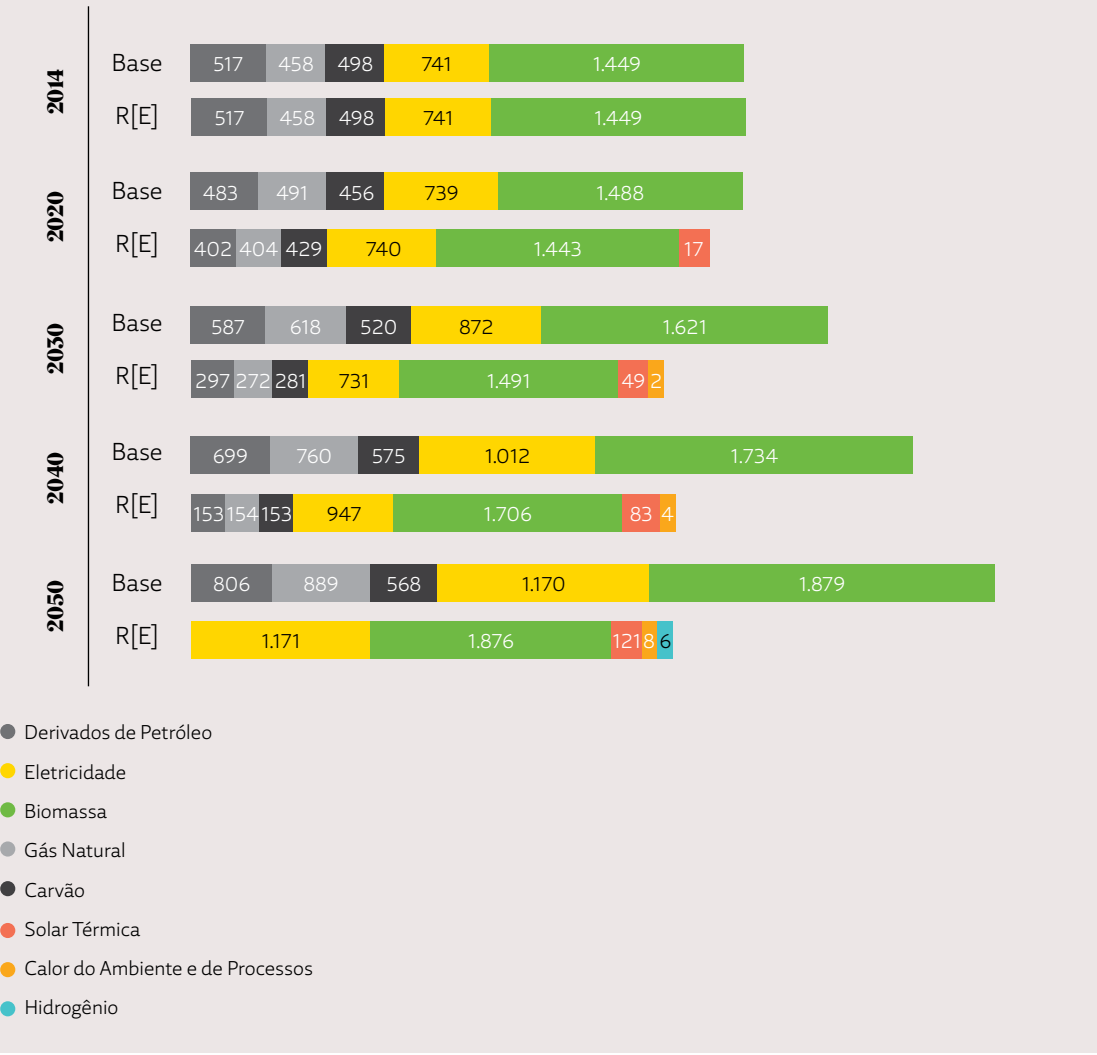
→ Demanda de energia por fonte no setor de transportes (PJ/ano)

Como será o consumo energético para o setor de transportes nos dois cenários avaliados.



→ Demanda de energia por fonte na indústria (PJ/ano)

Como será o consumo energético para o setor de indústria nos dois cenários avaliados.

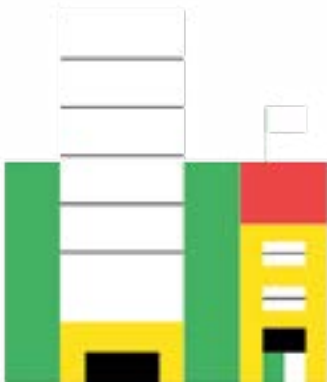
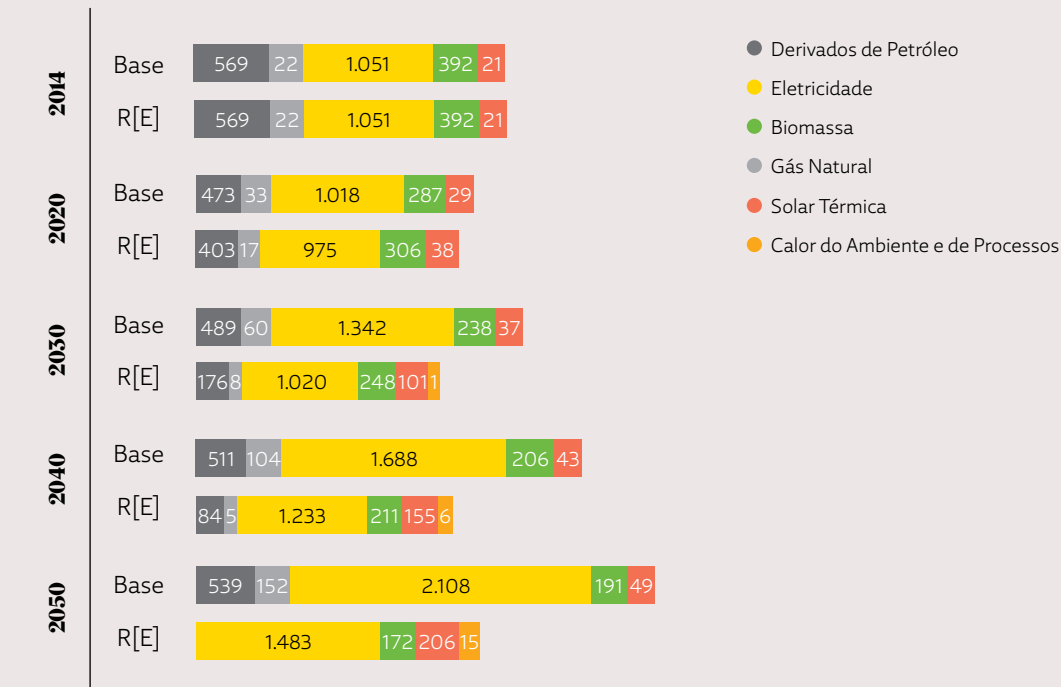


Para a indústria, o cenário Base também prevê a continuidade do uso dos combustíveis fósseis, que deve aumentar dos 40% que vemos hoje para 43% em 2050. A eletricidade chega a 22% em 2050, apenas dois pontos percentuais acima da participação atual. Já os biocombustíveis batem 35% de participação nesse ano de previsão.

O cenário [R]evolução Energética prevê um setor industrial bem diferente: os combustíveis fósseis serão substituídos principalmente pelo uso da biomassa (59%), seguido da eletricidade (37%). A energia térmica solar terá uma participação de 4%.

→ Demanda de energia por fonte nos outros setores (PJ/ano)

Como será o consumo energético para outros setores nos dois cenários avaliados.

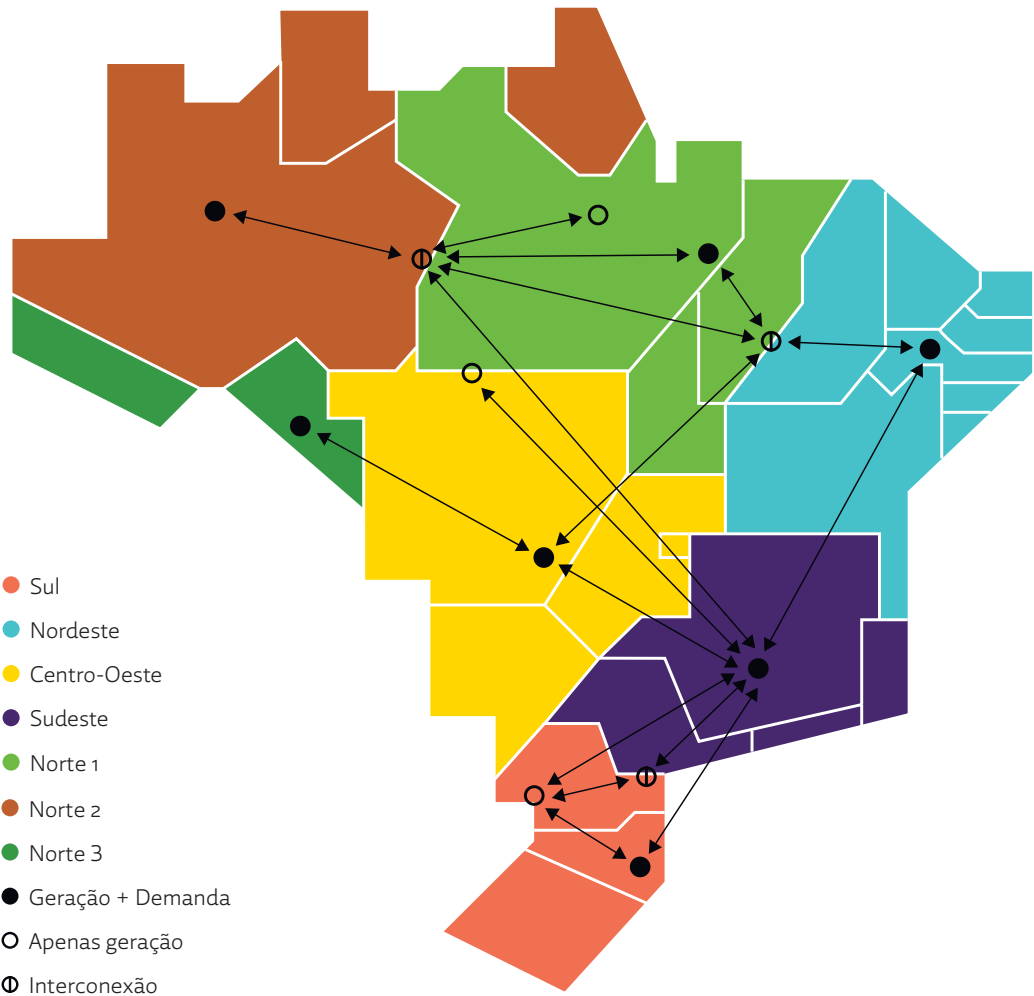


Nos chamados "outros setores" (residencial, comercial, público e agropecuário), o cenário Base prevê que os combustíveis fósseis continuem representando 23% do consumo energético em 2050, pouco abaixo do nível atual, que é de 29%. A participação da eletricidade aumentará dos atuais 51% para 69% em 2050. No futuro do [R]evolução Energética, sem o uso de combustíveis fósseis, a demanda dos outros setores é atendida principalmente pela eletricidade (79%). E haverá participação mais expressiva da energia solar térmica (11%), complementada pela biomassa (9%) e por um consumo marginal de hidrogênio (1%)

ELETRICIDADE

Atualmente, o consumo de eletricidade no Brasil é de 500 TWh ao ano. Em 2050, no cenário Base esse valor aumentará para 921 TWh ao ano, sendo que 11% desse total virá de fontes fósseis. E no [R]evolução Energética, o consumo alcançará 864 TWh ao ano, apenas com fontes renováveis –

e uma participação crescente de energia solar e eólica. Vale ressaltar que a diferença de consumo entre ambos os cenários é pequena porque, no [R]evolução Energética, parte da demanda de combustíveis fósseis em setores como transportes e indústrias é transferida para o setor elétrico.

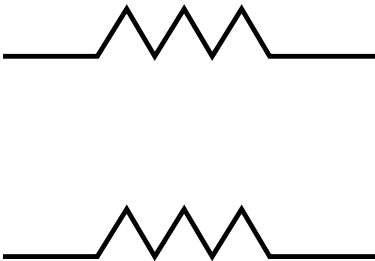
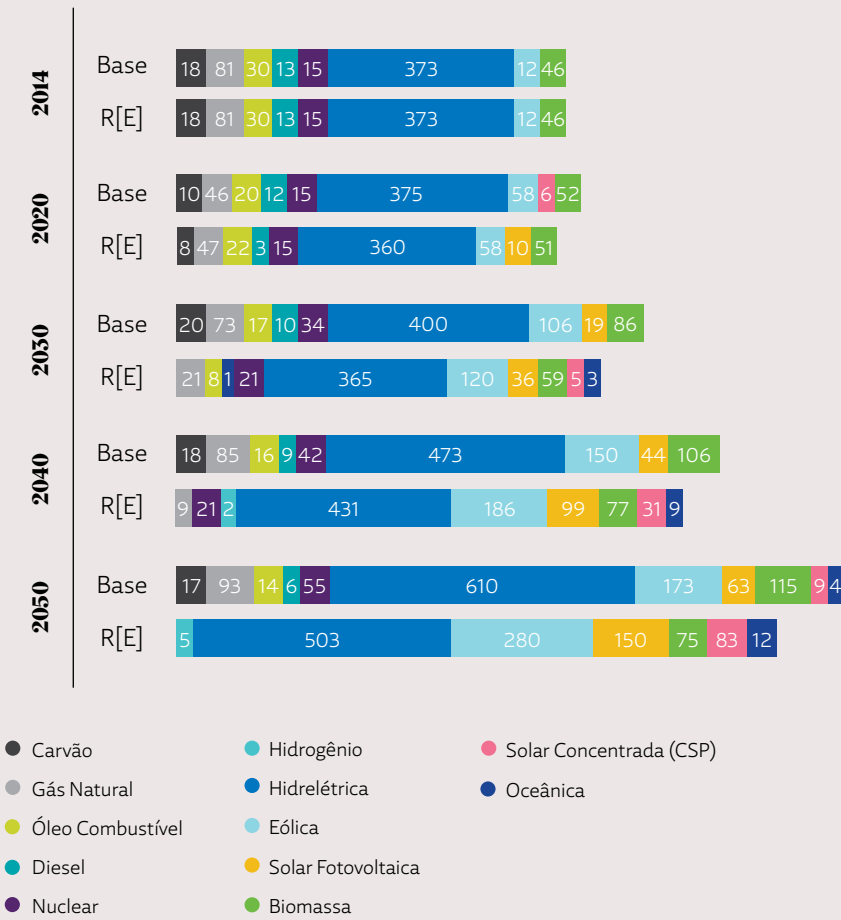


O funcionamento da matriz elétrica 100% renovável em 2050 foi analisado com maior detalhamento espacial e temporal. Foram examinados os horários e o consumo de eletricidade em todo o Brasil com o objetivo de simular o atendimento da demanda de

modo otimizado. Nesse levantamento, foram considerados os potenciais energéticos disponíveis, a infraestrutura de transmissão e os custos (leia sobre a Metodologia no Capítulo 6). A divisão das regiões analisadas é ilustrada no mapa acima.

→ Geração de eletricidade por fonte (TWh/ano)

Como será gerada a eletricidade no Brasil até 2050 nos dois cenários analisados.

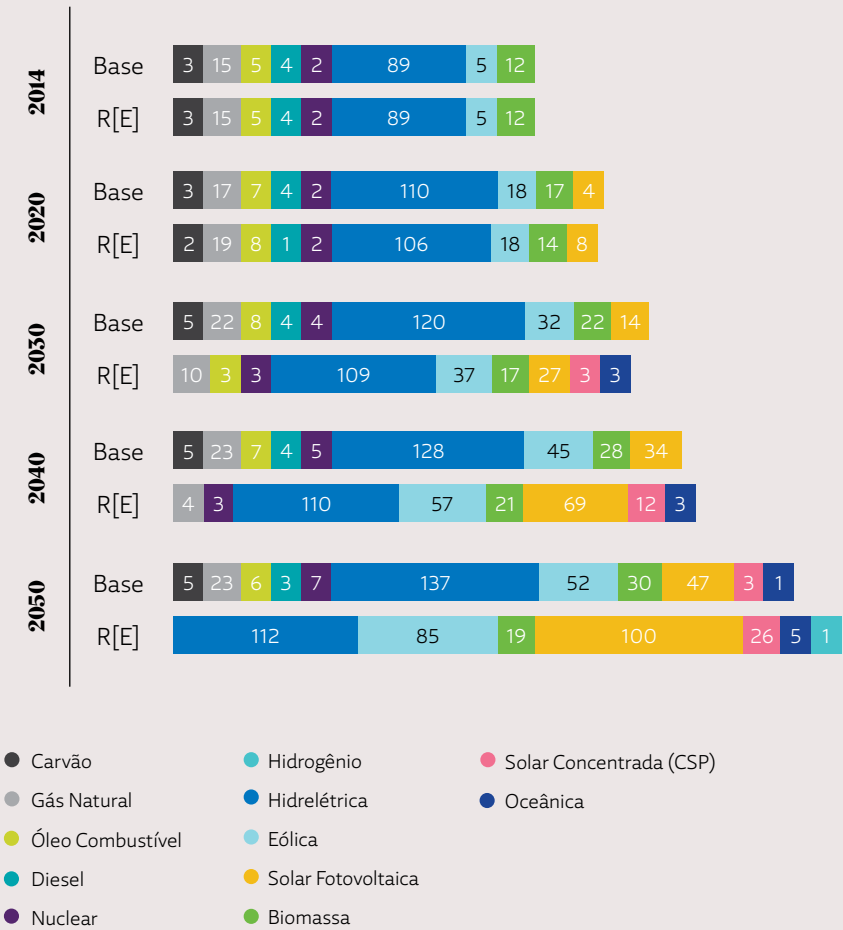


No cenário [R]evolução Energética, a energia solar e a eólica serão responsáveis por 39% do total da geração de eletricidade no país. A energia solar concentrada (CSP), que hoje não é usada nacionalmente, e a fotovoltaica, com atividade ainda marginal, chegarão a 6% e 14%, respectivamente, de participação em 2050. A energia eólica seguirá crescendo e passará dos atuais 2% para 25%.

No cenário [R]evolução Energética, as usinas de geração de eletricidade no país somarão 349 GW de capacidade instalada, contra 314 GW do cenário Base, por conta das características das usinas que compõe o parque de geração. Isso significa adicionar 216 GW de capacidade até 2050, sendo que parte dessas novas usinas já se encontram em construção.

→ Capacidade instalada para geração de eletricidade

Nos dois cenários o conjunto de usinas gerando eletricidade é diferente.



As usinas solares concentradas (ou CSP) chegarão, em 2050, a 26 GW de capacidade instalada. Somente a região Sudeste, pela proximidade de grandes centros de consumo, terá cerca de 25 GW. Outras usinas estarão no Nordeste, onde o potencial de aproveitamento solar é significativo.

Somando as usinas fotovoltaicas de grande porte e os sistemas fotovoltaicos distribuídos pelos telhados dos brasileiros, alcançaremos uma potência instalada de 100 GW até a metade deste século. E, nesse caso, também teremos parte das instalações na região Sudeste (50%), seguida da Nordeste (25%), mas com alguma presença em outras regiões.

As usinas eólicas terão 85 GW de capacidade instalada, sendo o Nordeste a região da maior parte delas, com 71 GW ou 83% da potência instalada.

Em 2014, o Brasil já contava com 89 GW de hidrelétricas. E, até 2050, o [R]evolução Energética prevê 112 GW de capacidade instalada oriundos dessa fonte. Cerca de 20 GW serão obtidos a partir de usinas que, hoje, já estão em obras. Ou seja, o cenário do Greenpeace Brasil calcula que mais 3 GW sejam adicionados ao sistema nacional, sendo que essas usinas estarão na região Sul. Ao contrário dos planos do governo, os cálculos desse estudo mostram que não há necessidade de novas hidrelétricas na região Amazônica, um bioma frágil e ameaçado por grandes obras.

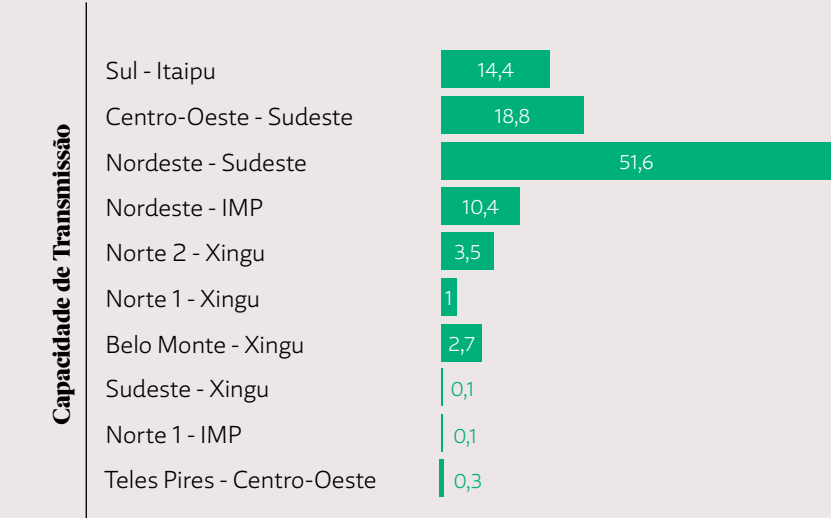
→ Capacidade instalada por região em 2050 no cenário [R]evolução Energética (GW)

Em 2050, no cenário [R]evolução Energética cada região do país terá esse conjunto de usinas funcionando.

	Biomassa	Hidrogênio	Solar Fotovoltaica	Solar Concentrada (CSP)	Eólica	Oceânica	Hidrelétrica
Sul	3.3	0.13	10.0	0.0	14.4	1.4	19.7
Sudeste	10.6	0.44	50.0	25.0	0.0	1.2	7.2
Centro-Oeste	0.9	0.04	12.0	0.0	0.0	0.0	32.1
Nordeste	2.7	0.11	25.0	0.0	71.1	0.9	11.0
Norte 1	0.8	0.03	3.0	1.4	0.0	1.1	4.6
Norte 2	0.5	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5
Norte 3	0.5	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8
Itaipu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4
Belo Monte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2
Teles Pires	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8

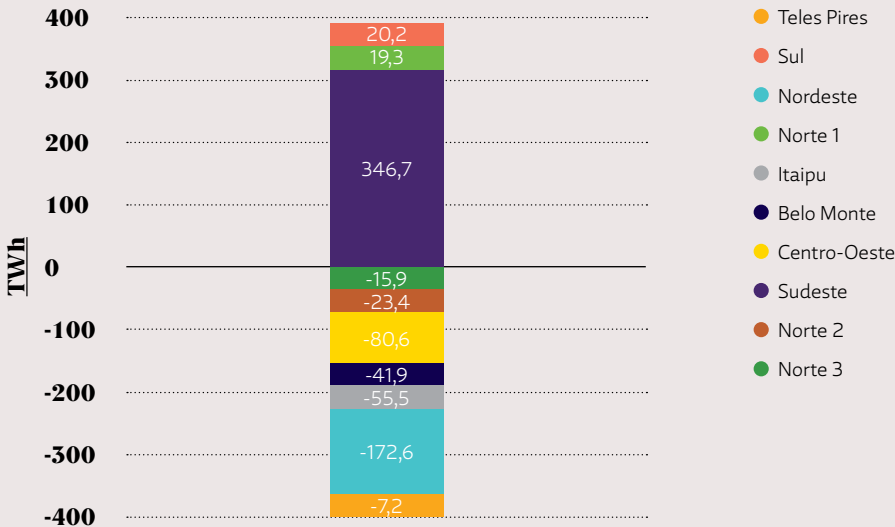
→ Capacidade adicional de linhas de transmissão em 2050 (GW)

Para garantir o transporte de energia pelo Brasil, o sistema de transmissão irá crescer. Principalmente entre o Nordeste e o Sudeste, as novas linhas serão necessárias para escoar a geração eólica.

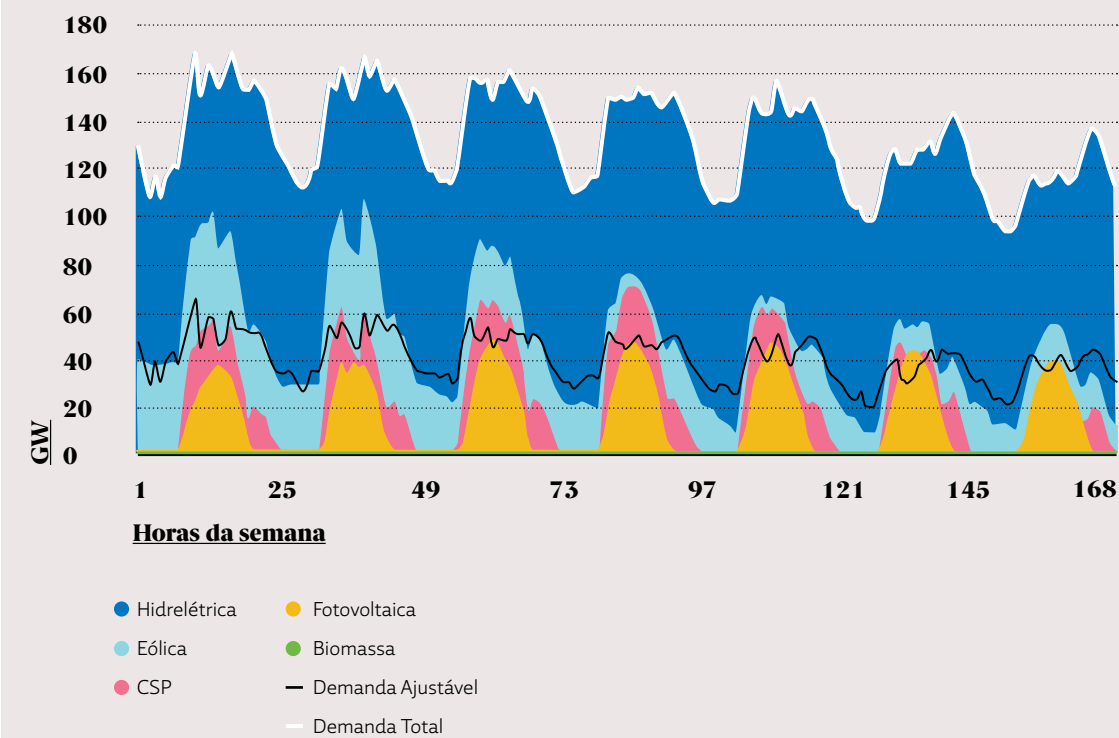


Até 2050, o sistema de transmissão deve crescer para garantir o transporte de energia necessário entre as regiões do país. O maior aumento será entre o Nordeste e o Sudeste, para escoar principalmente a geração eólica. A região Sudeste, que é um grande centro de consumo, permanecerá importando eletricidade de outras regiões.

→ Importação líquida de eletricidade entre regiões em 2050



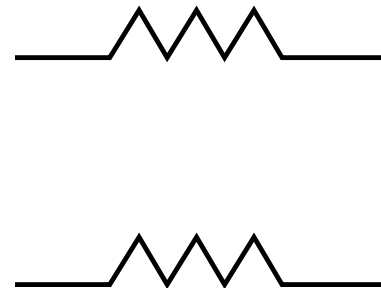
→ Semana com pico de carga



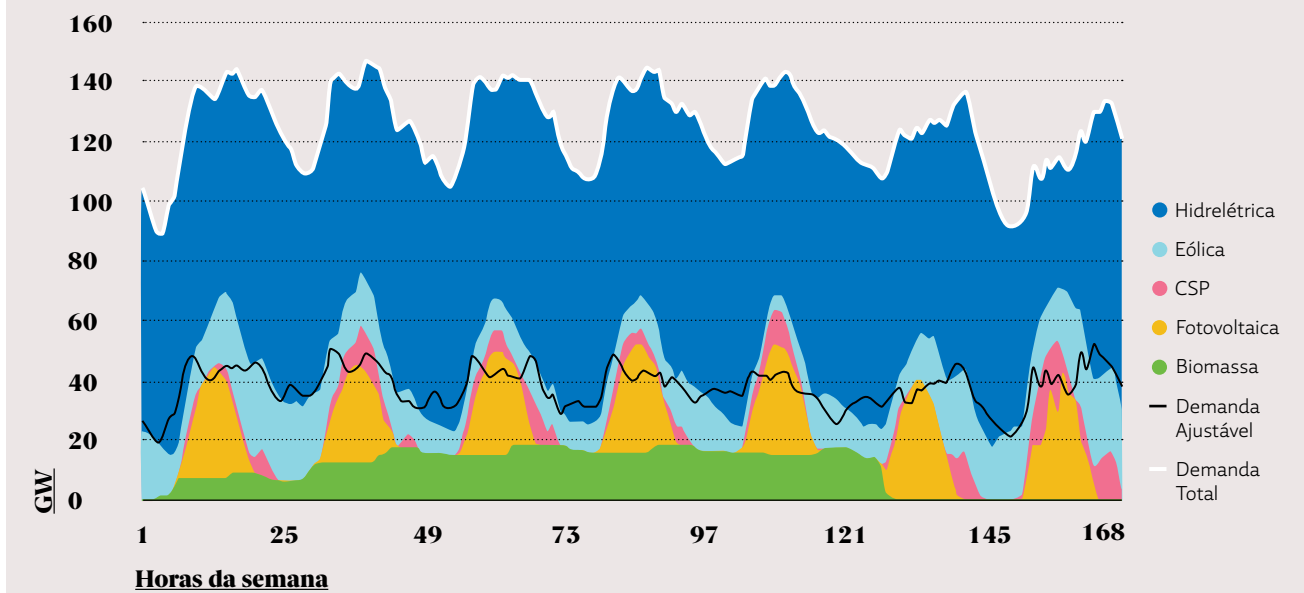
A capacidade instalada renovável no cenário [R]evolução Energética foi calculada para atender todo o consumo do país em várias situações. Os gráficos abaixo representam o comportamento típico do consumo e do suprimento de eletricidade a cada hora, durante uma semana. Cada gráfico explora condições diferentes de demanda e também de condições de geração eólica e hidrelétrica.

Como pode ser visto nos gráficos, a geração de eletricidade a partir de usinas fotovoltaicas e eólicas é priorizada, e complementada por usinas solares concentradas e pela hidreletricidade (que funcionará de modo flexível). Nas situações com menos ventos para a geração eólica ou menor possibilidade de geração hidrelétrica, a demanda será complementada pelo uso de usinas a biomassa.

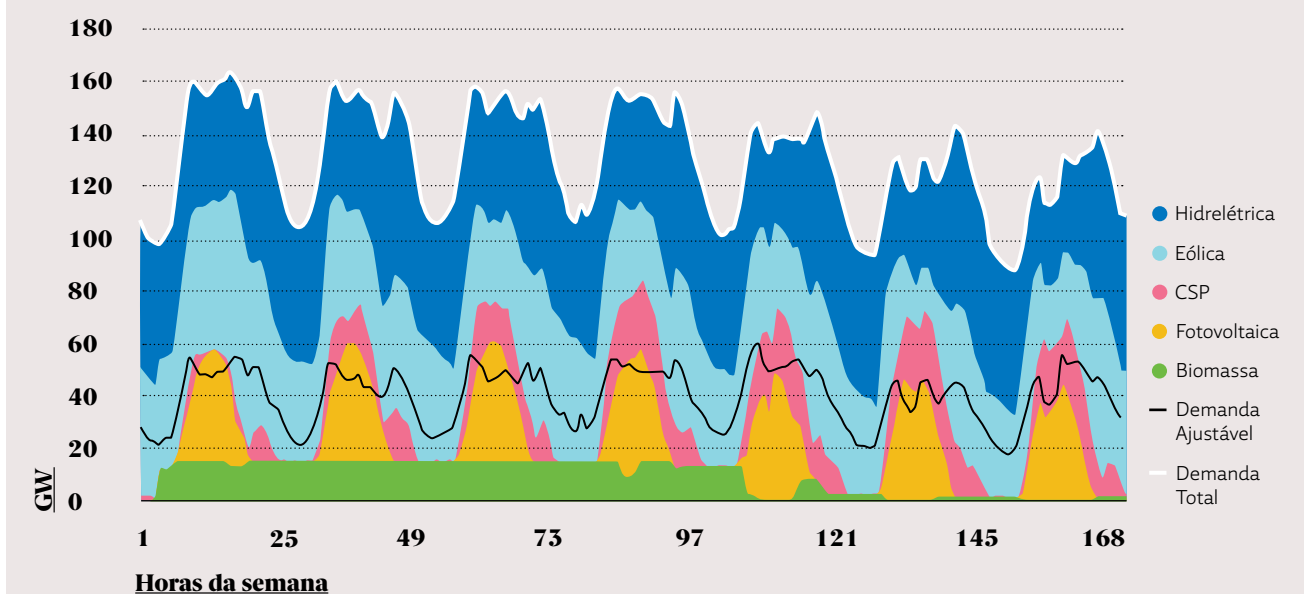
Os resultados da simulação também mostraram que medidas de gerenciamento da demanda podem diminuir a carga do sistema em até 2,8 GW. A demanda de eletricidade chega a ser reduzida em 25.533 TWh por ano, em 2050.

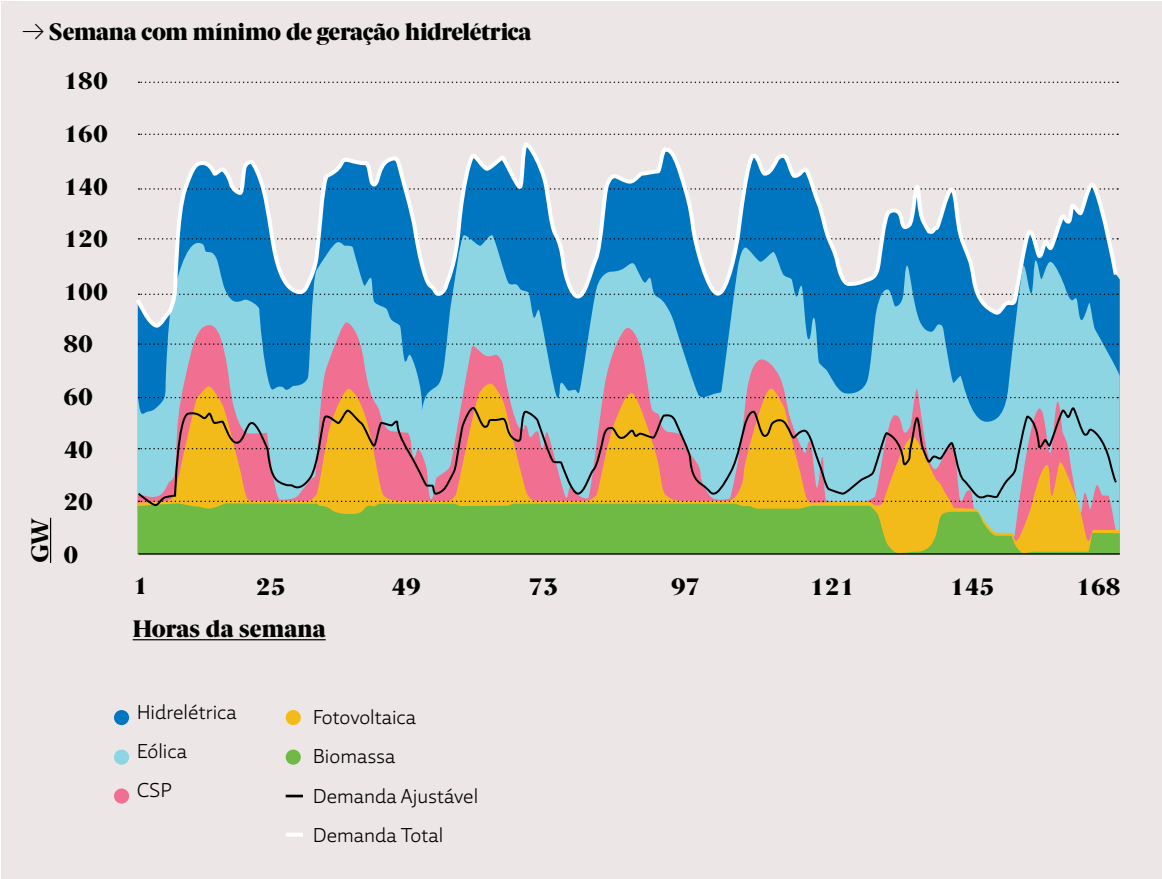


→ Semana com mínimo de vento



→ Semana com máximo de vento





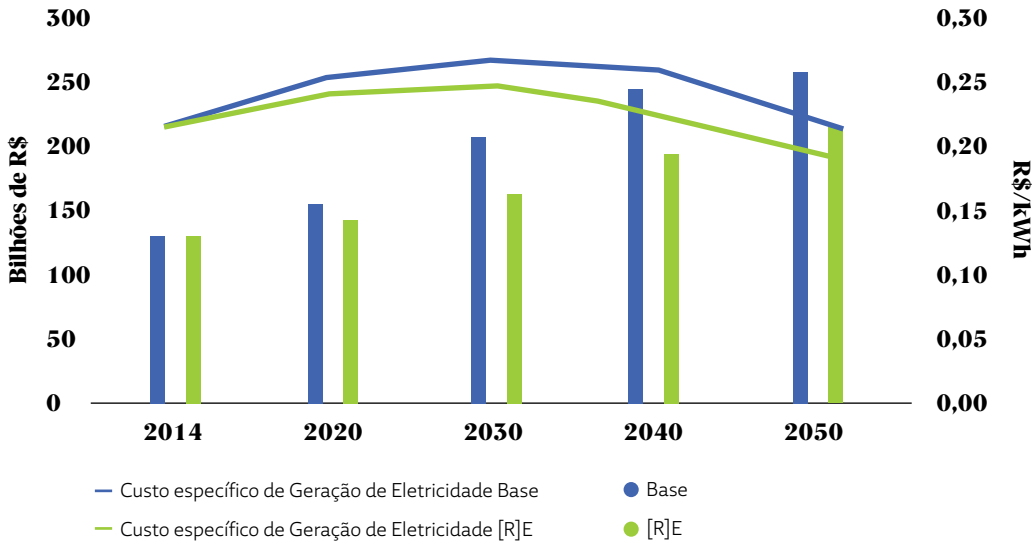
Investimentos e custos da geração de eletricidade

Para expandir a capacidade instalada de geração de eletricidade no país, o cenário [R]evolução Energética demandará investimentos na ordem de R\$ 1.747 bilhão. É um montante um pouco superior ao requerido pelo cenário Base – de R\$ 1.697 bilhão.

Apesar da necessidade de um investimento total maior, o cenário [R]evolução Energética traz na verdade uma economia de recursos. Isso porque ele não apresenta gastos com combustíveis fósseis, que encarecem a geração de eletricidade. Essa economia até 2050 chega a R\$ 909 bilhões, valor muito maior do que os investimentos adicionais necessários para implementar as novas usinas renováveis do cenário [R]evolução Energética (R\$ 50 bilhões).

→ **Custo total e específico de geração de eletricidade**

Ter 100% de fontes renováveis diminuirá o custo total de geração de eletricidade em 2050. Mas no cenário Base, o valor fica próximo do atual.



→ **Diferença entre investimentos totais e custo com combustíveis para geração de eletricidade nos cenários Base e [R]E (bilhões de R\$)**

	2014 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	Acumulado 2014 - 2050	Média Anual 2014 - 2050
Investimento cenário Base	391	420	438	448	1.697	46
Investimento cenário [R]E	360	388	503	496	1.747	47
Diferença de investimento [R]E – Base	-31	-31	65	47	50	1
Economia com combustíveis no cenário [R]E	3	136	331	439	909	25
Economia total atingida no cenário [R]E	34	167	266	392	859	23

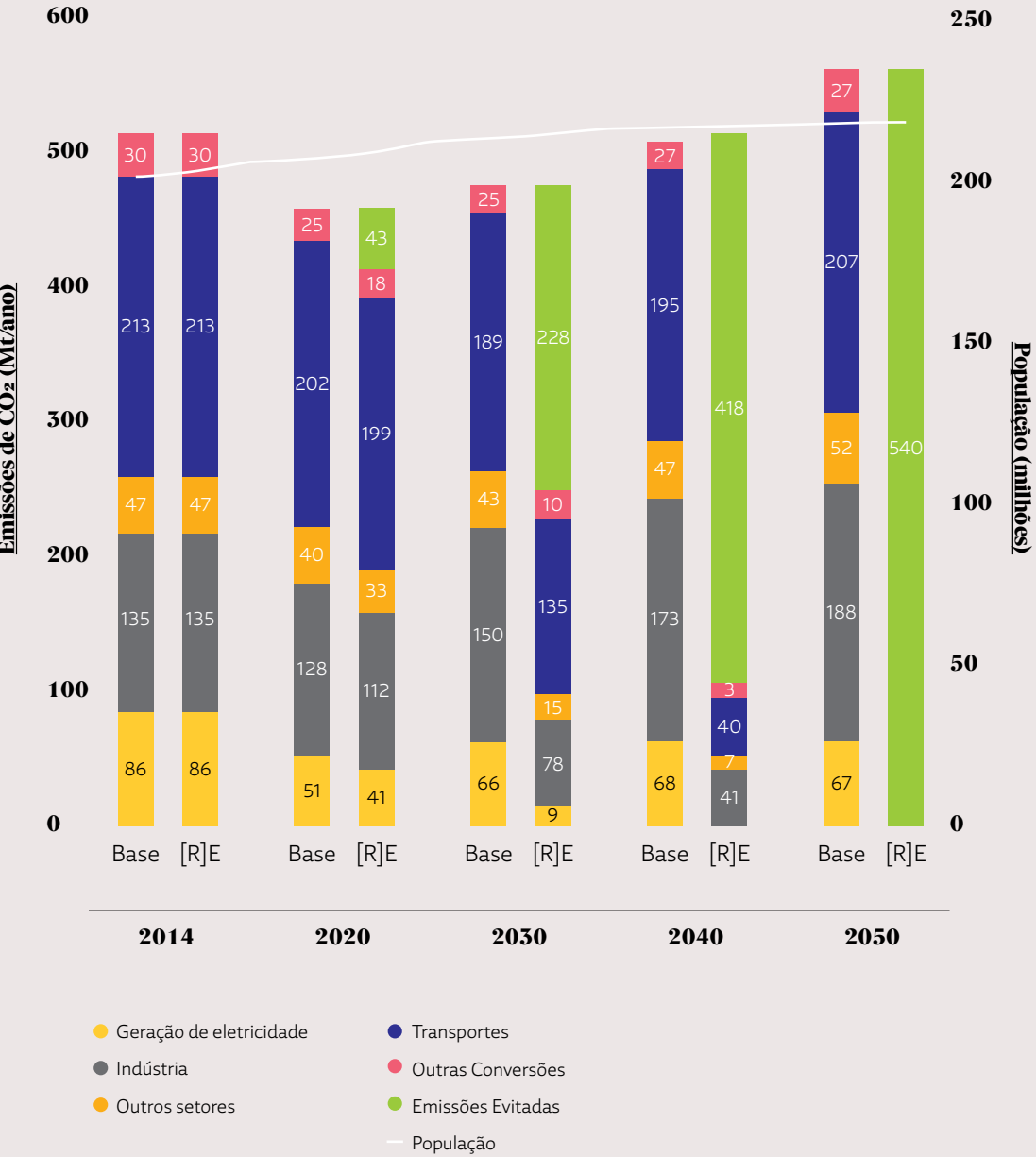
De fato, ter uma matriz 100% de fontes renováveis fará com que o custo total de geração de eletricidade em 2050 seja mais barato. Serão gastos R\$ 209 bilhões por ano, equivalente a R\$ 45 bilhões anuais a menos do que no cenário Base. O custo

médio de geração em 2050 no [R]evolução Energética será de R\$ 0,19 por kWh, enquanto no cenário Base será de R\$ 0,22 por kWh¹⁹³. Atualmente, o custo de geração está em R\$ 0,21 por kWh.

193
O cálculo não incorpora a inflação do período.

→ Emissões de gás carbônico até 2050

Seguindo a tendência atual, o setor energético irá lançar 6% a mais CO2 do que hoje. O cenário do Greenpeace Brasil mostra como iremos reduzir as emissões até chegar a zero.



EMISSIONES DE CO2 NO SETOR ENERGÉTICO

Se o país seguir a tendência apresentada na Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas (INDC, na sigla em inglês) do governo, chegaremos a 2050 com um aumento de emissões de CO2 por parte do setor energético em torno de 6%, em comparação aos valores de 2014. Cerca de 541 milhões de toneladas terão sido emitidas na atmosfera até 2050. Já no cenário [R]evolução Energética, graças ao uso de 100% fontes renováveis, as emissões sairiam do patamar atual (de cerca de 511 milhões de toneladas de CO2 por ano) para zero na metade do século.

→ Emissões de CO2 no setor energético (milhões de toneladas por ano)

	2014		2020		2030		2040		2050	
	Base	[R]E	Base	[R]E	Base	[R]E	Base	[R]E	Base	[R]E
Emissões totais	511	511	446	403	473	245	510	92	541	0
Transportes	213	213	202	199	189	135	195	40	207	0
Indústria	135	135	128	112	150	78	173	41	188	0
Outros setores	47	47	40	33	43	15	47	7	52	0
Geração de eletricidade	86	86	51	41	66	9	68	1	67	0
Outras conversões	30	30	25	18	25	10	27	3	27	0
Emissões per capita	2,6	2,6	2,1	1,9	2,1	1,1	2,2	0,4	2,3	0

GERAÇÃO DE EMPREGOS

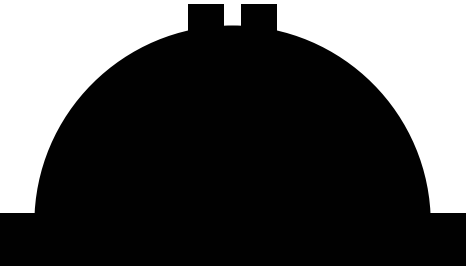
Além de zerar as emissões de CO2, ser mais eficiente e diminuir os custos na geração de eletricidade, o cenário [R]evolução Energética ainda traz o benefício da geração de empregos para o Brasil. As estimativas indicam que, em 2030, cerca de 618 mil postos de trabalho serão vinculados à geração de eletricidade e às tecnologias de aproveitamento de energia térmica solar e de calor do ambiente.

→ Número de postos de trabalho em 2030 por tipo no cenário [R]evolução Energética (eletricidade, solar térmica e calor do ambiente)

	2030
Total de empregos	618.101
Construção e Instalação	65.603
Fabricação	23.189
Operação e Manutenção (O&M)	176.042
Fornecimento de Combustíveis	308.153
Energia Térmica Solar e Calor do Ambiente	45.114

→ Comparação número de empregos nos cenários Base e [R]E

	Base	[R]E
Empregos por PJ de energia primária para fornecimento de combustível para a geração de eletricidade	57	61
Empregos por GW instalado de usinas de geração de eletricidade	1.093	1.247



→ Número de postos de trabalho em 2030 por fonte no cenário [R]evolução Energética (eletricidade, solar térmica e calor do ambiente)

	2030
Empregos Totais	618.101
Carvão	1.528
Gás Natural e Derivados de Petróleo	28.287
Nuclear	3.224
Biomassa	366.794
Hídrica	81.472
Eólica	21.332
Fotovoltaica	52.720
Energia Solar Concentrada	8.255
Oceânica	9.375
Solar – Térmica	43.951
Calor do Ambiente – Térmica	1.163

194
Energia primária consumida para a geração de eletricidade.

Além de empregar um número expressivo de pessoas no país, ao analisarmos a geração de vagas por petajoule (PJ) ou gigawatt (GW), o cenário 100% renovável também cria mais empregos do que o cenário Base. Em 2030, estima-se 61 empregos por cada PJ de energia primária consumida¹⁹⁴. No cenário Base, há 57 empregos por PJ.

Em relação à construção, fabricação e manutenção e operação de usinas de geração de eletricidade, no cenário [R]evolução Energética serão 1.247 empregos por cada GW instalado em 2030, já no cenário Base esse número é de 1.093, ou 12% a menos.

Referências bibliográficas

Amarante, O. A. C. do *et al* (2001). Wind / Hydro Complementary Seasonal Regimes in Brazil. DEWI Magazin, n. 19, agosto de 2001.

AMB - Associação Médica Brasileira (2015). Acidentes de Trânsito apresentam números e custos altos. ([bit.ly/z8KimS1](#))

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2016a). Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição. Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Região, Empresa e Classe de Consumo. ([bit.ly/1SZ4gZB](#))

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2016b). Registros de Micro e Minigeradores distribuídos efetivados na ANEEL. ([bit.ly/z8JOOFJ](#))

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2016c). BIG - Banco de Informações de Geração. ([bit.ly/z8INSwk](#))

Angelo, C. e Feitosa, C. (2015). País poderá viver drama climático em 2040, indicam estudos da Presidência. Observatório do Clima, 30 de outubro de 2015. ([bit.ly/z8J78hO](#))

ANP - Agência Nacional do petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2015. ([bit.ly/z8JKGnn](#))

ANTP (2015). Sistema de Informações da Mobilidade Urbana. Relatório Geral 2013. Junho/2015. ([bit.ly/z8LMN9a](#))

Bajay, S. V. e Santana, P. H. de M. (2010). Oportunidades de eficiência energética para a indústria: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria. Brasília: CNI, 2010.

Biogás Energia Ambiental S/A (2016). Usina Termelétrica Bandeirantes. ([bit.ly/z8Jp7nW](#))

BRASIL (2015). Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. ([bit.ly/1RuoJm3](#))

Carbon Brief (2016). Analysis: Decline in China's coal consumption accelerates. Escrito por Sophie Yeo. Para Carbon Brief, 29 de fevereiro de 2016. ([bit.ly/1TOndTf](#))

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2016). Leilões. ([bit.ly/z8LoOmj](#))

Centro Clima (2014). Estimativa de redução das emissões de GEE até 2030, a partir de cenários de eficiência energética para veículos leves no Brasil. Centro Clima/Coppe/UFRJ, Abril de 2014. ([bit.ly/UqBsRC](#))

DASOL - Departamento Nacional de Aquecimento Solar (2016). Dados de Mercado. ([bit.ly/z8JL7oZ](#))

Dias, M. V. X.; Borotni, E. C. e Haddad, J. (2005). Geração Distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. Revista Brasileira de Energia, v. 11, n. 2, 2005.

Dietz, S. *et al* (2016). ‘Climate value at risk’ of global financial assets. Nature Climate Change. Letter.4 de abril de 2016. ([go.nature.com/1RVLG6a](#))

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (s.d.). Apresentação. DNIT - Ferroviário. ([bit.ly/z8JcmF6](#))

DOE - U.S. Department of Energy's e EPA - U.S. Environmental Protection Agency (2016). All-Electric Vehicles. ([1.usa.gov/z8JoSF5](#))

Energy PLAN (2016). Mesap PlaNet. ([bit.ly/z8JoXdP](#))

Envolverde (2015). Poluição do ar provoca 8 milhões de mortes. Envolverde, 27 de maio de 2015. ([bit.ly/z8JwD3o](#))

EPA - United States Environmental Protection Agency (2015). Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources. Executive Summary. ([1.usa.gov/z2TkEj1](#))

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2014a). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 - ano base 2013. ([bit.ly/1PMtPwY](#))

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2014b). Demanda de Energia 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA 13/14. Rio de Janeiro: EPE, agosto de 2014.

Fariello, D. (2012). Um milhão de lares brasileiros não têm energia elétrica. O Globo, 26 de dezembro de 2012. ([glo.bo/z8LOUtD](#))

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (2014). Os custos da (i)mobilidade nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo. ([bit.ly/z8LPoBJ](#))

Frankfurt School, UNEP Centre e Bloomberg New Energy Finance (2016). Global Trends in Renewable Energy Investment 2016. ([bit.ly/1WLnaWI](#))

GISTEMP Team (2016). GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). NASA Goddard Institute for Space Studies. ([go.nasa.gov/z8JQa3y](#))

Goldemberg, J. *et al* (1994). Energy efficiency from the perspective of developing countries. Energy for Sustainable Development, vol. 1, issue 2, July 1994, pp. 28-34.

Green Climate Fund (2016). Pledge Tracker. ([bit.ly/z8JuZtK](#))

Greenpeace (2016). Hidrelétricas na Amazônia: um mau negócio para o Brasil e para o mundo. ([bit.ly/z8JQgbl](#))

Greenpeace Brasil (2013). Dúvidas sobre fraturamento e xisto. ([bit.ly/z8JpoEH](#))

Greenpeace Brasil (2015a). Bandeira Vermelha: brasileiros pagaram R\$ 6 bilhões a mais na conta de luz em 2015. ([bit.ly/z8K5ifN](#))

Greenpeace Brasil (2015b). Desastre no Golfo do México completa cinco anos. ([bit.ly/z8JM7SD](#))

Greenpeace Brasil (2015c). Acidente em plataforma da Petrobras escancara precariedade de plano de contingência. ([bit.ly/z8JcEvQ](#))

Greenpeace Brasil (2015d). Leilão de óleo e gás do governo ameaça TIs e UCs. ([bit.ly/z8LQqw6](#)) Greenpeace Brasil (2015e). A Luta Pelo Rio da Vida. ([bit.ly/1PAdtcl](#))

Greenpeace Brasil (2016a). Fukushima: 5 anos depois, a energia nuclear ainda é um fantasma que nos ronda. ([bit.ly/z8JxrFu](#))

Greenpeace Brasil (2016b). Alvorada: Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil. ([bit.ly/z8IP6rx](#))

Greenpeace Brasil (2016c). Projeto de Lei visa liberar FGTS para gerarmos nossa própria eletricidade. ([bit.ly/z8IHAOT](#))

Greenpeace International (2008). Position Paper Offshore Oil and Gas Exploration and Production.Greenpeace International (2012). Lessons from Fukushima. ([bit.ly/z8JcOmT](#))

Greenpeace International (2015a). Carbon Capture and Storage Won't Save the Climate. 1 de novembro de 2015. ([bit.ly/z8LS1St](#))

Greenpeace International (2015b). Energy [R]evolution: a sustainable world energy outlook 2015. 100% renewable energy for all. ([bit.ly/1MCqbY3](#))

Greenpeace International (2016). Nuclear scars: The Lasting Legacies of Chernobyl and Fukushima. ([bit.ly/1U3S5zj](#))

GVces (2015). Propostas para implementação do Plano Indústria de Baixo Carbono: eficiência energética na indústria. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo: 2015.

Henriques Jr., M. F.; Dantas, F. e Schaeffer, R. (2010). Potential for reduction of CO2 emissions and a low-carbon scenario for the Brazilian industrial sector. Energy Policy, v. 38, i. 4, abril de 2010, pp. 1946-1961.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013). ([bit.ly/z8JvxA3](#))

IEA - International Energy Agency (2014). Energy balance of non-OECD countries (2014 edition). IEA energy statistics (Beyond 20/20). Paris, International Energy Agency.

IEA - International Energy Agency (2015a). Key World Energy Statistics 2015. ([bit.ly/1PDDLtQ](#))

IEA - International Energy Agency (2015b). Energy Efficiency Market Report 2015: Market Trends and Medium-Term Prospects. ([bit.ly/1UWxa15](#))

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2016). Programa Brasileiro de Etiquetagem. ([bit.ly/z8IPtIS](#))

IRENA - International Renewable Energy Agency (2016). Renewable Energy Benefits: Measuring The Economics. IRENA, Abu Dhabi, 2016. ([bit.ly/1JQZU7L](#))

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (s.d.). Apresentação. DNIT - Ferroviário. ([bit.ly/z8JcmF6](#))

DOE - U.S. Department of Energy's e EPA - U.S. Environmental Protection Agency (2016). All-Electric Vehicles. ([1.usa.gov/z8JoSF5](#))

Energy PLAN (2016). Mesap PlaNet. ([bit.ly/z8JoXdP](#))

Envolverde (2015). Poluição do ar provoca 8 milhões de mortes. Envolverde, 27 de maio de 2015. ([bit.ly/z8JwD3o](#))

EPA - United States Environmental Protection Agency (2015). Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources. Executive Summary. ([1.usa.gov/z2TkEj1](#))

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2014a). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 - ano base 2013. ([bit.ly/1PMtPwY](#))

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2014b). Demanda de Energia 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA 13/14. Rio de Janeiro: EPE, agosto de 2014.

Fariello, D. (2012). Um milhão de lares brasileiros não têm energia elétrica. O Globo, 26 de dezembro de 2012. ([glo.bo/z8LOUtD](#))

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (2014). Os custos da (i)mobilidade nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo. ([bit.ly/z8LPoBJ](#))

Frankfurt School, UNEP Centre e Bloomberg New Energy Finance (2016). Global Trends in Renewable Energy Investment 2016. ([bit.ly/1WLnaWI](#))

GISTEMP Team (2016). GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). NASA Goddard Institute for Space Studies. ([go.nasa.gov/z8JQa3y](#))

Goldemberg, J. *et al* (1994). Energy efficiency from the perspective of developing countries. Energy for Sustainable Development, vol. 1, issue 2, July 1994, pp. 28-34.

Green Climate Fund (2016). Pledge Tracker. ([bit.ly/z8JuZtK](#))

Greenpeace (2016). Hidrelétricas na Amazônia: um mau negócio para o Brasil e para o mundo. ([bit.ly/z8JQgbl](#))

Greenpeace Brasil (2013). Dúvidas sobre fraturamento e xisto. ([bit.ly/z8JpoEH](#))

Greenpeace Brasil (2015a). Bandeira Vermelha: brasileiros pagaram R\$ 6 bilhões a mais na conta de luz em 2015. ([bit.ly/z8K5ifN](#))

Greenpeace Brasil (2015b). Desastre no Golfo do México completa cinco anos. ([bit.ly/z8JM7SD](#))

Greenpeace Brasil (2015c). Acidente em plataforma da Petrobras escancara precariedade de plano de contingência. ([bit.ly/z8JcEvQ](#))

Greenpeace Brasil (2015d). Leilão de óleo e gás do governo ameaça TIs e UCs. ([bit.ly/z8LQqw6](#)) Greenpeace Brasil (2015e). A Luta Pelo Rio da Vida. ([bit.ly/1PAdtcl](#))

Greenpeace Brasil (2016a). Fukushima: 5 anos depois, a energia nuclear ainda é um fantasma que nos ronda. (bit.ly/28JxrFu)

Greenpeace Brasil (2016b). Alvorada: Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil. (bit.ly/28IP6rx)

Greenpeace Brasil (2016c). Projeto de Lei visa liberar FGTS para gerarmos nossa própria eletricidade. (bit.ly/28IHAOT)

Greenpeace International (2008). Position Paper Offshore Oil and Gas Exploration and Production.Greenpeace International (2012). Lessons from Fukushima. (bit.ly/28JcOmT)

Greenpeace International (2012). Lessons from Fukushima. (bit.ly/28JcOmT)

Greenpeace International (2015a). Carbon Capture and Storage Won't Save the Climate. 1 de novembro de 2015. (bit.ly/28LS1St)

Greenpeace International (2015b). Energy [R]evolution: a sustainable world energy outlook 2015. 100% renewable energy for all. (bit.ly/1MCqbY3)

Greenpeace International (2016). Nuclear scars: The Lasting Legacies of Chernobyl and Fukushima. (bit.ly/1U3S5zi)

GVces (2015). Propostas para implementação do Plano Indústria de Baixo Carbono: eficiência energética na indústria. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo: 2015.

Henriques Jr., M. F.; Dantas, F. e Schaeffer, R. (2010). Potential for reduction of CO2 emissions and a low-carbon scenario for the Brazilian industrial sector. Energy Policy, v. 38, i. 4, abril de 2010, pp. 1946-1961.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013). (bit.ly/28JvxA3)

IEA - International Energy Agency (2014). Energy balance of non-OECD countries (2014 edition). IEA energy statistics (Beyond 20/20). Paris, International Energy Agency.

IEA - International Energy Agency (2015a). Key World Energy Statistics 2015. (bit.ly/1PDDLtQ)

IEA - International Energy Agency (2015b). Energy Efficiency Market Report 2015: Market Trends and Medium-Term Prospects. (bit.ly/1UWxa15)

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2016). Programa Brasileiro de Etiquetagem. (bit.ly/28IPtIS)

IRENA - International Renewable Energy Agency (2016). Renewable Energy Benefits: Measuring The Economics. IRENA, Abu Dhabi, 2016. (bit.ly/1JOZU7L)

Itau Unibanco (2015). Simulação - crescimento de longo prazo. Comunicação pessoal. Agosto de 2015.

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (2014). Cenários globais para uma mobilidade mais sustentável: Impactos e potencial da redução do uso do carro, promoção do transporte coletivo, modo a pé e bicicleta. Dezembro de 2014. (bit.ly/28L78KJ)

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (s.d.). Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS). (bit.ly/28JRF1E)

Jannuzzi, G. M. (2015). Eficiência Energética. In: Cadernos Adenauer xv (2014), n. 3. Eficiência energética. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, janeiro 2015. pp. 107-118.

Jannuzzi, G. M. e Jantim, H. (2016). Revolução Energética 2016 - Eficiência Energética. Relatório 1, Relatório 2 - Potenciais de Conservação de Energia e Relatório 3 - Cenário Transição para Renováveis. International Energy Initiative (IEI) e Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Jones, C. M. e Chaves, H. A. F. (2015). Assessment of yet-to-find-oil in the Pre-Salt area of Brazil. 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brasil, agosto de 2015. (bit.ly/28Jyo0H)

Lamberts, R., Dutra, L. e Pereira, F. O. R. (2014). Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª ed. Eletrobras/Procel, 2014.

LTC/PET/COPPE/UFRJ (2016). Revolução Energética Cenários para os Transportes no Brasil em 2050. Relatório Final. Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Programa de Engenharia de Transportes (PET/COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Março de 2016.

Magill, B. (2015). Water Use Rises as Fracking Expands. Scientific American, 1 de julho de 2015. (bit.ly/28Jadiz)

Marengo, J. A. et al (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. Geophysical Research Letters, vol. 38, L12703, 2011.

McKinsey Global Institute (2008). The Case for Investing in Energy Productivity. Fevereiro de 2008.

MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia (2006). Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano Pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia COPPE. MCT, 2006.

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (2013). Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação. Brasília: MDIC, Junho de 2013.

Medeiros, C. (2016). Angra 3: Eletronuclear mantém entrada em operação para final de 2020. Canal Energia, 27 de abril de 2016. (bit.ly/28Jd59q)

Miranda, R. F. C.; Szklo, A. e Schaeffer, R. (2015). Technical-economic potential of PV systems on Brazilian rooftops. Renewable Energy, v. 75, março de 2015, pp. 694-713.

MME - Ministério de Minas e Energia (2005). Balanço de Energia Útil - BEU 2005. Brasília: MME, 2005.

MME - Ministério de Minas e Energia e EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2012). Balanço Energético Nacional 2012. (ben.epe.gov.br)

MME - Ministério de Minas e Energia e EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2014). Balanço Energético Nacional 2014.

MME - Ministério de Minas e Energia e EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2015a). Balanço Energético Nacional 2015.

MME - Ministério de Minas e Energia e EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2015b). Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. (bit.ly/1SmCF7z)

OC - Observatório do Clima (2015). OC lança proposta de meta para o Brasil em Paris. (bit.ly/28Jd9pJ)

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2016). Histórico da Operação. Energia Armazenada. (bit.ly/28JaAcy)

ONU - Organização das Nações Unidas (2015). Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. (bit.ly/1RIQWjd)

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento (2016). Usina Termonuclear - ANGRA III - RJ. (pac.gov.br/obra/4548). Acesso em: 30 de abril de 2016.

Pensamento Verde (2014). Ceará possui a primeira usina de ondas da América Latina. Pensamento Verde, 30 de junho de 2014. (bit.ly/28JdiJx)

Polito, R. (2016). Eletrobras planeja retomar Angra 3. Valor Econômico. 30 de março de 2016. (bit.ly/28IQ5bb)

Polito, R. (2016). Plano de energia até 2050 incluirá novas usinas nucleares, diz MME. Valor Econômico, 24 de abril de 2016. (bit.ly/1SScsOt)

Portal Brasil (2016). Em oito anos, 1,2 milhão de residências vão gerar sua própria energia. Portal Brasil, 7 de março de 2016. (bit.ly/1LaAAdS)

Portal SEGS (2015). Potencial eólico do Brasil é de 500 GW, segundo DEWI. Portal SEGS, 9 de agosto de 2015. (bit.ly/28K7yE7)

Portugal-Pereira, J. et al (2015). Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Technoeconomic and environmental assessment in Brazil. Biomass and Bioenergy, vol. 81, 2015, pp. 521-533.

Prefeitura do Município de São Paulo (2011). Guia Sustentabilidade para Instalações Domiciliares Água e Energia. Prefeitura do Município de São Paulo, junho de 2011. (bit.ly/28JyYlX)

Quaino, L. (2012). Chevron poderia ter evitado vazamento, diz relatório da ANP. G1, 19 de julho de 2012. (glo.bo/1XO7MJn)

REN21 (2015). REN21 Renewables Global Status Report (GSR) 2015. (bit.ly/1TW6WXZ)

Rifkin, J. (2012). A Terceira Revolução Industrial: Como o Poder Lateral está Transformando a Energia, a Economia e o Mundo. São Paulo: M. Books, 2012.

Riscoti, J. F. C. e Sauer, I. L. (2013). An assessment of wind power prospects in the Brazilian hydrothermal system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 19, 2013, pp. 742-753.

Rubim, B. e Leitão, S. (2014). Falta Seriedade. O Globo, 9 de junho de 2014. (glo.bo/28KpXzW)

Rutovitz, J. e Harris, S. (2012). Calculating Global Energy Sector Jobs: 2012 methodology. Institute for Sustainable Futures da University of Technology Sydney, 2012. (bit.ly/28J55c6)

SAE - Secretaria de Assuntos Estratégicos (2015). Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima. (bit.ly/28JwjN7)

Saldiva, P. H. N. et al (2015). Avaliação dos impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação progressiva do componente biodiesel na matriz energética de transporte. Instituto Saúde e Sustentabilidade, julho de 2015. (bit.ly/28Jzg5l)

Santos, A. H. C. dos (2015). Avaliação Técnica e Financeira da Geração Fotovoltaica Integrada à Fachada de Edifícios de Escritórios Corporativos na Cidade de São Paulo. Tese (Doutorado em Ciência). Orientador: José Goldemberg. Programa de Pós-Graduação em Energia. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2015.

Santos, A. H. C. e Rodrigues, L. A. (2013). Eficiência Energética: dos usos finais à matriz de geração de energia. In: Pimentel, L. O. e Zibetti, F. W. (Org.). Eficiência energética, inovação e propriedade intelectual. 1 ed. Florianópolis: Funjab, 2013, v. I, pp. 69-80.

Santos, R. T. dos et al (2015). Demanda por investimentos em mobilidade urbana no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 41, pp. 79-134, mar. 2015.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estuda (2016). Emissões Totais. (bit.ly/28JSVSk)

Slezak, M. (2016). April breaks global temperature record, marking seven months of new highs. The Guardian, 16 de maio de 2016. (bit.ly/1TiHXAi)

Soares-Filho, B. et al (2014). Cracking Brazil's Forest Code. Science, vol. 344, issue. 6182, pp. 363-364, 25 de abril de 2014. (bit.ly/28JP5X6)

Soria, R. et al (2015). Hybrid concentrated solar power (CSP)-biomass plants in a semiarid region: A strategy for CSP deployment in Brazil. Energy Policy, 86, 2015, pp. 57-72.

UNDP - United Nations Development Programme (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision. (bit.ly/28K8gkn)

UNEP - United Nations Environment Programme (2014). Negociações Fundamentais Sobre Mudança Climática Crucial nos Próximos Dias em Lima. (bit.ly/28K8ich)

Valença, R. B. e Bernard, E. (2015). Another blown in the wind: bats and the licensing of wind farms in Brazil. Natureza & Conservação - Brazilian Journal of Nature Conservation, vol. 3, 2015, pp. 117-122.

WEG (2015). Bons ventos para energia eólica. 25 de setembro de 2015. (bit.ly/1Lhu44x)

Anexo

→ Demanda final de energia por fonte (PJ/ano) no cenário Base

1
Incluindo uso não-energético.

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total ¹	9.697	9.577	10.201	10.974	11.816	12.698	13.505	14.367
Total Uso Energético	9.027	8.741	9.261	9.916	10.604	11.324	12.087	12.904
Derivados de Petróleo	3.691	3.448	3.436	3.421	3.550	3.646	3.760	3.918
Gás Natural	547	558	592	685	747	865	936	1.041
Carvão	498	456	477	520	545	575	579	568
Eletricidade	1.799	1.771	1.933	2.233	2.427	2.729	2.976	3.317
Biomassa	2.471	2.479	2.789	3.020	3.295	3.465	3.791	4.012
Solar Térmica	21	29	33	37	40	43	46	49
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustíveis Sintéticos	0	0	0	0	0	0	0	0
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	0	0	0	0	0	0

→ Demanda final de energia por fonte no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total Uso Energético	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Derivados de Petróleo	41%	39%	37%	34%	33%	32%	31%	30%
Gás Natural	6%	6%	6%	7%	7%	8%	8%	8%
Carvão	6%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	4%
Eletricidade	20%	20%	21%	23%	23%	24%	25%	26%
Biomassa	27%	28%	30%	30%	31%	31%	31%	31%
Solar Térmica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hidrogênio	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Combustíveis Sintéticos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Calor do Ambiente e de Processos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

→ Demanda final de energia por fonte (PJ/ano) no cenário [R]evolução Energética

2
Incluindo uso não-energético.

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total ²	9.697	9.242	8.889	8.505	8.434	8.451	8.380	8.312
Total Uso Energético	9.027	8.405	7.948	7.447	7.222	7.077	6.962	6.849
Derivados de Petróleo	3.691	3.248	2.713	2.142	1.331	738	311	0
Gás Natural	547	469	374	289	224	159	86	0
Carvão	498	429	344	281	221	153	76	0
Eletricidade	1.799	1.743	1.816	1.917	2.237	2.527	2.835	3.109
Biomassa	2.471	2.462	2.597	2.664	3.010	3.252	3.355	3.383
Solar Térmica	21	54	105	150	194	238	282	327
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	1	7
Combustíveis Sintéticos	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	1	3	5	10	16	23

→ Demanda final de energia por fonte no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total Uso Energético	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Derivados de Petróleo	41%	39%	34%	29%	18%	10%	4%	0%
Gás Natural	6%	6%	5%	4%	3%	2%	1%	0%
Carvão	6%	5%	4%	4%	3%	2%	1%	0%
Eletricidade	20%	21%	23%	26%	31%	36%	41%	45%
Biomassa	27%	29%	33%	36%	42%	46%	48%	49%
Solar Térmica	0%	1%	1%	2%	3%	3%	4%	5%
Hidrogênio	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Combustíveis Sintéticos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Calor do Ambiente e de Processos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

→ Demanda final de energia por setor e por fonte (PJ/ano) no cenário Base

		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
3 Incluindo uso não-energético.	Total ⁵	9.697	9.577	10.201	10.974	11.816	12.698	13.505	14.367
4 Nos Transportes	Total Uso Energético	9.027	8.741	9.261	9.916	10.604	11.324	12.087	12.904
5 Na indústria	Transportes	3.308	3.244	3.343	3.533	3.747	3.990	4.254	4.554
6 Em outros setores	Derivados de Petróleo	2.605	2.492	2.409	2.345	2.396	2.436	2.483	2.574
	Gás Natural	67	34	21	7	4	0	0	0
	Eletricidade	7	14	16	19	25	29	33	38
	Eletricidade Renovável	5	12	13	15	20	24	28	32
	Biomassa	630	704	896	1.161	1.322	1.525	1.738	1.942
	Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0
	Combustíveis Sintéticos	0	0	0	0	0	0	0	0
	Participação de Renováveis ⁴	19,2%	22,1%	27,2%	33,3%	35,8%	38,8%	41,5%	43,3%
	Indústria	3.664	3.656	3.923	4.218	4.500	4.781	5.042	5.312
	Derivados de Petróleo	517	483	527	587	631	699	732	806
	Gás Natural	458	491	536	618	677	760	823	889
	Carvão	498	456	477	520	545	575	579	568
	Eletricidade	741	739	792	872	926	1.012	1.074	1.170
	Eletricidade Renovável	542	610	651	697	750	830	892	983
	Biomassa	1.449	1.488	1.592	1.621	1.720	1.734	1.834	1.879
	Solar Térmica	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0
	Calor do Ambiente e de Processos	0	0	0	0	0	0	0	0
	Participação de Renováveis ⁵	54,3%	57,4%	57,2%	55%	54,9%	53,6%	54,1%	53,9%
	Outros setores	2.056	1.840	1.995	2.166	2.357	2.553	2.791	3.039
	Derivados de Petróleo	569	473	499	489	523	511	545	539
	Gás Natural	22	33	36	60	66	104	112	152
	Carvão	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eletricidade	1.051	1.018	1.125	1.342	1.476	1.688	1.869	2.108
	Eletricidade Renovável	769	840	925	1.073	1.195	1.385	1.551	1.771
	Biomassa	392	287	301	238	253	206	218	191
	Solar Térmica	21	29	33	37	40	43	46	49
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0	
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	0	0	0	0	0	0	
Participação de Renováveis ⁶	57,5%	62,8%	63,1%	62,2%	63,1%	64%	65,1%	66,2	

→ Demanda final de energia por setor e por fonte (PJ/ano) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total ⁷	9.697	9.242	8.889	8.505	8.434	8.451	8.380	8.312
Total Uso Energético	9.027	8.405	7.948	7.447	7.222	7.077	6.962	6.849
Transportes	3.308	3.232	3.036	2.770	2.435	2.183	1.978	1.792
Derivados de Petróleo	2.605	2.442	2.091	1.670	983	501	191	0
Gás Natural	67	48	27	9	0	0	0	0
Eletricidade	7	28	78	166	272	347	418	455
Eletricidade Renovável	5	23	69	152	256	334	411	455
Biomassa	630	713	839	926	1.179	1.335	1.369	1.335
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	1	2
Combustíveis Sintéticos	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04
Participação de Renováveis ⁸	19,2%	22,8%	29,9%	38,9%	59%	76,5%	90%	100%
Indústria	3.664	3.434	3.272	3.123	3.169	3.200	3.193	3.181
Derivados de Petróleo	517	402	350	297	227	153	76	0
Gás Natural	458	404	333	272	217	154	83	0
Carvão	498	429	344	281	221	153	76	0
Eletricidade	741	740	735	731	837	947	1.057	1.171
Eletricidade Renovável	542	616	649	672	789	913	1.041	1.171
Biomassa	1.449	1.443	1.476	1.491	1.599	1.706	1.794	1.876
Solar Térmica	0	17	33	49	66	83	101	121
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	6
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	1	2	2	4	6	8
Participação de Renováveis ⁹	54,3%	60,5%	66%	70,9%	77,5%	84,6%	92,1%	100%
Outros setores	2.056	1.739	1.639	1.554	1.619	1.694	1.790	1.877
Derivados de Petróleo	569	403	272	176	122	84	44	0
Gás Natural	22	17	13	8	7	5	3	0
Carvão	0	0	0	0	0	0	0	0
Eletricidade	1.051	975	1.002	1.020	1.128	1.233	1.360	1.483
Eletricidade Renovável	769	813	885	938	1.063	1.190	1.339	1.483
Biomassa	392	306	281	248	232	211	192	172
Solar Térmica	21	38	72	101	128	155	181	206
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	0	1	2	6	10	15
Participação de Renováveis ¹⁰	57,5%	66,5%	75,5%	82,9%	88,1%	92,2%	96,2%	100%

→ Demanda final de energia (PJ/ano) no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total Uso Energético	9.027	8.741	9.261	9.916	10.604	11.324	12.087	12.904
Total de Fontes Renováveis	3.807	3.969	4.412	4.842	5.300	5.747	6.307	6.846
Participação de Fontes Renováveis	42,2%	45,4%	47,6%	48,8%	50%	50,8%	52,2%	53,1%
Uso Não-Energético	670	837	941	1.058	1.212	1.374	1.419	1.463
Petróleo	599	773	865	969	1.104	1.247	1.285	1.335
Gás Natural	66	56	67	80	97	116	122	128
Carvão	5	7	8	9	10	12	12	0

→ Demanda de energia primária (PJ/ano) no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Energia Primária ¹¹	12.252	11.578	12.282	13.546	14.390	15.452	16.433	17.237
Não Renovável	7.186	6.228	6.366	6.923	7.188	7.584	7.847	8.092
Carvão	892	761	894	1.106	1.188	1.281	1.328	1.358
Gás Natural	1.679	1.222	1.176	1.505	1.584	1.735	1.795	1.777
Petróleo	4.447	4.077	4.011	3.942	4.047	4.114	4.208	4.356
Nuclear	168	167	286	370	370	454	516	600
Renovável	5.065	5.349	5.916	6.623	7.202	7.868	8.586	9.146
Hidráulica	1.345	1.349	1.376	1.440	1.522	1.704	1.888	2.195
Eólica	44	210	278	381	442	541	575	623
Solar	21	49	77	105	153	202	256	303
Biomassa	3.656	3.742	4.185	4.697	5.085	5.420	5.861	6.012
Oceânica	0	0	0	0	0	1	7	13
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	0	0	0	0	0	0
Importação Líquida de Eletricidade	121	139	139	139	139	139	139	139
dos quais Renovável	88	114	114	111	112	114	115	116
Uso Não-Energético	670	837	941	1.058	1.212	1.374	1.419	1.463
Petróleo	599	773	865	969	1.104	1.247	1.285	1.335
Gás Natural	66	56	67	80	97	116	122	128
Carvão	5	7	8	9	10	12	12	0
Total ¹²	13.042	12.553	13.361	14.743	15.741	16.965	17.991	18.839
Total Renovável ¹³	5.154	5.464	6.030	6.734	7.315	7.981	8.701	9.262
	42%	47%	49%	49%	50%	51%	53%	53%

11
Uso energético

12
Inclui importações e uso não-energético

13
Uso energético

→ Demanda final de energia (PJ/ano) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total Uso Energético	9.027	8.405	7.948	7.447	7.222	7.077	6.962	6.849
Total de Fontes Renováveis	3.807	3.969	4.305	4.580	5.317	5.937	6.445	6.849
Participação de Fontes Renováveis	42,2%	47,2%	54,2%	61,5%	73,6%	83,9%	92,6%	100%
Uso Não-Energético	670	837	941	1.058	1.212	1.374	1.419	1.463
Petróleo	599	837	941	1.058	1.212	1.374	1.419	1.463
Gás Natural	66	52	77	108	148	196	230	267
Carvão	5	24	46	72	107	149	182	195

→ Demanda de energia primária (PJ/ano) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Energia Primária ¹⁴	12.252	11.042	10.359	9.685	9.559	9.493	9.378	9.101
Não Renovável	7.186	5.710	4.635	3.616	2.494	1.567	765	48
Carvão	892	716	684	478	382	233	108	0
Gás Natural	1.679	1.105	691	535	403	316	208	47
Petróleo	4.447	3.722	3.028	2.371	1.477	785	331	0
Nuclear	168	167	232	232	232	232	118	0
Renovável	5.065	5.332	5.725	6.069	7.065	7.926	8.614	9.054
Hidráulica	1.345	1.296	1.340	1.315	1.427	1.551	1.708	1.813
Eólica	44	210	299	431	490	670	783	1.007
Solar	21	90	171	298	535	707	950	1.112
Biomassa	3.656	3.753	3.914	4.010	4.587	4.956	5.121	5.56
Oceânica	0	0	0	12	21	31	37	43
Calor do Ambiente e de Processos	0	0	1	3	5	10	16	23
Importação Líquida de Eletricidade	121	139	139	139	139	139	139	139
dos quais Renovável	88	116	28	21	42	83	111	139
Uso Não-Energético	670	837	941	1.058	1.212	1.374	1.419	1.463
Petróleo	599	761	818	877	956	1.030	1.006	1.001
Gás Natural	66	52	77	108	148	196	230	267
Carvão	5	24	46	72	107	149	182	195
Total ¹⁵	13.042	12.018	11.439	10.881	10.909	11.006	10.936	10.703
Total Renovável ¹⁶	5.154	5.447	5.753	6.090	7.106	8.010	8.725	9.192
	41,7%	48,7%	54,8%	62%	73,3%	83,2%	91,7%	99,5%

14
Uso energético

15
Inclui importações e uso não-energético

16
Uso energético

→ Geração de eletricidade (TWh/ano) no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Usinas	531	530	584	695	755	868	951	1.077
Carvão	16	9	11	18	17	16	15	14
Gás Natural	66	32	33	60	67	73	76	82
Óleo Combustível	25	14	12	11	10	10	8	8
Diesel	13	12	12	10	9	9	8	6
Nuclear	15	15	26	34	34	42	47	55
Biomassa	10	9	18	38	40	51	52	55
Hidrelétrica	373	375	382	400	423	473	524	610
Eólica	12	58	77	106	123	150	160	173
Fotovoltaica	0	6	12	19	31	44	54	62
Solar Concentrada	0	0	0	0	0	0	4	9
Oceânica	0	0	0	0	0	0	2	4
Plantas de Cogeração	59	64	66	69	73	76	79	80
Carvão	3	1	1	2	2	3	3	3
Gás Natural	15	15	14	12	12	11	11	10
Óleo Combustível	6	6	6	6	6	6	7	6
Biomassa	36	42	45	48	53	55	58	60
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0
Geração Total	590	594	650	764	828	944	1.030	1.157
Não Renovável	159	104	116	153	158	170	175	185
Carvão	18	10	13	20	19	18	18	17
Gás Natural	81	46	47	73	79	85	88	93
Óleo Combustível	30	20	18	17	17	16	15	14
Diesel	13	12	12	10	9	9	8	6
Nuclear	15	15	26	34	34	42	47	55
Renovável	432	490	534	611	670	774	855	972
Hidrelétrica	373	375	382	400	423	473	524	610
Eólica	12	58	77	106	123	150	160	173
Fotovoltaica	0	6	12	19	31	44	54	62
Biomassa	46	52	63	86	93	106	110	115
Solar Concentrada	0	0	0	0	0	0	4	9
Oceânica	0	0	0	0	0	0	2	4
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0

→ Geração de eletricidade (TWh/ano) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Usinas	531	511	534	571	672	790	911	1.032
Carvão	16	8	5	0	0	0	0	0
Gás Natural	66	33	18	9	4	2	1	0
Óleo Combustível	25	16	6	4	5	0	0	0
Diesel	13	3	2	1	0	0	0	0
Nuclear	15	15	21	21	21	21	11	0
Biomassa	10	6	8	6	8	11	11	4
Hidrelétrica	373	360	372	365	396	431	474	503
Eólica	12	58	83	120	136	186	217	280
Fotovoltaica	0	10	18	36	78	99	130	150
Solar Concentrada	0	0	0	5	17	31	56	83
Oceânica	0	0	0	3	6	9	10	12
Plantas de Cogeração	59	64	66	69	73	76	79	76
Carvão	3	0	0	0	0	0	0	0
Gás Natural	15	14	13	12	11	8	3	0
Óleo Combustível	6	6	5	3	1	0	0	0
Biomassa	36	44	48	53	61	67	72	71
Hidrogênio	0	0	0	0	1	2	4	5
Geração Total	590	575	600	640	745	866	990	1.108
Não Renovável	159	96	70	52	43	30	15	0
Carvão	18	8	5	0	0	0	0	0
Gás Natural	81	47	31	21	15	9	5	0
Óleo Combustível	30	22	11	8	6	0	0	0
Diesel	13	3	2	1	0	0	0	0
Nuclear	15	15	21	21	21	21	11	0
Renovável	432	479	530	588	703	835	975	1.108
Hidrelétrica	373	360	372	365	396	431	474	503
Eólica	12	58	83	120	136	186	217	280
Fotovoltaica	0	10	18	36	78	99	130	150
Biomassa	46	51	56	59	69	77	83	75
Solar Concentrada	0	0	0	5	17	31	56	83
Oceânica	0	0	0	3	6	9	10	12
Hidrogênio	0	0	0	0	1	2	4	5

→ Geração de eletricidade no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Geração Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Não Renovável	27%	17%	18%	20%	19%	18%	17%	16%
Carvão	3%	2%	2%	3%	2%	2%	2%	1%
Gás Natural	14%	8%	7%	9%	9%	9%	9%	8%
Óleo Combustível	5%	3%	3%	2%	2%	2%	1%	1%
Diesel	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Nuclear	3%	3%	4%	4%	4%	4%	5%	5%
Renovável	73%	83%	82%	80%	81%	82%	83%	84%
Hidrelétrica	63%	63%	59%	52%	51%	50%	51%	53%
Eólica	2%	10%	12%	14%	15%	16%	16%	15%
Fotovoltaica	0%	1%	2%	2%	4%	5%	5%	5%
Biomassa	8%	9%	10%	11%	11%	11%	11%	10%
Solar Concentrada	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Oceânica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hidrogênio	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

→ Geração de eletricidade (TWh/ano) no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Outros								
Importações Líquidas	34	39	39	39	39	39	39	39
dos quais Renovável	0	0	0	0	0	0	0	0
Perda na Distribuição	93	99	108	127	138	157	171	193
E para Auto-Consumo ¹⁴	3 ¹	4 ¹	43	55	54	67	70	81
E para Produção de Hidrogênio ¹⁵	0	0	0	0	0	0	0	0
E para Produção de CS ¹⁶	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Final de Eletricidade	500	492	537	620	674	758	827	921
Renováveis Flutuantes ¹⁷	12	64	89	125	154	195	216	238
Participação Renováveis Flutuantes	2,1%	10,8%	13,7%	16,3%	18,6%	20,6%	21%	20,6%

14
Eletricidade para Auto-Consumo

15
Eletricidade para Produção de Hidrogênio

16
Eletricidade para Produção de Combustíveis Sintéticos

17
Fotovoltaica, Eólica e Oceânica.

→ Geração de eletricidade no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Geração Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Não Renovável	27%	17%	12%	8%	6%	4%	2%	0%
Carvão	3%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Gás Natural	14%	8%	5%	3%	2%	1%	0%	0%
Óleo Combustível	5%	4%	2%	1%	1%	0%	0%	0%
Diesel	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nuclear	3%	3%	4%	3%	3%	2%	1%	0%
Renovável	73%	83%	88%	92%	94%	96%	98%	100%
Hidrelétrica	63%	63%	62%	57%	53%	50%	48%	45%
Eólica	2%	10%	14%	19%	18%	22%	22%	25%
Fotovoltaica	0%	2%	3%	6%	10%	11%	13%	14%
Biomassa	8%	9%	9%	9%	9%	9%	8%	7%
Solar Concentrada	0%	0%	0%	1%	2%	4%	6%	7%
Oceânica	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%
Hidrogênio	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

→ Geração de eletricidade (TWh/ano) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Outros								
Importações Líquidas	34	39	39	39	39	39	39	39
dos quais Renovável	0	2	4	6	12	23	31	39
Perda na Distribuição	93	92	98	103	112	139	162	189
E para Auto-Consumo ¹⁸	3 ¹	37	36	43	47	55	57	61
E para Produção de Hidrogênio ¹⁹	0	0	0	0	4	8	22	33
E para Produção de CS ²⁰	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02
Consumo Final de Eletricidade	500	484	504	533	621	702	787	864
Renováveis Flutuantes ²¹	12	68	102	159	219	294	357	441
Participação Renováveis Flutuantes	2,1%	11,9%	16,9%	24,9%	29,4%	34%	36,1%	39,8%

18
Eletricidade para Auto-Consumo

19
Eletricidade para Produção de Hidrogênio

20
Eletricidade para Produção de Combustíveis Sintéticos

21
Fotovoltaica, Eólica e Oceânica.

→ Capacidade Instalada (GW) no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Usinas	120	160	180	212	230	257	273	292
Carvão	3	3	4	5	5	4	4	4
Gás Natural	10	12	14	19	20	20	20	21
Óleo Combustível	4	4	4	4	4	4	4	3
Diesel	4	4	4	4	4	4	3	3
Nuclear	2	2	3	4	4	5	6	7
Biomassa	3	3	5	10	10	13	13	14
Hidrelétrica	89	110	112	120	121	128	131	137
Eólica	5	18	23	32	37	45	48	52
Fotovoltaica	0	4	9	14	24	34	41	47
Solar Concentrada	0	0	0	0	0	0	2	3
Oceânica	0	0	0	0	0	0	1	1
Plantas de Cogeração	13	22	20	20	21	21	22	22
Carvão	0	0	0	1	1	1	1	1
Gás Natural	2	5	6	4	4	3	3	3
Óleo Combustível	1	2	3	3	3	3	3	3
Biomassa	10	14	12	13	14	14	15	16
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacidade Total	133	182	200	232	250	279	295	314
Não Renovável	27	33	39	44	45	44	44	44
Carvão	3	3	4	5	5	5	5	5
Gás Natural	13	17	19	22	23	23	23	23
Óleo Combustível	5	7	8	8	7	7	7	6
Diesel	4	4	4	4	4	4	3	3
Nuclear	2	2	3	4	4	5	6	7
Renovável	106	149	161	188	206	234	251	270
Hidrelétrica	89	110	112	120	121	128	131	137
Eólica	5	18	23	32	37	45	48	52
Fotovoltaica	0	4	9	14	24	28	29	30
Biomassa	12	17	16	22	24	28	29	30
Solar Concentrada	0	0	0	0	0	0	2	3
Oceânica	0	0	0	0	0	0	1	1
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	0	0

→ Capacidade Instalada (GW) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Usinas	120	156	167	191	228	257	294	330
Carvão	3	2	2	0	0	0	0	0
Gás Natural	10	11	7	4	2	1	1	0
Óleo Combustível	4	6	3	2	2	1	1	0
Diesel	4	1	1	0	0	0	0	0
Nuclear	2	2	3	3	3	3	1	0
Biomassa	3	3	3	3	2	2	2	1
Hidrelétrica	89	106	109	109	110	110	111	112
Eólica	5	18	25	37	42	57	66	85
Fotovoltaica	0	8	14	27	54	69	87	100
Solar Concentrada	0	0	0	3	7	12	21	26
Oceânica	0	0	0	3	6	3	4	5
Plantas de Cogeração	13	22	24	21	21	21	20	19
Carvão	0	0	0	0	0	0	0	0
Gás Natural	2	8	9	6	5	3	1	0
Óleo Combustível	1	2	2	2	0	0	0	0
Biomassa	10	12	13	14	16	18	19	18
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	1	1
Capacidade Total	133	178	191	212	249	278	314	349
Não Renovável	27	32	27	16	13	7	3	0
Carvão	3	2	2	0	0	0	0	0
Gás Natural	13	19	17	10	7	4	2	0
Óleo Combustível	5	8	5	3	3	0	0	0
Diesel	4	1	1	0	0	0	0	0
Nuclear	2	2	3	3	3	3	1	0
Renovável	106	146	164	196	236	272	311	349
Hidrelétrica	89	106	109	109	110	110	111	112
Eólica	5	18	25	37	42	57	66	85
Fotovoltaica	0	8	14	27	54	69	87	100
Biomassa	12	14	15	17	18	20	21	19
Solar Concentrada	0	0	0	3	7	12	21	26
Oceânica	0	0	0	3	6	3	4	5
Hidrogênio	0	0	0	0	0	0	1	1

→ Capacidade Instalada (GW) no cenário [R]evolução Energética (Cont.)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cobertura do Pico de Carga								
Pico de Carga	268	261	261	278	311	361	396	443
Capacidade Assegurada	96	119	121	122	131	138	152	161
Part. de Capacidade Assegurada	36%	45%	46%	44%	42%	38%	38%	36%

→ Emissões de CO₂ (milhões de toneladas/ano) no cenário Base

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Por Setor								
% em relação a 1990 ²²	296%	259%	259%	275%	284%	296%	303%	314%
Indústria	135	128	136	150	159	173	180	188
Outros setores	47	40	42	43	46	47	50	52
Transportes	213	202	195	189	193	195	199	207
Geração de Eletricidade	86	51	50	66	67	68	66	67
Outras Conversões ²³	30	25	24	25	26	27	27	27

Em Usinas e Plantas de Cogeração								
Carvão	20	11	13	20	19	19	19	18
Gás Natural	44	25	25	38	41	44	45	48
Óleo Combustível e Diesel	38	29	25	21	19	18	16	14
Usinas Termelétricas								
Carvão	17	9	12	18	17	16	15	14
Gás Natural	34	16	17	31	35	38	40	43
Óleo Combustível	17	9	9	8	7	7	6	5
Diesel	17	16	13	10	18	7	6	5
Plantas de Cogeração								
Carvão	3	1	2	3	3	3	4	4
Gás Natural	9	9	8	7	7	6	6	5
Óleo Combustível	4	4	4	4	4	4	4	4

Intensidade de CO ₂ (g/kWh)								
Geração de E Fontes Fósseis ²⁴	712	738	712	670	645	634	625	616
Geração de E Total ²⁵	173	110	98	105	96	86	78	69

População (milhões)	200	211	218	223	227	229	231	231
Emissões de CO ₂ per capita	2,6	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3

→ Emissões de CO₂ (milhões de toneladas/ano) no cenário [R]evolução Energética

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Por Setor								
% em relação a 1990 ²⁶	296%	234%	186%	143%	93%	53%	24%	0%
Indústria	135	112	93	78	60	41	20	0
Outros setores	47	33	23	15	10	7	4	0
Transportes	213	199	169	135	79	40	15	0
Geração de Eletricidade	86	41	21	9	6	1	1	0
Outras Conversões ²⁷	30	18	13	10	6	3	1	0

Em Usinas e Plantas de Cogeração								
Carvão	20	8	5	0	0	0	0	0
Gás Natural	44	26	17	12	8	5	2	0
Óleo Combustível e Diesel	38	19	10	6	4	0	0	0
Usinas Termelétricas								
Carvão	17	8	5	0	0	0	0	0
Gás Natural	34	17	9	5	2	1	1	0
Óleo Combustível	17	11	4	3	4	0	0	0
Diesel	17	4	2	1	0	0	0	0
Plantas de Cogeração								
Carvão	3	0	0	0	0	0	0	0
Gás Natural	9	9	8	7	6	4	2	0
Óleo Combustível	4	4	3	2	0	0	0	0

Intensidade de CO ₂ (g/kWh)								
Geração de E Fontes Fósseis ²⁸	712	658	645	596	579	530	515	994
Geração de E Total ²⁹	173	92	53	28	17	6	2	0

População (milhões)	200	211	218	223	227	229	231	231
Emissões de CO ₂ per capita	2,6	1,9	1,5	1,1	0,7	0,4	0,2	0,0

22
% em relação às emissões de 1990 (172,37 milhões de toneladas).

23
Refinarias, transformação de carvão, transporte de gás natural.

24
Geração de Eletricidade Fontes Fósseis

25
Geração de Eletricidade Total

26
% em relação às emissões de 1990 (172,37 milhões de toneladas).

27
Refinarias, transformação de carvão, transporte de gás natural.

28
Geração de Eletricidade Fontes Fósseis

29
Geração de Eletricidade Total

→ Investimento na geração de eletricidade (bilhões de reais) no cenário Base

	2014-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2014-2050	Média Anual 2014-2050
Total	390,7	419,9	437,7	448,3	1697,7	45,9
Fósseis e Nuclear	39,1	81,2	67,6	67,4	255,4	6,9
Renováveis	351,6	338,6	370,2	380,9	1441,3	39,0
Biomassa	67,3	105,2	92,2	54,8	319,4	8,6
Hidrelétrica	221,4	155,1	137,0	199,6	713,2	19,3
Eólica	43,2	43,2	82,1	59,2	227,8	6,2
Fotovoltaica	19,8	35,0	58,8	44,2	157,8	4,3
Solar Concentrada	0,0	0,0	0,0	14,1	14,1	0,4
Oceânica	0,0	0,0	0,0	9,0	9,0	0,2

→ Economia com combustíveis na geração de eletricidade³⁰

	2014-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2014-2050	Média Anual 2014-2050
Óleo Combustível	-2,3	26,4	55,3	68,7	148,2	4,0
Gás Natural	4,6	96,0	246,8	325,9	673,3	18,2
Carvão	0,8	11,0	22,0	23,5	57,3	1,5
Nuclear	0,0	2,4	6,8	21,3	30,6	0,8
Total	3,1	135,9	330,9	439,3	909,3	24,6

→ Investimento na geração de eletricidade (bilhões de reais) no cenário [R]evolução Energética

	2014-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2014-2050	Média Anual 2014-2050
Total	359,5	388,4	503,1	495,8	1746,9	47,2
Fósseis e Nuclear	40,9	26,4	38,5	2,7	108,5	2,9
Renováveis	318,7	362,0	464,6	493,2	1638,4	44,3
Biomassa	44,0	71,7	63,2	32,4	211,4	5,7
Hidrelétrica	195,3	120,8	99,4	161,1	576,6	15,6
Eólica	44,2	55,9	101,9	129,4	331,4	9,0
Fotovoltaica	35,2	66,9	124,5	95,8	322,3	8,7
Solar Concentrada	0,0	14,4	51,9	65,4	131,6	3,6
Oceânica	0,0	32,3	23,7	9,1	65,1	1,8

→ Fatores de Emprego

	Anos de Construção	Construção de Usinas	Fabricação de Usinas	Operação e Manutenção	Comb. ³¹	F. de Aj. Regional ³²
Carvão	4	4,4	1,5	0,15	15,4e/PJ	Não ^C
Gás Natural	2	1,3	0,9	0,14	21,9e/PJ	Sim ^A
Óleo Combustível	2	1,4	0,1	0,05	0,12e/GWh	Sim ^A
Diesel	2	1,4	0,1	0,05	0,12e/GWh	Sim ^A
Nuclear	10	19,6	1,3	1,15	0,001e/GWh	Não ^B
Biomassa	2	14,0	2,9	1,55	29,9e/PJ	Sim ^A
Hidrelétricas	5	7,4	2,5	0,2	-	Sim ^A
P.C. Hidrelétricas ³³	3	31,1	5,5	1,60	-	Não ^B
Eólicas	3	7,7	3,3	0,57	-	Não ^C
Fotovoltaica	2	18,0	11,5	0,49	-	Não ^C
Solar Concentrada	3	10,0	7,2	1,25	-	Sim ^A
Oceânica	2	10,2	10,2	0,6	-	Sim ^A
Calor do A. (Aq) ³⁴	-	-	-	-	6,9e/MW	Sim ^A
Solar (Aq) ³⁵	-	-	-	-	8,4MW	Sim ^A

30
Cenário Base *menos* Cenário [R]evolução Energética.

31
Combustível (empregos/PJ) ou (empregos/GWh)

32
Fator de Ajuste Regional
A. O fator de ajuste regional é utilizado para transformar fatores de empregos internacionais para a realidade local. Os fatores de empregos internacionais e de ajustes podem ser consultados em Greenpeace International (2015b).
B. Fatores de empregos em Greenpeace Brasil (2013b).
C. Fatores de empregos de Canal Energia (2016), Tractebel (2008) e IDG (2016).

33
Pequenas Centrais Hidrelétricas

34
Calor do Ambiente - Aquecimento

35
Solar - Aquecimento

→ Taxas de crescimento anual do PIB consideradas (%)³⁶

36

Taxas fornecidas pelo Itaú BBA (2015).

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
-2,3%	-1,0%	0,4%	1,7%	1,8%	2,0%	2,1%	2,3%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
2,5%	2,4%	2,4%	2,4%	2,3%	2,3%	2,2%	2,2%	2,2%	2,1%	2,1%	2,1%
2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
2,1%	2,0%	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%

Expediente

COORDENAÇÃO GERAL

Greenpeace Brasil

EQUIPE

Larissa Araujo Rodrigues, Ricardo Baitelo, Renata Nitta

MODELAGEM DOS CENÁRIOS

Institut for Engineering Thermodynamics do Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (German Aerospace Center)

EQUIPE

Sonja Simon, Hans Christian Gils, Tobias Fichter

COLABORAÇÃO E REVISÃO DOS CENÁRIOS

Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

COORDENAÇÃO

Roberto Schaeffer, Alexandre Sklo e Andre Frossard Pereira de Lucena

EQUIPE

Rafael Soria, Bruno Scola Lopes da Cunha, Rodrigo Milani, Mariana Império, Fernanda Guedes, Cindy Carolina Viviescas

SETOR DE TRANSPORTES

Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

COORDENAÇÃO

Márcio de Almeida D’Agosto

EQUIPE

Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Fabio dos Santos Gonçalves, Cíntia Machado de Oliveira, Fabiana do Couto Assumpção

EFICIÊNCIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA PARA INDÚSTRIA E OUTROS SETORES

International Energy Initiative e Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

COORDENAÇÃO

Gilberto M. Jannuzzi

EQUIPE

Humberto Jantim

REDAÇÃO

Marina Yamaoka

EDIÇÃO

Thaís Herrero

REVISÃO

Kátia Shimabukuro

ARTE E DIAGRAMAÇÃO

Estúdio Barca

O Greenpeace é uma organização global e independente que atua para defender o meio ambiente e promover a paz, inspirando as pessoas a mudarem atitudes e comportamentos. Investigando, expondo e confrontando crimes ambientais, desafiamos os tomadores de decisão a reverem suas posições e adotarem novos conceitos. Também defendemos soluções economicamente viáveis e socialmente justas, que ofereçam esperança para esta e para as futuras gerações.

GREENPEACE

[R]EVOLUÇÃO ENERGÉTICA

Greenpeace Brasil,
Rua Fradique Coutinho 352
Pinheiros, São Paulo,
CEP 05416-000, Brasil
www.greenpeace.org.br/revolucao

Impresso em papel FSC