

# [r]evolução energética

A CAMINHO DO DESENVOLVIMENTO LIMPO



© GREENPEACE / ROGERIO REIS/VEBA

**GWEC**  
CONSELHO INTERNACIONAL DE ENERGIA EOLICA

**GREENPEACE**



© GREENPEACE / ROGERIO REIS/TYBA

## expediente

**Greenpeace Internacional  
GWEC (Conselho Interna-  
cional de Energia Eólica)**

**Erec (Conselho Europeu  
de Energia Renovável)**

**coordenação de projeto  
e autoria:** Sven Teske,  
Greenpeace Internacional

**design & layout:** onehemisphere,  
Suécia, [www.onehemisphere.se](http://www.onehemisphere.se)

**edição brasileira**

**coordenação de projeto:**  
Ricardo Baitelo

**redação:** Marina Yamaoka,  
Renata Nitta, Ricardo Baitelo,  
Romulo Batista

**edição:**  
Leonardo Medeiros (MTb 39.511)

**revisão:**  
Jenifer Ianof de la Fuente

**diagramação:** Karen Francis

**agosto de 2013**

**coordenação técnica:**  
Ricardo Baitelo

**pesquisa**

Modelagem geral: DLR, Instituto  
de Termodinâmica Técnica,  
Departamento de Análise  
de Sistemas e Avaliação de  
Tecnologia, Stuttgart, Alemanha;  
Dr. Thomas Pregger,  
Dr. Sonja Simon, Dr. Tobias  
Naegler, Marlene O'Sullivan.

**consultoria do setor de  
eletricidade:** Ricardo Fujii

(Universidade de São Paulo, Brasil);  
**consultoria do setor industrial:**  
Tatiana Gerosa (Universidade de  
São Paulo, Brasil); **consultoria  
do setor de transportes:**  
Márcio D'Agosto, Ilton Curty Leal  
Jr, Marcelino Aurélio Vieira da  
Silva, Juliana de Castro, Vanessa de

Almeida Guimarães, Luiza Santana  
Franca (Programa de Engenharia  
de Transportes da COPPE/  
UFRJ, Brasil); **premissas  
econômicas:** Itaú, Brasil.

**eficiência energética:**  
Universidade de Utrecht, Holanda:  
Wina Graus, Katerina Kermeli;  
Assessoria de Pesquisa de

Combustíveis Fósseis: Ludwig-  
Bölkow Systemtechnik, Munich,  
Alemanha; Dr. Werner Zittel;  
Cálculo de Empregos: Instituto para  
Futuros Sustentáveis, Universidade  
de Tecnologia, Sydney; Jay  
Rutovitz; Tecnologia de Redes:  
energynautics GmbH, Langen/  
Alemanha; Dr. Thomas Ackermann,  
Rena Ruwahata, Nils Martensen.



## índice

<b>prefácio</b>	<b>06</b>	<b>4</b> <b>eficiência energética</b>	<b>42</b>
<b>introdução</b>	<b>07</b>	4.1 metodologia para projeções de demanda energética	43
<b>sumário executivo (resumo)</b>	<b>09</b>	4.2 eficiência na indústria	44
<b>1</b> <b>políticas energéticas e proteção do clima</b>	<b>13</b>	4.2.1 demanda de energia no cenário de referência: indústria	44
1.1 o efeito estufa e as mudanças climáticas	14	4.2.2 cenário de baixa demanda de energia: indústria	44
1.2 a convenção-quadro sobre mudanças do clima e o protocolo de Kyoto	14	4.2.3 resultados para a indústria: a eficiência no cenário [r]evolução energética	44
1.3 participação do setor energético nas emissões	14	4.3 setores residencial, comercial e rural	44
1.4 políticas energéticas	15	4.3.1 demanda de energia no cenário de referência: residências, comércio e área rural	44
1.5 metas para fontes renováveis	15	4.3.2 uso de combustível e de calor	46
1.6 setor elétrico, segurança e planejamento	15	4.3.3 uso da eletricidade	48
1.7 mudanças em políticas energéticas	16	4.4 o conceito de residência padrão	50
1.8 como implementar a revolução energética: segurança para os mercados de fontes renováveis	16	4.5 resultados para os setores residencial, comercial, público e rural: o caminho da eficiência energética	50
<b>2</b> <b>fontes e tecnologias de geração de energia</b>	<b>17</b>	<b>5</b> <b>transportes</b>	<b>51</b>
2.1 combustíveis fósseis	18	5.1 metodologia	53
2.1.1 pré-sal	18	5.2 alternativas para a redução do consumo de energia e de emissões	54
2.1.2 gás natural	19	5.3 transferência modal	54
2.1.3 tecnologias de combustão a gás	19	5.4 adoção de tecnologias para melhoria da eficiência energética	55
2.1.4 carvão	20	5.5 maior diversificação da matriz de combustível	56
2.2 energia nuclear	21	5.6 otimização da capacidade dos veículos e redução na intensidade de uso	56
2.3 energias renováveis	22	<b>6</b> <b>resultados do cenário</b>	<b>57</b>
2.3.1 energia hidrelétrica	22	6.1 projeções de crescimento	58
2.3.2 energia eólica	23	6.1.1 crescimento populacional	58
2.3.3 energia solar	24	6.1.2 crescimento econômico	58
2.3.4 biomassa	28	6.2 evolução do consumo final de energia	59
2.3.4.1 biocombustíveis	28	6.3 evolução da geração de eletricidade	61
2.3.5 energia oceânica	29	6.4 consumo de eletricidade	62
2.3.6 energia geotérmica	31	6.4.1 cenário de referência 2050	62
<b>3</b> <b>o conceito da revolução energética</b>	<b>32</b>	6.4.2 cenário [r]evolução energética 2050	62
3.1 um caminho para o desenvolvimento	34	6.5 custos e investimentos futuros de geração de eletricidade	63
3.1.1 eficiência energética	34	6.6 uso de calor em edifícios e indústrias	65
3.1.2 energia descentralizada	34	6.7 transportes	65
3.1.3 integração otimizada 24/7	35	6.8 evolução das emissões de CO <sub>2</sub>	66
3.2 a nova rede elétrica	36	6.9 consumo de energia primária	67
3.2.1 sistemas híbridos	37	<b>7</b> <b>empregos</b>	<b>69</b>
3.2.2 redes inteligentes	37	7.1 metodologia do cálculo de empregos	70
3.2.3 a super-rede	39	7.2 visão geral	70
3.3 a energia de base será a melhor opção para o desenvolvimento?	39	7.3 limitações	71
		7.4 fatores de emprego	71
		7.5 fatores regionais de ajuste	73
		7.6 comércio de carvão, gás natural e energias renováveis	73
		7.7 ajuste de curvas de aprendizado – fator de declínio	73
		7.8 geração de empregos no setor de eletricidade	75
		<b>apêndice</b>	<b>76</b>
		cenário de referência	77
		cenário revolução energética	78
		investimentos & empregos	79

## lista de figuras

<b>2</b> figura 2.1	esquema de hidrelétrica de fio d'água	23
figura 2.2	esquema de hidrelétrica com reservatório	23
figura 2.3	crescimento do tamanho de uma turbina eólica comercial típica	24
figura 2.4	efeito fotovoltaico	25
figura 2.5	tecnologia fotovoltaica	25
figuras 2.6	tipos de usina solar concentrada (CSP)	26
figura 2.7	sistema de fluxo natural versus sistema de circulação forçada	27
figura 2.8	colunas de água oscilante	30
figura 2.9	sistema de corpo oscilante	30
figura 2.10	dispositivos de galgamento	30
figura 2.11	esquema de uma usina hidrelétrica reversível	31
<b>3</b> figura 3.1	um futuro energético descentralizado	35
figura 3.2	rede inteligente para a [r]evolução energética	38
figuras 3.3	a evolução das redes	40
<b>4</b> figura 4.1	demanda final de energia por setores nos cenários de referência e revolução energética	44
figura 4.2	demanda final de energia no setor industrial	45
figura 4.3	demanda de combustível e calor no setor industrial	45
figura 4.4	demanda de eletricidade no setor industrial	45
figura 4.5	demanda de combustíveis e calor nos setores residencial, comercial e rural (PJ)	46
figura 4.7	novos elementos para redução de uso de energia em edifícios	47
<b>5</b> figura 5.1	consumo final de energia no Brasil	52
figura 5.2	participação do consumo de energia por combustíveis no setor transportes	52
figura 5.3	evolução de consumo de energia por modais	54
figura 5.4	consumo energético por fonte	56
<b>6</b> figura 6.1	projeção da demanda final de energia por setor em ambos os cenários	60
figura 6.2	desenvolvimento da demanda final de energia no setor de transportes por modais no cenário [r]evolução energética	60
figura 6.3	desenvolvimento da demanda de eletricidade por setores no cenário [r]evolução energética	60
figura 6.4	evolução de energias renováveis em ambos os cenários	61
figura 6.5	geração de eletricidade no cenário de referência	62
figura 6.6	geração de eletricidade no cenário [r]evolução energética	63
figura 6.7	evolução dos custos totais de fornecimento de eletricidade e custos de geração por MWh em ambos os cenários	63
figura 6.8	investimentos do setor elétrico	64
figura 6.9	demanda final de energia por fonte em ambos os cenários	65
figura 6.10	consumo final de energia no setor de transportes em ambos os cenários	66
figura 6.11	evolução de emissões de CO <sub>2</sub> por setores em ambos os cenários	67
figura 6.12	projeção da demanda de energia primária em ambos os cenários	67
<b>7</b> figura 7.1	cálculo de empregos do setor energético: visão geral	71

## lista de tabelas

<b>4</b> tabela 4.1	consumo energético final dos setores residencial, comercial, público e rural (PJ)	47
tabela 4.2	usos finais no setor residencial - participação no consumo e potencial técnico de redução de consumo	49
<b>5</b> tabela 5.1	fatores de emissão para transporte de carga	53
<b>6</b> tabela 6.1	projeção do crescimento do PIB	58
tabela 6.2	projeção da evolução da elasticidade-renda	59
tabela 6.3	projeção de energias renováveis (GW)	61
tabela 6.4	diferença de custos de investimentos em eletricidade e de custos de economia de combustíveis entre os dois cenários	64
tabela 6.5	demanda de energia no setor de transportes por modais em ambos os cenários	66
<b>7</b> tabela 7.1	fatores de emprego	72
tabela 7.2	empregos: comparação de fatores nacionais e fatores dos países da OECD	73
tabela 7.3	proporção de combustíveis produzidos no Brasil	73
tabela 7.4	fator de declínio para custos de tecnologias	74
tabela 7.5	geração de empregos por fonte em ambos os cenários	75

## prefácio



imagem USINA FOTOVOLTAICA NA UTE NORTE FLUMINENSE.

### a energia em poder do cidadão

RICARDO ABRAMOVAY<sup>1</sup>

Não é preciso ser especialista no tema para saber que o Brasil tem a matriz energética mais limpa do mundo, quando comparada com a de países do tamanho de sua população e de sua economia. Se isso é verdade, será que não é fútil o exercício levado adiante neste estudo? Nosso desempenho tão superior ao de outras nações tão ou mais ricas que nós não é a expressão de que o caminho do desenvolvimento limpo já está sendo trilhado? Ao responder a essa pergunta com um sonoro não, o Greenpeace põe o dedo na ferida do próprio modelo de crescimento econômico brasileiro e, antes de tudo, da dificuldade de norteá-lo pela inovação. Mais que isso, ele mostra que a atual orientação do país não está permitindo a emergência do poder do cidadão em matéria de energia.

A esmagadora maioria dos investimentos brasileiros em inovação na área de energia concentra-se no petróleo ou na instalação de unidades de produção daquilo que já está totalmente amadurecido, as hidrelétricas. No extraordinário e fascinante empenho das mais importantes economias globais em energia solar, eólica, geotérmica ou oceânica, o Brasil é retardatário e, até aqui, sem nenhuma contribuição relevante em matéria de pesquisa e inovação. Mesmo na biomassa, em que o país adquiriu uma reputação notável, com acordos científicos internacionais importantes, os últimos anos foram marcados por estagnação na pesquisa, ampliação no consumo de fósseis nos transportes e dificuldades imensas de concretizar o potencial da biomassa na produção de energia elétrica. Enquanto isso, os mais expressivos segmentos da indústria brasileira seguem, junto com a orientação governamental dominante, no elogio de nossa matriz limpa tal como ela existe hoje, preconizando a volta dos grandes

reservatórios para a produção de hidroeletricidade.

Este trabalho mostra de maneira bem fundamentada que o crescimento brasileiro só teria a ganhar se fosse norteado por um real impulso de inovação, e não consagrado como únicos caminhos o petróleo e a hidroeletricidade e, como únicos protagonistas, as empresas ligadas a esses setores.

Ele mostra também que a revolução a caminho do desenvolvimento sustentável supõe que se transforme a própria relação que a sociedade mantém com a produção de energia. A idade da informação em rede abre caminho não apenas para a expansão de redes inteligentes, mas, sobretudo, para a energia descentralizada, distribuída.

Até aqui, eficiência energética sempre foi sinônimo de concentração de recursos e de poder. A junção das fontes renováveis (sobretudo solar e eólica) com mídias digitais permite hoje que cada edificação (domicílios, fábricas, estabelecimentos comerciais e de ensino, fazendas, clubes) seja não apenas um consumidor mas também um fornecedor de energia para a rede. Mais que isso, as próprias utilidades que compõem os bens de consumo duráveis podem ser elaboradas com base em dispositivos que estimulam, no âmbito da chamada internet das coisas, um processo de comunicação evidencia o melhor momento de consumir energia, seus custos e a possibilidade de oferecer energia à rede em diversas ocasiões. Lênin dizia que a revolução do início do século 20 era a eletrificação do país e o poder dos soviets. A do século 21 é o triunfo das fontes renováveis junto com o poder, cada vez maior, das pessoas.

#### referência

<sup>1</sup> PROFESSOR TITULAR DO DEPARTAMENTO DE ECONOMIA DA FEA E DO INSTITUTO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS DA USP, PESQUISADOR DO CNPQ, AUTOR DE "MUITO ALÉM DA ECONOMIA VERDE" (PLANETA SUSTENTÁVEL/ABRIL). TWITTER: @ABRAMOVAY - BLOG: WWW.RICARDOABRAMOVAY.COM

## introdução



imagem CIENTISTA MANIPULANDO LÂMINAS DE SILÍCIO DURANTE PROCESSO DE METALIZAÇÃO NO LABORATÓRIO DE CÉLULAS SOLARES DO NÚCLEO TECNOLÓGICO DE ENERGIA SOLAR DA PUC-RS / PORTO ALEGRE - RIO GRANDE DO SUL.

Energia alimenta o desenvolvimento tecnológico, econômico e social de qualquer sociedade. Por outro lado, não se pode ignorar os custos socioambientais decorrentes de sua produção, como a emissão de gases do efeito estufa provenientes dos combustíveis fósseis, o risco de desastres nucleares ou o alagamento de gigantescas extensões de terras para a construção de hidrelétricas.

Todas as formas de geração de energia produzem impacto em alguma escala. Quando esse impacto coloca em risco o futuro das pessoas ou traz sofrimentos, é preciso repensar o modelo escolhido.

Diante do avanço da ciência e do amadurecimento das tecnologias de geração de energia com fontes renováveis e sustentáveis, é possível vislumbrar um novo cenário, ao mesmo tempo realista e responsável do ponto de vista social, econômico e ambiental. O desafio, portanto, é político.

Ao focar o contexto brasileiro, a primeira questão que se destaca é a participação das fontes renováveis na matriz energética, sensivelmente superior à média internacional. No setor elétrico, quase 90% de nossa energia vem de fontes renováveis graças, sobretudo, ao aproveitamento do potencial hidráulico do país. Entretanto, a crescente demanda elétrica, além de decisões políticas equivocadas, tende a comprometer esse cenário.

A decisão de investir vultosos recursos na exploração do petróleo do pré-sal tende a aumentar a participação dos combustíveis fósseis na matriz brasileira. Além disso, o governo federal voltou a optar por usinas termelétricas. O leilão A-5 de 2013 não apenas trouxe de volta as usinas a carvão para a competição como também excluiu a participação direta das eólicas, já que esta fonte renovável seria mais competitiva que outras. Isso

significa que o planejamento energético, pautado nos últimos anos por projeções otimistas para a fonte eólica e a biomassa, será revisto devido à participação das térmicas.

Com a insistência em ampliar o uso do carvão no país, o governo dá uma solução irresponsável e imediatista para um problema real: a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira. A predominância das hidrelétricas traz um risco, uma vez que esta fonte é suscetível a secas sazonais. O baixo nível dos reservatórios no verão de 2013, por exemplo, exigiu o acionamento de todas as termelétricas disponíveis por vários meses – um prejuízo ao ambiente e ao bolso do consumidor.

Outra importante e equivocada aposta do governo para a expansão da produção energética do país está no potencial da bacia amazônica, envolvendo projetos de grande porte que se chocam com a preservação do ambiente e do modo tradicional de vida dos povos da floresta. Para além da questão socioambiental, está aí também uma restrição técnica: as baixas quedas d'água da região dificultam a construção de hidrelétricas com reservatórios ou mesmo o armazenamento de água para novas usinas a fio d'água.

Além dos problemas abordados, há um claro paradoxo nos investimentos energéticos brasileiros. A opção pelos combustíveis fósseis só faz elevar as emissões de gases do efeito estufa e potencializar os já aparentes efeitos das mudanças climáticas, como secas mais frequentes. Mas não eram justamente as secas as responsáveis pela baixa produção das hidrelétricas?

A diversificação e a expansão da matriz energética precisa ir além da receita hídrico-térmica. E não pode se pautar pela premissa de baixos custos de geração, já que a conta no futuro pode se tornar impagável.



O cenário apresentado neste documento demonstra que fontes limpas e sustentáveis têm todo o potencial de desempenhar um papel maior na matriz energética brasileira, e não apenas com caráter complementar. As fontes renováveis são uma alternativa de longo prazo para substituir os combustíveis fósseis e reduzir a dependência de usinas de grande porte, geralmente muito distantes do centro consumidor. Essas novas tecnologias tornam o sistema elétrico flexível, abastecido por diferentes fontes, tanto constantes quanto intermitentes.

Para tornar esse cenário realidade são necessários investimentos em infraestrutura, redes inteligentes, tecnologias de armazenamento e eficiência energética. Mas, acima de tudo, é preciso que exista planejamento público com visão de futuro e comprometimento ambiental, que considere e viabilize essas novas e promissoras fontes de energia.

## o novo [r]evolução energética

O SRREN (Relatório Especial do IPCC sobre Energias Renováveis e Mudanças Climáticas) escolheu a edição internacional do [R]evolução Energética de 2010 como um dos quatro cenários de referência na área de energia. Desses, o [R]evolução Energética foi o mais ambicioso, combinando crescimento de energias renováveis e medidas rigorosas de eficiência energética, obtendo assim a maior participação de energias renováveis em 2050 entre todos os cenários.

A edição brasileira projeta o consumo e a geração de energia no Brasil até 2050. Para isso, considera o potencial do país em utilizar alternativas sustentáveis, economicamente viáveis e com menores impactos sociais e ambientais. Este cenário posiciona o Brasil como um dos líderes mundiais em fontes renováveis de energia.

A redução da dependência dos combustíveis fósseis é premissa deste trabalho. Para atingir o objetivo, ele indica a necessidade de realocar os recursos destinados ao setor de óleo e gás para aumentar e diversificar o mercado das renováveis.

Com relação às duas edições anteriores, a novidade é a inclusão dos setores industrial e de transportes, o que coloca o desafio de equacionar disponibilidade e evolução de fontes energéticas de forma a atender a uma gama maior de atividades econômicas. Determinar a exata medida da oferta energética pelas próximas décadas para um país em crescimento, sem que isso represente um grande prejuízo ambiental, exige redefinição de critérios de elegibilidade de fontes. Tais critérios vão além dos méritos econômico ou político.

Esta terceira edição do [R]evolução Energética apresenta um cenário em que os custos do setor de energias renováveis serão cada vez mais competitivos, permitindo sua expansão na matriz energética. Não há verdadeiras barreiras técnicas ou econômicas para a implementação de uma revolução energética que não possam ser superadas com vontade política.

Assim, a geração eólica superará os 100 GW instalados em 2050. Da mesma forma, a energia solar fotovoltaica seguirá em tendência de expansão pelas próximas décadas.

Para o setor de transporte, a solução traçada foi um maior equilíbrio entre o público e o privado. Diesel e gasolina perderão espaço para eletricidade e biocombustíveis de novas gerações. Além disso, a indústria automobilística também terá um papel relevante ao reverter a tendência de preferência do consumidor brasileiro por modelos maiores, apostando em veículos mais leves para aumentar a eficiência energética e, assim, reduzir a demanda de combustíveis.

O setor industrial deverá aumentar sua eficiência e reduzir o uso de carvão e combustíveis fósseis, aumentando, em contrapartida, a participação de energias renováveis em seus processos.

A energia solar concentrada e as eólicas *offshore* também terão papel significativo no médio e longo prazo, seguindo uma evolução tecnológica e uma redução de custos. Para tanto, o governo deverá fazer seu dever de casa, implementando políticas para que essas tecnologias cresçam em termos de mercado e investimento em pesquisa e desenvolvimento.

O crescimento do setor de energia renovável, tal e como apresentado neste trabalho, trará ainda impacto positivo para a economia, criando quase 540 mil empregos verdes diretos até 2030, segundo nova metodologia de cálculo apresentada nesta edição.

Tudo isso com investimentos de 1,3% do atual PIB brasileiro, por ano, até 2030, somados aos recursos economizados do uso de combustível para abastecer as usinas térmicas previstas no cenário de referência.

**Sven Teske**  
CAMPAÑA DE CLIMA E ENERGIA  
GREENPEACE INTERNACIONAL

**Steve Sawyer**  
SECRETÁRIO GERAL  
GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL

**Ricardo Baitelo**  
CAMPAÑA DE CLIMA E ENERGIA  
GREENPEACE BRASIL

## sumário executivo



imagem PARQUE EÓLICO DE OSÓRIO, RIO GRANDE DO SUL.



O [R]evolução Energética 2013 propõe um caminho fundamental para atender ao crescimento do Brasil nas próximas décadas, garantindo a segurança energética com uma matriz mais diversificada, renovável e menos dependente de combustíveis fósseis.

A versão internacional do [R]evolução Energética já teve quatro edições, tornando-se uma referência global do setor. No Brasil, a primeira edição foi lançada em 2007. Sua proposta sempre foi o de propor um futuro com energia limpa e renovável para o Brasil, indicando o caminho a seguir para alcançar esse objetivo. Esta terceira edição brasileira, além de explorar ao máximo o que seria uma matriz diversificada e renovável no país, é a primeira a trabalhar projeções da matriz energética incluindo os setores industrial e de transportes.

O cenário também inclui uma análise detalhada de geração de empregos do setor energético até 2030, calculada não apenas com a construção, operação e manutenção de usinas mas também em outras etapas da cadeia energética, como produção de combustíveis e de usos finais, como aquecimento solar de água.

### o dilema dos combustíveis fósseis

O aumento da demanda global por energia põe cada vez mais pressão sobre o ambiente e impulsiona a indústria dos combustíveis fósseis. Empresas petrolíferas investem em novas tecnologias de prospecção e perfuração e buscam óleo em locais de difícil acesso – seja nas profundezas da camada do pré-sal ou na inóspita região ártica. Projetos ambientalmente destrutivos nas areias betuminosas no Canadá prosseguem, assim como os planos de viabilizar a exploração do gás de xisto em diversos países.

Se por um lado o impacto ambiental imediato de uma atividade exploratória é suficiente para rever sua real necessidade, por outro a interrupção de tais projetos atende à necessidade de reduzir drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub> para evitar uma catástrofe climática.

A transição da economia para fontes de energia renováveis também oferece benefícios substanciais, como independência do mercado internacional de combustíveis fósseis. As fontes renováveis também podem abastecer mais de 1 milhão de pessoas, que atualmente não têm acesso à eletricidade no país.

### a ameaça das mudanças climáticas

Evitar as mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global é o maior desafio ambiental deste século. Se a temperatura mundial aumentar 2°C acima da temperatura média da era pré-industrial até 2100, a alteração do sistema climático e os prejuízos aos ecossistemas tendem a ser drásticos.

Apesar da urgência, as negociações internacionais pela criação de ações globais não têm avançado com a velocidade necessário.

O Brasil pode contribuir com essa missão zerando o desmatamento de suas florestas e restringindo suas emissões locais. A motivação da luta contra as mudanças climáticas perigosas não é apenas ambiental mas também social e econômica.

### mudanças climáticas e segurança da oferta de energia

A discussão sobre a oferta e a segurança energética está no topo da agenda política. A solução para uma matriz energética segura deverá ir além da aposta em termelétricas a carvão, da construção de novas hidrelétricas com reservatórios ou da exploração do pré-sal. O urânio, que abastece as usinas nucleares, provoca impactos socioambientais durante a exploração e é um recurso finito, assim como as fontes fósseis.

As reservas de energia renovável, por outro lado, são tecnicamente acessíveis em todas as regiões do mundo e suficientes para fornecer mais de 40 vezes a quantidade de energia que o mundo consome atualmente, segundo o último SRREN.

Ainda que as tecnologias de geração de energia por fontes renováveis se encontrem em diferentes níveis de maturidade técnica e econômica, há uma variedade cada vez mais atraente e competitiva. Para citar um exemplo, a redução de custos da exploração de fontes eólica e solar fotovoltaica nos últimos dois anos impulsionou seu crescimento.

As renováveis emitem muito menos gases de efeito estufa em toda sua cadeia. Elas permitem, ainda, aproximar os centros de produção às áreas de consumo. Sistemas descentralizados de energia reduzem o custo da eletricidade e evitam o desperdício na transmissão e na distribuição.

Investimentos em redes inteligentes e linhas de transmissão para trazer energia de parques eólicos *offshore* e usinas de energia solar concentrada serão essenciais neste cenário. A formação de polos de microrredes de energias renováveis, especialmente em comunidades remotas, serão uma peça-chave no fornecimento de energia para mais de 1 milhão de pessoas no Brasil e mais de 1,3 bilhão no mundo sem acesso à eletricidade.

A eficiência energética é outro aspecto pouco explorado apesar da relação custo-benefício positiva e de sua capacidade de reformular o setor, ao possibilitar uma enorme redução no consumo de energia. Novos modelos de negócios para implementar ações de eficiência energética precisam ser desenvolvidos. Este documento menciona uma série de medidas que podem reduzir substancialmente a demanda em indústrias, residências, comércio e serviços, bem como no setor de transportes.

### os princípios-chave da [r]evolução energética

É consenso entre especialistas que a maneira como consumimos e produzimos energia precisa mudar imediatamente para que o mundo seja capaz de evitar os piores impactos das mudanças climáticas. A escala desse desafio exige uma mudança completa no paradigma de produção, transporte e consumo de energia que atenda ao crescimento econômico previsto. Neste contexto, os cinco princípios-chave do [R]evolução Energética são:

- 1 Implementação de soluções renováveis, especialmente por meio de sistemas de energia descentralizados e da expansão de redes de transmissão e distribuição;
- 2 Respeito aos limites do ambiente na construção de projetos energéticos;
- 3 Eliminação gradual de fontes de energias fósseis e/ou impactantes;
- 4 Melhor distribuição na utilização de recursos naturais e energéticos;
- 5 Quebra do vínculo entre crescimento econômico e consumo de combustíveis fósseis.

### [r]evolução energética – resultados

Em 2011, as fontes de energia renováveis responderam por 45,8% da demanda de energia primária do Brasil – um êxito mundial, uma vez que a média global foi de 13% em 2010, segundo o World Energy Outlook 2012. As principais fontes renováveis utilizadas no Brasil são o etanol e outros derivados de cana. Já no que diz respeito à geração de eletricidade, a participação das renováveis chegou a 89% em 2011, graças principalmente às hidrelétricas.

O [R]evolução Energética aponta a expansão do uso de renováveis no Brasil e uma redução considerável das emissões de CO<sub>2</sub> quando comparadas com o cenário de referência. Isso excluindo as usinas nucleares e a exploração não convencionais de combustíveis fósseis, como o pré-sal ou o gás do xisto.

A participação da energia renovável na matriz energética brasileira chega a 66,5% em 2050. No cenário de referência, esse valor é de 45,1%. Quanto ao consumo final de energia, o cenário [R]evolução Energética indica uma demanda 25% menor em 2050 do que o cenário de referência. Essa redução é puxada principalmente pelos setores de transportes (redução de 29%) e indústria (redução de 22%)

Quando falamos exclusivamente do setor elétrico, é preciso lembrar que a matriz brasileira será quatro vezes maior em 2050 do que a atual. Mesmo assim, o [R]evolução Energética prevê uma participação das renováveis de 91,9%. No cenário de referência, a participação de renováveis cai para 69,9%.

#### referências

- 1 O PJ (PETA-JOULE) É UMA UNIDADE PADRÃO ENERGIA EQUIVALENTE A UM QUINQUILHÃO DE JOULES OU 277 MILHÕES DE KWH.
- 2 O GIGAWATT É UMA UNIDADE PADRÃO DE POTÊNCIA OU CAPACIDADE INSTALADA DE USINAS, EQUIVALENTE A MIL MEGAWATTS (MW) OU UM BILHÃO DE WATTS (W).

A cenário apresentado não apenas consolidaria o Brasil como uma potência energética renovável como contribuiria para um corte de 60% das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> projetadas para 2050 – seriam 312 milhões de toneladas pelo [R]evolução Energética, em comparação com os 777 milhões de toneladas do cenário de referência.

Para alcançar esse cenário, as seguintes medidas são necessárias:

- **Restrição à demanda de energia:** a demanda final de energia é resultado da combinação das projeções de crescimento populacional, da evolução do PIB e da relação entre o crescimento econômico e o consumo de energia. No cenário de referência, a demanda final de energia dobraria, dos atuais 8.173 PJ (peta-joule)<sup>2</sup> para 17.040 PJ em 2050. No cenário [R]evolução Energética, o crescimento da demanda final de energia é metade desse valor, atingindo cerca de 12.600 PJ em 2050, como resultado do uso racional e mais eficiente da energia em edifícios, indústrias e meios de transportes.
- **Controle da demanda de energia:** no cenário [R]evolução Energética, a demanda de eletricidade aumentará na indústria, nos transportes, nas residências e no setor de serviços. A demanda anual de eletricidade subirá de 438 TWh para 1.023 TWh em 2050. Em comparação com o cenário de referência, medidas de eficiência para indústria, residências e para o setor de serviços evitarão a geração de 205 TWh nesse ano. A redução será alcançada graças à utilização de equipamentos mais eficientes em todos os setores de consumo. Por outro lado, observa-se um maior uso de eletricidade no setor de transportes pelo cenário [R]evolução Energética.
- **Geração de eletricidade:** o desenvolvimento da oferta de energia elétrica é caracterizado por um mercado crescente de renováveis, o que deve substituir as usinas nucleares e térmicas a óleo e carvão. Em 2050, pelo cenário [R]evolução Energética, 91,9% da eletricidade produzida no Brasil será proveniente de fontes renováveis de energia. As “novas” fontes renováveis – principalmente eólica, fotovoltaica, CSP (energia solar heliotérmica ou concentrada) e biomassa – vão contribuir com 38% da geração de eletricidade. A capacidade instalada de renováveis sairá dos 92 GW<sup>3</sup> em 2010 para 197 GW em 2030 e 396 GW em 2050.
- **Custos futuros de geração de eletricidade:** a introdução de tecnologias renováveis no cenário [R]evolução Energética reduz os custos da geração de eletricidade. Isso porque, no cenário de referência, o crescimento da demanda, o custo dos combustíveis fósseis para termelétricas e a inclusão dos custos de emissões de CO<sub>2</sub> elevará o valor de fornecimento de energia elétrica para mais de R\$ 440 bilhões em 2050 – hoje, com uma matriz quatro vezes menor, esse valor chega a R\$ 68 bilhões por ano. O cenário [R]evolução Energética apresenta um custo de geração de eletricidade de R\$ 88/MWh mais baixo do que o do cenário de referência em 2050. Outros fatores que determinam a redução do valor são as medidas de eficiência energética, capazes de reduzir os custos em longo prazo para o fornecimento de energia elétrica em 27% em relação ao cenário de referência.



• **Investimentos futuros na construção de usinas:**

o cenário de referência prevê investimentos totais no setor elétrico de R\$ 1,87 trilhão entre 2010 e 2050, enquanto que no [R]evolução Energética o investimento seria de R\$ 2,39 trilhões – R\$ 58 bilhões por ano. Aproximadamente 97% dos investimentos seriam direcionados para energias renováveis como eólica e biomassa – fontes já consolidadas no mercado brasileiro – e para eólicas *offshore*, energia fotovoltaica, usinas CSP (energia solar concentrada) e energia oceânica [ver capítulo 2 – seção 2.3.5]. Apesar de o investimento apresentado ser mais alto, as vantagens econômicas começam a ficar evidentes quando se comparam os gastos com combustíveis fósseis de cada cenário. Considerando o preço do gás natural e do óleo combustível, e sua crescente utilização ao longo do horizonte de análise, a construção de menos usinas termelétricas e mais renováveis no cenário [R]evolução Energética pouparia R\$ 1,11 trilhão até 2050, ou uma média de R\$ 28,4 bilhões por ano. Ou seja, a economia total seria de mais do que o dobro dos investimentos adicionais necessários ao cenário [R]evolução Energética. Essas fontes renováveis produzem energia limpa sem uso de combustíveis, ao passo que os custos de óleo e gás continuariam impactando a economia – e o ambiente.

• **Fornecimento de calor:** renováveis fornecem atualmente 54% da demanda de energia para produção de calor, e a principal contribuição provém do uso de biomassa. No cenário [R]evolução Energética, as renováveis fornecem 58% da demanda de calor em 2030 e 81% em 2050. Medidas de eficiência energética podem restringir a demanda de calor em 25%, em relação ao cenário de referência. No setor industrial, coletores solares, biomassa, biogás e eletricidade substituem sistemas de aquecimento a combustíveis fósseis. O uso do gás natural no lugar do carvão e do óleo em aplicações convencionais contribui para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e representa uma transição a uma matriz totalmente renovável.

• **Transportes:** apesar do grande crescimento do setor, é possível limitar seu consumo de energia aos níveis atuais no cenário [R]evolução Energética. Para tanto, é preciso aumentar a eficiência veicular e acelerar a transição modal de carros de passeio para ônibus, trens e metrô nas áreas urbanas. A dependência de combustíveis fósseis, que hoje respondem por 80% desse suprimento, diminui devido ao uso de 29% de energias renováveis em 2030 e 40% em 2050. A transição para carros menores, somada à redução de quilômetros percorridos por litro de combustível, resulta em economias significativas de energia. A participação da eletricidade no setor de transportes alcança 7% em 2050.

• **Emissões de CO<sub>2</sub>:** a projeção da matriz energética no cenário de referência indica que as emissões podem atingir 777 milhões de toneladas até 2050. Pelo cenário [R]evolução Energética, as emissões do setor energético saem de 358 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2010, atingem o pico de 512 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano em 2020 e caem para 312 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2050. As emissões anuais per capita cairão de 1,8 tonelada para 1,4 tonelada, praticamente um terço das emissões per capita do cenário de referência. Apesar do aumento da frota de veículos, da atividade industrial e do parque gerador de eletricidade, essa redução é possível graças à substituição das termelétricas pela ampliação do parque de usinas renováveis, ao uso de biocombustíveis e eletricidade em veículos e à redução do consumo fóssil na indústria.

• **Geração de empregos no setor de eletricidade:** o número de empregos criados no setor de eletricidade é mais alto no cenário [R]evolução Energética em comparação com o cenário de referência, calculado até 2030. Em 2015, o cenário de referência apresenta 463 mil empregos, 10 mil a mais do que no cenário [R]evolução Energética. O crescimento das energias renováveis muda o quadro em 2020. Nesse ano, há cerca de 497 mil empregos no cenário [R]evolução Energética, 29 mil a mais que no cenário de referência. Em 2030, o número de empregos no cenário [R]evolução Energética chega a 594 mil –540 mil gerados no setor de renováveis. No cenário de referência, são 520 mil postos de trabalho.

**mudanças políticas**

Para viabilizar o cenário [R]evolução Energética, o Greenpeace tem uma agenda clara das políticas de incentivo à diversificação e à ampliação das renováveis na matriz energética. Ela inclui:

1. Eliminar todos os subsídios para a energia fóssil e nuclear e proporcionar incentivos ou condições econômicas e financeiras equivalentes às existentes para as fontes sujas para as renováveis;
2. Incorporar os impactos ambientais e sociais aos custos da energia, a fim de revelar os verdadeiros preços de fontes sujas de geração de energia;
3. Estipular rigorosos padrões de eficiência para todos os equipamentos elétricos, edifícios e veículos, e implementar rotulagem e informação ambiental sobre esses produtos;
4. Estabelecer uma política ou marco regulatório para o desenvolvimento de novas formas de energia renovável, priorizando os sistemas e as usinas de energias renováveis no acesso e integração à rede elétrica;
5. Garantir retorno estável para investidores, por tarifas especiais para energias renováveis (tarifas *feed in* ou preços mínimos justos em leilões de energia);
6. Financiar fundos de pesquisa e de desenvolvimento para fontes de energia renováveis e eficiência energética.

**políticas energéticas e proteção do clima**

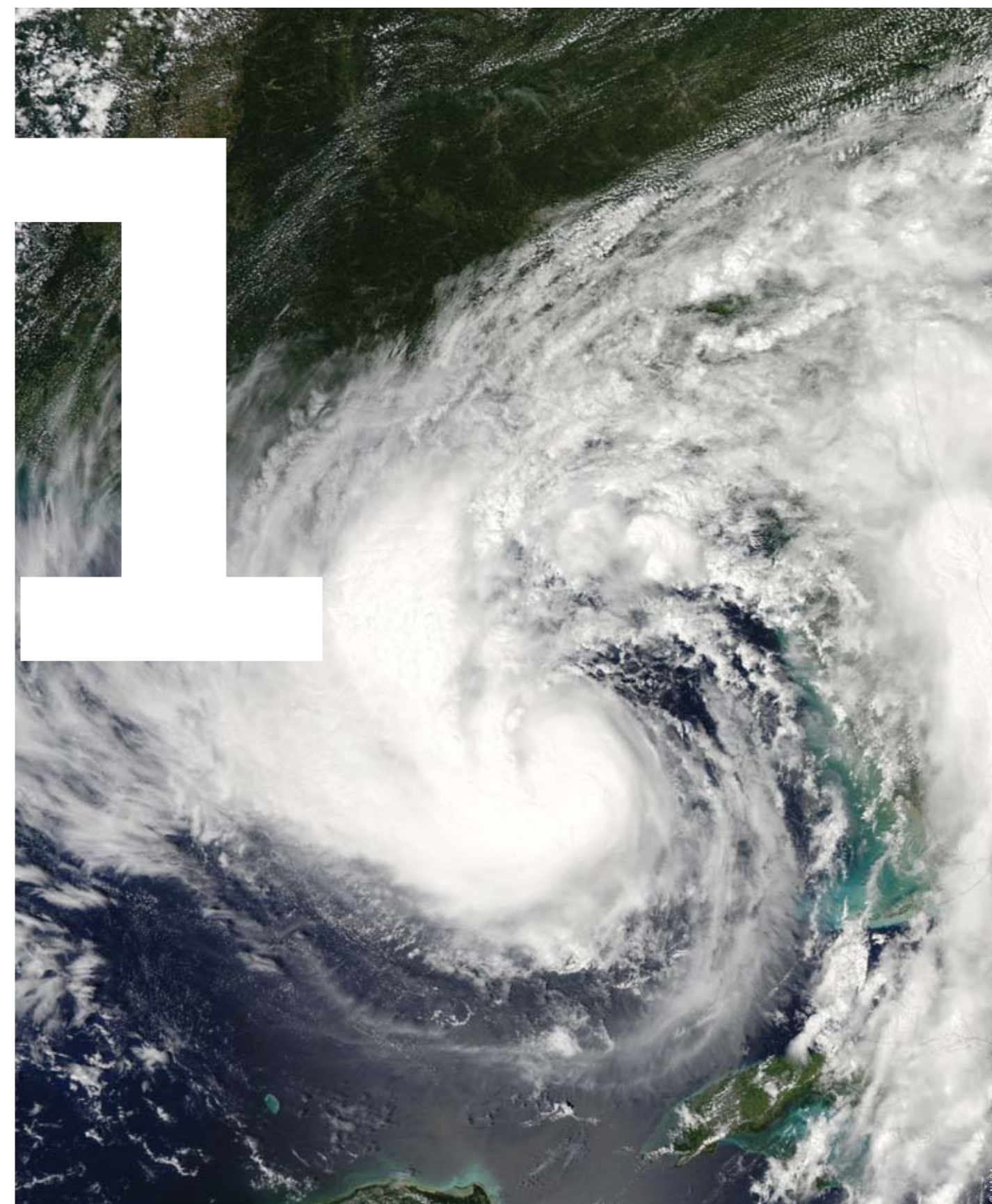


imagem TEMPESTE TROPICAL ISAAC SOBRE OS ESTADOS UNIDOS EM 2012.



### 1.1 o efeito estufa e as mudanças climáticas

Alguns gases presentes na atmosfera têm a capacidade de aprisionar parte da energia que a Terra recebe do Sol e transformá-la em calor. Atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis para gerar energia, aumentam a quantidade desses gases na atmosfera e, por consequência, mais calor fica aprisionado. Esse é o princípio da subida gradual da temperatura média global.

Com o aquecimento, a alteração do sistema climático e os prejuízos aos ecossistemas serão cada dia mais drásticos. Entre eles estão o derretimento do gelo nos polos e do *permafrost* – solo congelado da região ártica –, elevação do nível do mar, destruição de recifes de corais, e eventos climáticos mais intensos e frequentes, como tempestades, ondas de calor e secas.

Os efeitos da mudança no clima terão impacto no modo de vida de milhões de pessoas, especialmente em países em desenvolvimento, e podem levar à perda de ecossistemas e de espécies nas próximas décadas. Há pouco tempo hábil para impedir que isso ocorra. A única solução é uma redução drástica e imediata das emissões desses gases, chamados de efeito estufa, na atmosfera.

Entre os gases de efeito estufa produzidos pela ação do homem, estão o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), produzido pelo uso diário de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás para geração de energia e para transporte, e pelo desmatamento e as queimadas; o metano (CH<sub>4</sub>), liberado por práticas agrícolas, animais e aterros sanitários; e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), resultante da produção agrícola e de uma série de substâncias químicas industriais.

De acordo com o IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), órgão das Nações Unidas, a temperatura média global pode chegar a aumento de 6,4°C até o final do século – a alteração climática mais brusca já vivida pelo ser humano. Para evitar que isso ocorra, os cientistas estabeleceram um patamar máximo de subida da temperatura média global em 2°C até o final do século. E, para que isso ocorra, é preciso agir agora. Portanto, uma política climática deve ter por objetivo reduzir drasticamente as emissões para evitar um aumento de temperatura superior a esse valor e suas consequências catastróficas.

### 1.2 a convenção-quadro sobre mudanças do clima e o protocolo de Kyoto

Reconhecendo as ameaças globais das mudanças climáticas, os signatários da UNFCCC (Convenção-Quadro sobre Mudanças do Clima da ONU), de 1992, aprovaram o Protocolo de Kyoto em 1997. O protocolo entrou em vigor no início de 2005 e o desenvolvimento do acordo é regularmente negociado entre seus 193 membros. Das grandes economias do mundo, apenas os Estados Unidos não ratificaram o protocolo. Em 2011, o Canadá anunciou a sua intenção de se retirar.

Em 2009, esperava-se que os 195 membros da UNFCCC reunidos em Copenhague chegassem a um novo acordo vinculante para uma redução ambiciosa de emissões de gases de efeito estufa. Infelizmente, esse objetivo não foi alcançado. Por outro lado, alguns países apresentaram metas de redução de emissões voluntárias para 2020.

A avaliação das metas de ação climática para 2020 do Pnuma (Programa das Nações Unidas para o Ambiente) mostra que ainda há uma grande lacuna entre o que a ciência indica como necessário para frear as mudanças climáticas e o que os países pretendem fazer. As promessas de mitigação apresentadas pelos governos devem resultar em um aumento de entre 2,5°C e 5°C da temperatura global em relação aos níveis pré-industriais, – o que vai muito além do limite de aumento de 2°C necessário para evitar os impactos mais dramáticos das mudanças climáticas.

Em 2012, em Doha, os chefes de Estado decidiram que um novo acordo sobre cortes de emissões pós-2020 seria negociado até 2015. Este acordo não deve repetir os erros anteriores. Ao contrário, deve assegurar ampla participação de todos os grandes países emissores, divisão justa dos esforços, fortes medidas em adaptação, cortes ambiciosos de emissões até 2020 e novos compromissos de redução de emissões após esse período.

### 1.3 participação do setor energético nas emissões

A participação do setor energético no cenário de emissões brasileiras está crescendo. Políticas de combate ao desmatamento na Amazônia possibilitaram ao Brasil cumprir cerca de dois terços de sua meta voluntária de redução de emissões de gases de efeito estufa, estabelecidas pela PNMC (Política Nacional de Mudanças Climáticas) entre 36,1% e 38,9% até 2020, anos antes do prazo. Porém, dados do novo inventário nacional de emissões, referente ao período de 2006 a 2010, mostram que o setor de energia subiu em 21,5% suas emissões em comparação com o período entre 2000 e 2005.

Esse número revela um acerto iminente no curso das políticas climáticas nacionais: a redução de emissões deve seja efetiva em todos os setores da economia, com atenção especial ao setor de transportes, que tende a aumento consideravelmente nos próximos anos. Em 2011, o setor de transportes respondeu por quase 49% das emissões referentes à queima de combustíveis fósseis, parcela maior que a indústria ou o setor elétrico.

Uma política nacional de mudanças climáticas concreta não deve

se basear apenas na redução de emissões em um único setor. O Brasil não pode se acomodar somente com a queda do desmatamento na Amazônia. O país precisa lançar mão do maior número possível de instrumentos e iniciativas, especialmente nos setores de energia e de processos industriais, a fim de evitar que uma posição confortável atual no cenário global de emissões se reverta para a de vilão do aquecimento global.

### 1.4 políticas energéticas

Existe uma distorção no mercado de energia, que força fontes de energia renováveis como usinas solares fotovoltaicas, de cogeração a biomassa, pequenas centrais hidrelétricas ou outras a competir em condições desiguais com grandes hidrelétricas e termelétricas. Isso acontece pela formação de preço de cada tipo de energia e por causa de desequilíbrios em incentivos e deduções fiscais. Essas distorções de mercado precisam ser acertadas com decisões políticas que permitam às fontes renováveis ter seu espaço na matriz elétrica brasileira para competir com seus próprios méritos.

Com a abertura do mercado de energia, a crescente competitividade de fontes de energia renováveis deve resultar no aumento de sua demanda. O crescimento da energia eólica nos últimos anos, ocorrido a despeito da carência de incentivos, mostra o potencial do mercado. Ela ainda pode crescer mais, assim como as demais fontes, até que haja equilíbrio em relação às tecnologias convencionais, as quais receberam apoio financeiro, político e técnico por décadas.

O apoio político pode ser traduzido em medidas e leis que proporcionem condições adequadas de financiamento de projetos e equipamentos e tarifas de geração de energia que garantam um retorno justo aos empreendedores dessas usinas. Criar condições de mercado para as renováveis é contribuir para o crescimento econômico sustentável, empregos de qualidade, desenvolvimento de tecnologia, competitividade global e liderança na indústria e em pesquisas.

### 1.5 metas para fontes renováveis

Um número crescente de países tem estabelecido metas para o crescimento de fontes renováveis a fim de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa e aumentar a segurança do suprimento energético. Essas metas são fixadas em capacidade instalada (MW). No Brasil, uma meta para renováveis não faria sentido, considerando sua participação na matriz elétrica em aproximadamente 90%. No entanto, esse número é proporcionado essencialmente pelas usinas hidrelétricas, e a expansão das demais fontes é orientada apenas pela sua economicidade e competitividade nos leilões, sem a inclusão de outros critérios técnicos ou socioambientais.

Nesse sentido, metas de participação de energia de biomassa, solar e PCHs (pequenas centrais hidrelétricas) seriam importantes para desenvolver ou manter essas fontes no país e diversificar o suprimento de renováveis. Essas metas podem ter

passos de curto, médio e longo prazo e se orientar de acordo com o potencial local ou regional de cada tecnologia, além de ser complementadas por políticas que desenvolvam a capacitação e o sistema produtivo, de forma que a quantidade acordada de energia seja entregue.

No mundo, as fontes eólica e solar apresentaram crescimento anual acima de 30% nos últimos anos; o processo tem sido documentado pelo Greenpeace, GWEC (Conselho Global de Energia Eólica), Erec (Conselho Europeu de Energias Renováveis) e Epia (Associação Europeia da Indústria Solar Fotovoltaica) em relatórios desde 1990, prevendo seu crescimento nos horizontes de 2020 e 2040. No Brasil, as condições naturais privilegiadas de sol e vento favorecem o desenvolvimento das fontes solar e eólica em curto, médio e longo prazos – o potencial brasileiro é superior a 300 mil MW para a energia eólica e ainda maior para a energia solar.

### 1.6 setor elétrico, segurança e planejamento

O desenvolvimento econômico e social do Brasil demanda cada vez mais energia e, por consequência, impõe o desafio de estabelecer uma infraestrutura energética capaz de atender ao país. A solução mais adotada nas últimas décadas – construir mais hidrelétricas – chega progressivamente a um limite técnico e ambiental devido à inadequação dos reservatórios às características naturais da Amazônia.

A variabilidade do regime de chuvas e a redução da capacidade de estocar essa água para a geração posterior de energia têm contribuído para o aumento do risco de desabastecimento nos últimos anos. Esse quadro, porém, não significa construir mais hidrelétricas com reservatórios. Ela é impensável em áreas de importância ecológica significativa – como a Amazônia – e, em casos de conflitos sociais, sem consulta e consentimento prévio das populações impactadas.

A discussão sobre a segurança energética exige repensar esse modelo. É preciso diversificar a matriz elétrica brasileira, mas, ao contrário do que é sugerido pelo governo, sem abrir espaço para a expansão de fontes termelétricas como o carvão ou a energia nuclear. A solução reside em outras fontes renováveis e em ações de eficiência energética.

O desenvolvimento dessas energias só será possível a partir de um planejamento de longo prazo em patamares nacional, regional e local. Atualmente, o Brasil trabalha com planos decenais indicativos, que trazem a evolução das diferentes fontes para os próximos dez anos. Mas as projeções, além de essencialmente tendenciais, não vêm necessariamente acompanhadas de medidas políticas e financeiras que façam com que os números se tornem realidade. Na verdade, a expansão da matriz é pautada quase unicamente pela economicidade das fontes ofertadas em leilões, e não pela necessidade de aumentar a segurança do sistema e contratar fontes complementares às usinas hidrelétricas para compensar a geração baixa em épocas de reservatórios baixos.

A contratação de usinas pelo mérito econômico resulta na concentração de projetos em alguns poucos Estados brasileiros.



Os processos de obtenção do licenciamento ambiental, construção dos empreendimentos e implantação das linhas de transmissão não se encaixam com os horizontes de tempos previstos para a conclusão das usinas, o que atrasam sua conexão ao sistema. Com leilões divididos por regiões do país, seria possível descentralizar a geração de energia e tornar eficiente a extensão de linhas de transmissão a esses projetos, uma vez que terão localização mais previsível.

É preciso equilibrar o financiamento entre as indústrias renováveis e as convencionais. No planejamento decenal, prevê-se um investimento superior a R\$ 700 bilhões para o setor de óleo e gás, enquanto que as energias renováveis complementares (eólica, biomassa e PCHs) receberão apenas um décimo desse montante.

Outras fontes, como a energia solar fotovoltaica, e tecnologias mais novas, como a energia solar concentrada ou a energia oceânica, não têm sequer previsão de investimentos. O governo prefere esperar que o preço dessas fontes caia globalmente, quando seria possível investir desde já em pesquisa e desenvolvimento, almejando um lugar de destaque nessas áreas, assim como foi feito décadas atrás com o etanol.

### 1.7 mudanças em políticas energéticas

O Greenpeace tem uma agenda clara das políticas de incentivo à diversificação e à ampliação das renováveis na matriz energética. Ela inclui:

- 1 Eliminar todos os subsídios para a energia fóssil e nuclear e proporcionar incentivos ou condições econômicas e financeiras equivalentes às existentes para as fontes sujas para as renováveis;
- 2 Incorporar os impactos ambientais e sociais aos custos da energia, a fim de revelar os verdadeiros preços de fontes sujas de geração de energia;
- 3 Estipular rigorosos padrões de eficiência para todos os equipamentos elétricos, edifícios e veículos, e implementar rotulagem e informação ambiental sobre esses produtos;
- 4 Estabelecer uma política ou marco regulatório para o desenvolvimento de novas formas de energia renovável, priorizando os sistemas e as usinas de fontes renováveis no acesso e integração à rede elétrica;
- 5 Garantir retorno estável para investidores, por tarifas especiais para energias renováveis (tarifas *feed in* ou preços mínimos justos em leilões de energia);
- 6 Financiar fundos de pesquisa e de desenvolvimento para fontes de energia renováveis e eficiência energética.

Fontes de energia convencionais receberam cerca de US\$ 409 bilhões em subsídios no mundo em 2010, resultando em mercados altamente distorcidos. Eles reduzem o preço da energia artificialmente, mantêm fontes renováveis fora do mercado e favorecem tecnologias e combustíveis não competitivos.

Se as mesmas condições garantidas aos combustíveis fósseis e à energia nuclear fossem estendidas às fontes renováveis, essas teriam melhores condições para expandir e se desenvolver. Se os impactos socioambientais entrassem na conta, as renováveis nem sequer precisariam de condições especiais.

### 1.8 como implementar a revolução energética: segurança para os mercados de fontes renováveis

Planejar e investir em infraestrutura necessária para as fontes renováveis requer um quadro de políticas de longo prazo. Os principais requisitos são:

- a segurança de longo prazo para o investimento:** os investidores precisam saber se a política energética permanecerá estável até que as dívidas do investimento sejam quitadas. Eles querem um bom retorno, o que depende, em grande medida, da taxa de inflação do país. Se as taxas de retorno não forem interessantes, os investimentos migram para outras fontes ou outros setores econômicos;
- b processo transparente de planejamento energético:** é fundamental para a indústria de renováveis, para investidores e desenvolvedores de projetos. O processo de licenciamento deve ser igualmente claro e transparente tanto para empreendedores quanto para comunidades afetadas. O planejamento, acima de tudo, deve visar à minimização de impactos e custos não apenas econômicos como também sociais e ambientais.
- c acesso à rede:** o acesso equitativo à rede é essencial para usinas de renováveis. Se não houver ligação disponível ou se os custos de acesso à rede forem muito altos, o projeto não vai se concretizar. Para viabilizar uma usina, é essencial que sua energia seja vendida para a rede. No Brasil, o espaço das fontes renováveis é disputado em leilões e o acesso à rede para sistemas renováveis de pequeno e médio portes foi regulamentado apenas em 2012. Ainda que esses sistemas já possam ser incorporados, há uma série de restrições a limites de geração e às condições de conexão que deveria ser eliminada, para potencializar a geração renovável distribuída.
- d financiamento para energias renováveis:** ainda que a energia eólica receba condições adequadas de financiamento, as demais renováveis não usufruem do mesmo, muito menos projetos de descentralização de geração. A energia solar fotovoltaica se encontra na pior posição, pois ainda não há mecanismos amplamente disponíveis para financiar a compra e a instalação de painéis solares em residências. Essas fontes apenas se desenvolverão com condições adequadas de financiamento, que abrirão os mercados, com ganho de escala de produção e conseqüentemente queda de preços dessas energias.

## 2. fontes e tecnologias de geração de energia



imagem PARQUE EÓLICO DE OSÓRIO, RIO GRANDE DO SUL.

Na hipótese de que o Brasil mantenha o crescimento econômico atual, espera-se que o consumo de energia quase triplique até 2050. Tendo em vista que as mudanças climáticas se agravarão, o uso de combustíveis fósseis será cada vez mais restrito por conta de suas emissões e a utilização do potencial hidrelétrico é limitada, é preciso levar em conta que esse crescimento seja limpo e eficiente.

Neste capítulo, estão descritas as fontes energéticas e as tecnologias disponíveis hoje e no futuro para satisfazer a demanda brasileira por energia.

## 2.1 combustíveis fósseis

A queima de combustíveis fósseis é a forma de geração de energia mais utilizada no mundo. Mais de 70% da oferta global de eletricidade é suprida por carvão, óleo combustível e gás natural. No Brasil, esse tipo de geração representa 8,3% do total (BEN, 2012), com tendência de expansão nos próximos anos. O diesel também tem forte participação na geração de eletricidade de comunidades isoladas da rede elétrica, compondo cerca de 80% do consumo de combustível desses locais.

A exploração do petróleo na camada do pré-sal brasileiro pode acentuar a tendência de crescimento da geração termelétrica na matriz brasileira. A exploração do gás do xisto, planejada em função das grandes reservas nacionais, também deve contribuir para o avanço fóssil na matriz energética.

A iminência de uma crise climática exige uma mudança de paradigma: primeiro é preciso reduzir e, em médio prazo, eliminar da matriz energética o uso de combustíveis fósseis devido a seu alto índice de emissões de gases de efeito estufa.

Térmicas movidas a combustíveis fósseis são as campeãs no ranking de emissão. Os valores mínimos são de 800g de CO<sub>2</sub>/kWh na queima do carvão, 700g de CO<sub>2</sub>/kWh na de óleo combustível e 300g de CO<sub>2</sub>/kWh na de gás natural<sup>4</sup>. Uma termelétrica média de 160 MW a óleo combustível, operando 10% do tempo, pode emitir mais de 80 mil toneladas de CO<sub>2</sub> em um ano.

Além disso, a exploração e o transporte de combustíveis fósseis são processos perigosos. Por maiores que sejam os avanços tecnológicos, os riscos de acidentes são grandes. Como exemplos mais recentes temos os vazamentos na plataforma de petróleo no golfo do México, nos Estados Unidos, e no Campo do Frade, na bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro.

No primeiro caso, a complexidade de contenção e limpeza do óleo derramado resultou em inestimáveis prejuízos tanto para a sociedade e o ambiente quanto para as principais atividades econômicas locais, como a pesca e o turismo. Os custos do vazamento, ocorrido após um acidente em uma plataforma operada pela BP (British Petroleum), superaram US\$ 90 bilhões<sup>5</sup> e devem impactar o investimento em explorações futuras, com a incorporação de medidas adicionais de segurança aos processos logísticos. No Campo do Frade, o vazamento de 2.400 barris de petróleo, em novembro de 2011, foi considerado o maior já ocorrido no mar brasileiro. A produção de petróleo daquele poço, operado pela Chevron, foi suspensa por um ano.

A empresa recebeu multa de R\$ 50 milhões da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

Ao impacto ambiental, soma-se o econômico. O custo do combustível representa 60% do valor da geração da eletricidade<sup>6</sup>. Com isso, a operação de uma usina térmica depende da flutuação do preço do combustível no mercado internacional. O resultado é uma fonte mais cara e com custo passível de variação.

### 2.1.1 pré-sal

Grande parte dos recursos petrolíferos remanescentes do mundo é classificada como não convencional. A exploração de tais fontes, como areias betuminosas, petróleo extrapesado e óleo de xisto é geralmente mais cara e representa mais danos ambientais.

As reservas do pré-sal – camada de rochas situada até cinco quilômetros abaixo da superfície do oceano, sob outra camada de sal de até dois quilômetros de espessura – enquadram-se nesse grupo.

Estima-se que essas reservas, que se estendem do litoral do Espírito Santo até o litoral de Santa Catarina, contenham entre 50 e 80 bilhões de barris de petróleo, o suficiente para posicionar o Brasil entre os dez maiores produtores do mundo, caso venham a ser completamente exploradas.

A plena exploração comercial da área do pré-sal demanda respostas a desafios técnicos e logísticos de extrema complexidade, como a profundidade das reservas e a plasticidade do sal, que dificultam a perfuração e a extração do combustível.

Atualmente, não há tecnologia capaz de evitar grandes desastres ambientais na exploração de petróleo. Um vazamento na área do pré-sal resultaria na poluição dos mares e profunda alteração dos ecossistemas, com grande impacto na costa.

No Brasil, ainda não há um plano de contingenciamento em caso de acidentes nas operações de petróleo, apesar de existir uma proposta desde 2000. Segundo relatório do TCU (Tribunal de Contas da União), a ANP verifica apenas 4% dos acidentes ocorridos. O resultado da 11ª rodada de concessão de blocos para exploração de petróleo e gás no Brasil também inspira cuidados, considerando a licitação de blocos em locais frágeis como a bacia do Espírito Santo e a foz do rio Amazonas.

Enquanto isso, na Europa, foi aprovada uma lei que obrigará as empresas de petróleo e gás a apresentarem relatórios de riscos especiais e planos de resposta de emergência antes de iniciar qualquer perfuração. Além disso, exigirá que operadores de plataformas marítimas provem sua capacidade para cobrir eventuais dívidas de acidentes. Esses planos, ainda que não

eliminam todos os riscos, são um requisito básico que deve anteceder a aprovação de qualquer atividade relacionada a óleo e gás.

A exploração do pré-sal terá impacto nos ecossistemas adjacentes às plataformas. O ruído de testes sísmicos, por exemplo, provoca interferências em rotas migratórias de mamíferos. Produtos químicos utilizados nos ensaios de perfuração de poços também têm potencial de contaminação. A colocação de âncoras e a abertura de valas para tubulações no fundo do mar também ocasionam graves perturbações físicas aos ambientes.

As emissões previstas da exploração, do refino e da utilização de combustíveis derivados do pré-sal devem alcançar 330 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano até 2020. Em 2035, esse valor deve dobrar, alcançando 660 milhões de toneladas.

Esses números colocam o pré-sal entre os projetos de energia fóssil potencialmente mais poluentes do mundo, ao lado da exploração de carvão na China, da exportação de carvão da Austrália e da exploração não convencional de petróleo nas areias betuminosas do Canadá, no Ártico e no golfo do México.

#### a ilusão do pré-sal

Anunciado como uma nova fonte de riquezas para o país, o pré-sal está longe de ser um pote de ouro no fim do arco-íris. As dificuldades técnicas para extrair óleo a uma profundidade de sete quilômetros abaixo do nível do mar tornam a operação altamente arriscada. Mesmo assim, o governo entrou nessa empreitada com tecnologia do passado.

Aproximadamente uma em cada três plataformas atualmente em operação no Brasil foi construída há 30 anos ou mais e apresenta maior probabilidade de vazamentos. Dos 102 acidentes registrados no Brasil desde o ano 2000 na exploração petrolífera *offshore*, 62% aconteceram nas plataformas mais velhas.

Essas e outras informações podem ser encontradas no site “Latária”, que tem como objetivo romper com a falta de transparência da indústria do petróleo e monitorar as ocorrências nas plataformas mais velhas do pré-sal, facilitando a interpretação de dados sobre os acidentes. Para saber mais, acesse [www.greenpeace.org.br/lataria](http://www.greenpeace.org.br/lataria).

### 2.1.2 gás natural

O gás natural é a fonte de energia fóssil que mais cresceu no mundo nas duas últimas décadas, assim como sua participação cada vez maior nas matrizes de eletricidade.

A disponibilidade de grandes reservas e a existência de tecnologias competitivas para seu aproveitamento em larga escala resultaram no aumento da participação do gás natural na matriz elétrica brasileira, especialmente a partir da conclusão do gasoduto Bolívia-Brasil. No curto e médio prazos, ele é considerado por muitos a melhor opção para liderar a expansão do parque gerador nas próximas décadas.

Mais recentemente, a produção de gás natural, especialmente nos Estados Unidos, tem se baseado na exploração de fontes de gás não convencionais, como o gás de xisto. Depósitos de gás natural convencionais têm uma área geográfica bem definida, com reservatórios permeáveis. Já reservas não convencionais, como as do gás de xisto, exigem que a rocha seja fraturada para liberar o gás – processo conhecido como fraturamento hidráulico, ou *fracking*, que envolve o uso de enorme quantidade de água em alta pressão e de centenas de elementos químicos.

O *fracking* está associado a impactos ambientais relacionados à contaminação da água por metais pesados e substâncias tóxicas e cancerígenas. Além disso, a alta emissão de gases de efeito estufa resultantes da liberação de metano nos poços tem um potencial de agravar o efeito estufa maior do que as emissões provenientes do carvão.

O Greenpeace se opõe à exploração das reservas de gás não convencionais. Elas não são necessárias para garantir o suprimento de gás indicado no cenário [R]evolução Energética.

### 2.1.3 tecnologias de combustão a gás

Termelétricas a gás utilizam o calor dos gases para movimentar turbinas. Elas podem entrar em funcionamento rapidamente quando acionadas, daí a utilização de térmicas a gás de forma emergencial para atender a demanda de pico de alguns períodos – a um custo mais alto do que usinas que operam na base, como hidrelétricas.

O gás natural pode ser usado para geração de eletricidade pela utilização de turbinas de gás ou vapor. O gás produz cerca de 45% menos dióxido de carbono em comparação com o carvão para gerar a mesma quantidade de calor.

A eficiência do sistema aumenta quando turbinas a gás são usadas com turbinas a vapor em ciclo combinado. Por este sistema, os gases de exaustão da turbina são convertidos em vapor para gerar mais eletricidade. Boa parte das térmicas construídas desde os anos 1990 tem sido deste tipo. Sistemas modernos têm apresentado eficiência superior a 50%.

#### referências

- 1 IEA, WORLD ENERGY OUTLOOK, 2012.
- 2 WWW.TELEGRAPH.CO.UK/FINANCE/NEWSBYSECTOR/ENERGY/OILANDGAS/9851376/BP-GULF-OF-MEXICO-SPILL-COSTS-COULD-TOP-90BN-AFTER-FRESH-CLAIMS.HTML
- 3 EXCELÊNCIA ENERGÉTICA. ESTUDO ANALÍTICO COMPARATIVO DOS CUSTOS FINAIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE FONTE NUCLEAR COM OS DE FONTES RENOVÁVEIS E ÓLEO COMBUSTÍVEL NO BRASIL, 2010.



### 2.1.4 carvão

O carvão era a maior fonte mundial de energia primária até a década de 1960, quando foi ultrapassado pelo petróleo. Hoje, ele ainda fornece quase um quarto da energia do mundo. Ele é o mais abundante dos combustíveis fósseis e também o que mais emite gases de efeito estufa. Seu futuro, portanto, não será definido apenas por questões de segurança energética como também por seu papel no aquecimento global.

O carvão é explorado em larga escala há dois séculos e as reservas disponíveis estão devidamente mapeadas. Extrapolando a previsão de demanda mundial nas próximas décadas, espera-se que o mundo tenha consumido 40% das reservas de carvão até 2050. Ou seja, o carvão pode durar algumas centenas de anos.

O Brasil é pobre em reservas de carvão e sua exploração no país concentra-se em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O carvão brasileiro é de má qualidade, com alto teor de impurezas e baixo poder calorífico. Talvez por esta razão as térmicas a carvão tenham uma participação de apenas 2,5% na matriz elétrica atual, com 3.032 MW. Entretanto, as térmicas a carvão ensaiam uma volta de expansão na matriz, com a realização de leilões para a contratação da fonte, visando à complementação do sistema em períodos de níveis baixos dos reservatórios.

### > TECNOLOGIAS

Em uma termelétrica a carvão, esse combustível fóssil é queimado a alta temperatura em uma câmara de combustão. O calor é usado para transformar a água da caldeira em vapor, que por sua vez aciona uma turbina a vapor, gerando eletricidade. Mais de 90% da capacidade instalada em usinas a carvão usa esse tipo de sistema. A capacidade das centrais pode variar entre centenas e alguns milhares de megawatts. No Brasil, a maior delas é a de Porto do Pecém, de 720 MW.

Uma série de tecnologias tem sido introduzida para melhorar o desempenho ambiental da combustão convencional de carvão. Elas incluem limpeza de carvão (para reduzir o teor das impurezas) e várias tecnologias de “fim de linha” para reduzir as emissões de material particulado, dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio, os principais poluentes resultantes da queima de carvão, além do dióxido de carbono.

O Greenpeace reprova o uso de tecnologias relacionadas ao chamado “carvão limpo” ou à captura e ao sequestro de carbono. Elas não representam uma solução definitiva para a redução de emissões, e sim uma distração e um desvio de investimentos que deveriam ser feitos em fontes renováveis.

### > CAPTURA E SEQUESTRO DE CARBONO

A tecnologia de CCS (sequestro de carbono, na sigla em inglês), processo de absorção de gás carbônico em oceanos, florestas e formações rochosas, tem recebido atenção nos últimos anos. Seu armazenamento pode ser gasoso, em formações geológicas, como campos de gás já explorados; líquido, no oceano; ou sólido, por meio da reação do CO<sub>2</sub> com óxidos metálicos. Esse tipo de tecnologia de controle de poluição é uma resposta cara do ponto de vista econômico e tecnológico para o problema.

O armazenamento da grande quantidade de CO<sub>2</sub> nos oceanos, como consequência da extração de petróleo, poderia resultar na acidificação da água, trazendo enormes prejuízos para um grande número de ecossistemas e organismos vivos no entorno dos locais de disposição. Formações de rochas porosas profundas, como a camada pré-sal, apresentam um grande potencial de captura de CO<sub>2</sub>, mas também riscos de vazamento. De acordo com o periódico “Geology”, estocar CO<sub>2</sub> nesse tipo de formação pode acidificar a água, que, por sua vez, pode dissolver minerais metálicos da rocha, criando túneis pelos quais o CO<sub>2</sub> escaparia.

Devido à falta de experiência com o armazenamento de CO<sub>2</sub>, sua segurança é geralmente comparada ao armazenamento de gás natural. Essa tecnologia tem sido testada e experimentada por décadas e considerada pela indústria como de baixo risco. O Greenpeace discorda dessa avaliação. Uma série de vazamentos de instalações de armazenamento de gás tem ocorrido em todo o mundo, por vezes exigindo a evacuação dos moradores que vivem nos arredores.

### 2.2 energia nuclear

Em usinas nucleares, uma cadeia de reações de fissão nuclear resulta em calor para aquecer a água, que, por sua vez, se transforma em vapor que movimenta uma turbina. Apesar do avanço tecnológico, a energia nuclear é insegura e acidentes acontecem com frequência. Parte deles é provocada por falha humana na operação dos reatores.

Além disso, o discurso de que a energia nuclear é boa por emitir poucos gases do efeito estufa é incompleto. Para completar as etapas do ciclo nuclear, é necessário produzir combustível para o reator, a partir do qual será formado calor que vai gerar energia elétrica. Esse combustível, o urânio, para ser fabricado, passa por um longo processo – mineração, beneficiamento e enriquecimento –, que emite gases de efeito estufa em grande quantidade.

Ainda assim, o mais recente relatório de Perspectivas de Tecnologias Energéticas, publicado pela IEA (Agência Internacional de Energia), inclui um cenário que projeta que a capacidade nuclear seja quadruplicada até 2050. Para isso, 32 grandes reatores (de 1.000 MW cada um) teriam de ser construídos por ano no mundo. Uma análise mais realista do histórico da indústria nuclear e de sua atual capacidade de produção mostra que essa expansão é inviável. Ao longo de 60 anos, a indústria nuclear jamais foi capaz de se expandir em um ritmo superior a dez reatores por ano. Além disso, cada usina demora em média dez anos para ser finalizada.

Apesar do que fala a IEA, nas últimas duas décadas, menos usinas nucleares foram construídas no mundo, em razão dos riscos de acidentes e de contaminações ao longo da cadeia de produção – da mineração à geração nas usinas. Contribuiu com essa tendência o aumento da vigilância sobre questões ambientais – como a administração de resíduos, o descarte radioativo e o correto desmantelamento das usinas – e econômicas, como o alto valor do seguro. Isso faz com que essa tecnologia esteja entre uma das mais caras existentes, em que pesem altíssimos subsídios governamentais.

Em países como a Finlândia, que optaram pelo desenvolvimento de reatores de nova geração, foram encontradas falhas graves na construção de usinas. Esses países sofrem com sobrecustos, que já ultrapassam o dobro do preço inicial e atraso de anos na construção.

Além da tecnológica, há outras contas a pagar. Os altos custos nucleares não levam em consideração os reais valores de descomissionamento – desmontagem da usina após o término das suas operações, em média 40 anos, e gerenciamento dos rejeitos radioativos. Em nenhum lugar do mundo uma usina comercialmente operante foi completamente descomissionada e ainda não há solução para o lixo nuclear.

Esses custos estão estrategicamente excluídos da conta dos reatores nucleares. A desativação do complexo nuclear de Fukushima, por exemplo, demandará US\$ 100 bilhões e cerca de 40 anos de limpeza, valor obviamente não previsto no custo inicial das usinas. Sem falar dos custos do acidente e da evacuação da população afetada.

Após o acidente nuclear de Chernobyl, que freou a expansão da fonte por cerca de 20 anos, o desastre em Fukushima, em 2011, colocou nova interrogação sobre esse tipo de empreendimento. A combinação dos desastres naturais com a falta de segurança dos sistemas de resfriamento do complexo nuclear resultou no derretimento do núcleo de três reatores e, conseqüentemente, no alastramento de radiação por uma área de 13 mil quilômetros quadrados, obrigando 146 mil pessoas a se deslocarem. Os prejuízos do acidente, que totalizam US\$ 250 bilhões, foram repassados ao bolso dos contribuintes japoneses, enquanto a indústria e os operadores desembolsaram menos de US\$ 2 bilhões.

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

### cenário nacional

No Brasil, o Plano Nacional de Energia, lançado em 2007 pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), sinalizava a construção de quatro a oito novas usinas até 2030. Após Fukushima, no entanto, o governo brasileiro deixou de comentar ou justificar o plano, em função da avaliação global dos múltiplos riscos de usinas nucleares, por um lado, e da disponibilidade de muitas outras opções energéticas capazes de atender à demanda nacional, por outro.

Contudo, nem os desdobramentos do acidente de Fukushima foram suficientes para interromper a construção de Angra 3.

Parte dos recursos para a construção de Angra 3 viria de bancos europeus, intermediados por uma fiança paga pela Alemanha, desde que fosse comprovado, dentro dos atuais critérios, que as usinas do complexo de Angra são seguras e resistentes a impactos naturais. No entanto, a ausência de respostas convincentes das autoridades brasileiras resultou na reprovação do financiamento, que agora será arcado integralmente com recursos nacionais. A parcela restante virá da Caixa Econômica Federal, que deixará de financiar saneamento e casa própria para viabilizar os desejos do governo.

## 2.3 energias renováveis

As energias renováveis compreendem fontes naturais cujos estoques se renovam constantemente. A maioria delas origina-se a partir de efeitos do Sol e da Lua sobre padrões climáticos da Terra.

A expectativa mundial é de que as renováveis substituam gradativamente as energias geradas a partir de fontes fósseis. Além de reduzir a emissão de gases poluentes, o modelo renovável promove a descentralização da produção. Esse conceito prevê mais unidades geradoras em menor escala, instaladas mais próximas aos locais de maior demanda energética, em vez da concentração da geração de energia em grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, geralmente distantes dos centros de consumo.

### definição de energias renováveis pelo IPCC

As energias renováveis são qualquer forma de energia proveniente de fontes solares, geofísicas ou biológicas reabastecidas por processos naturais a um ritmo igual ou superior à sua utilização.

Elas são obtidas a partir dos fluxos contínuos ou repetitivos de energia que ocorrem no ambiente natural e incluem recursos como biomassa, energia solar, calor geotérmico, energia hídrica, das marés e das ondas e a energia eólica. No entanto, é possível utilizar a biomassa a uma taxa maior do que a de seu cultivo, ou extrair calor de um campo geotérmico a uma taxa mais rápida do que os fluxos de calor podem recuperar. Por outro lado, a taxa de utilização da energia solar direta não tem influência sobre a velocidade com que ela chega à Terra.

Os combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural) não fazem parte dessa definição, pois não são recuperados dentro de um período de tempo curto em relação à sua taxa de utilização.

### 2.3.1 energia hidrelétrica

A água vem sendo empregada para a produção de eletricidade há mais de um século. Atualmente, cerca de um quinto da eletricidade mundial é produzida por energia hidrelétrica. No Brasil, a participação é ainda mais expressiva: a hidroeletricidade representou 81,9% do total de energia gerada em 2011 (BEN, 2012).

Grandes usinas já instaladas compõem a matriz brasileira majoritariamente renovável. Entretanto, novas obras gigantescas, com alto impacto socioambiental, são desnecessárias. Grandes hidrelétricas com barragens e lagos artificiais trazem sérias consequências, tais como inundação de áreas habitáveis, deslocamento de comunidades e perda de biodiversidade da área afetada.

A construção de hidrelétricas jamais pode ser aceitável em áreas de importância ecológica significativa – como o bioma Amazônia – e, em casos de impactos sociais e conflitos com populações afetadas, deve haver consulta e consentimento prévio sobre a implementação desses empreendimentos.

O Plano Decenal de Energia 2012-2021 prevê que, para atender à expansão do sistema elétrico, é preciso gerar 31,7 mil MW em usinas hidrelétricas, incluindo Santo Antônio, Jirau, Belo Monte e o complexo previsto para a bacia do Tapajós. Belo Monte tem uma capacidade de geração de 11,5 mil MW, mas traz impactos ao bioma amazônico e a suas populações tradicionais.

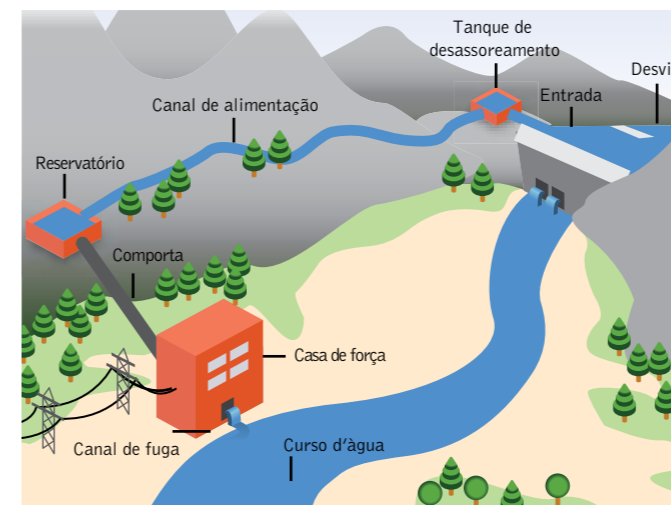
Pelo cenário [R]evolução Energética, o Brasil precisará, para a próxima década, de 20 mil MW gerados pela fonte hidrelétrica. Considerando que Belo Monte é fato consumado, o país precisa de mais 8,5 mil MW oriundos desta fonte, que podem ser gerados em PCHs (pequenas centrais hidrelétricas).

As PCHs são usinas de menor porte em comparação com grandes hidrelétricas, mas suficientes para abastecer pequenas e médias cidades ou indústrias. Atualmente, 438 PCHs com capacidade energética superior a 4.000 MW operam no país (Aneel, 2013). De acordo com a EPE e o MME (Ministério de Minas e Energia), o potencial teórico de PCHs no Brasil é de 25 mil MW.

Se instaladas mediante uma série de exigências socioambientais, as PCHs a fio d'água aproveitam o curso natural de rios, reduzindo os maiores impactos da construção de reservatórios, a alteração de usos e características dos rios e os prejuízos à população ribeirinha e à flora local.

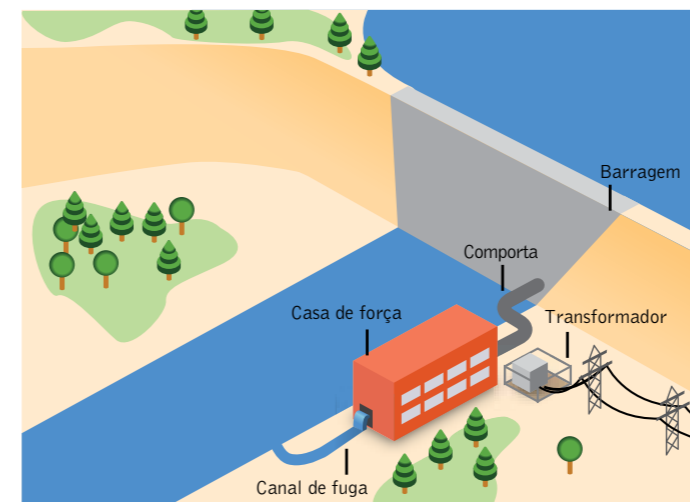
Por outro lado, há que se ressaltar que a construção sequencial de PCHs em um mesmo rio pode causar impactos cumulativos até superiores aos de usinas de grande porte, no que se refere à alteração do fluxo desses rios e prejuízos a comunidades ribeirinhas. Daí a importância de um planejamento que leve em consideração a redução dos efeitos negativos.

figura 2.1: esquema de hidrelétrica de fio d'água



fonte  
IPCC 2012: RELATÓRIO ESPECIAL SOBRE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. PREPARADO PELO GRUPO DE TRABALHO III DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EDITORA DA UNIVERSIDADE DE CAMBRIDGE.

figura 2.2: esquema de hidrelétrica com reservatório



fonte  
IPCC 2012: RELATÓRIO ESPECIAL SOBRE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. PREPARADO PELO GRUPO DE TRABALHO III DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EDITORA DA UNIVERSIDADE DE CAMBRIDGE.

### 2.3.2 energia eólica

A energia eólica é produzida por aerogeradores, equipamentos de até 120 metros de altura. São compostos essencialmente de uma torre, um gerador elétrico e uma hélice. O vento faz com que as pás girem e esse movimento é transformado em energia elétrica pelo gerador. Os parques eólicos podem ser localizados em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*). Cada local apresenta características e comportamento diferentes, portanto turbinas diferenciadas podem aproveitar o máximo do potencial energético de cada sítio.

Na última década, a energia eólica se tornou uma das fontes que mais crescem no mundo e tem atraído boa parte dos investimentos em renováveis. O potencial avaliado pelo Atlas Eólico Brasileiro é de 143 mil MW e, segundo a Abeeólica (Associação Brasileira de Energia Eólica), a revisão desses números, considerando melhor medição e aumento da altura média das torres eólicas, atualizará esse valor para uma faixa entre 300 e 350 mil MW<sup>7</sup>.

Nos últimos 30 anos, o tamanho médio das turbinas cresceu significativamente [figura 2.3], sendo que boa parte das torres eólicas em terra instaladas no mundo em 2011 apresenta capacidade entre 3,5 MW e 7,5 MW. Em termos de eficiência, as turbinas mais modernas têm apresentado fatores de capacidade superiores a 50% – em comparação a números máximos de 40% nos anos 1980.

O crescimento do tamanho das turbinas tem sido acompanhado pela expansão de mercados e fabricantes. O mercado chinês é atualmente o maior, mas aumentos expressivos são vistos nos Estados Unidos e na Europa. No Brasil, a capacidade atualmente instalada, de 1.964 MW, deve superar os 8.000 MW até 2016, como resultado de leilões de energia realizados anualmente desde 2009.

Torres eólicas podem ser instaladas em áreas costeiras com maior abundância de ventos ou distantes do litoral. As eólicas *offshore* geram até mais energia do que os parques instalados em terra e os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos focam tal potencial. Na Europa, as eólicas *offshore* já representam cerca de 10% do mercado de energia eólica (EWEA, 2012). Além de captar ventos mais fortes, países ou regiões com baixo potencial eólico *onshore* ou com limitações do uso da terra se beneficiam dessa categoria de torres.

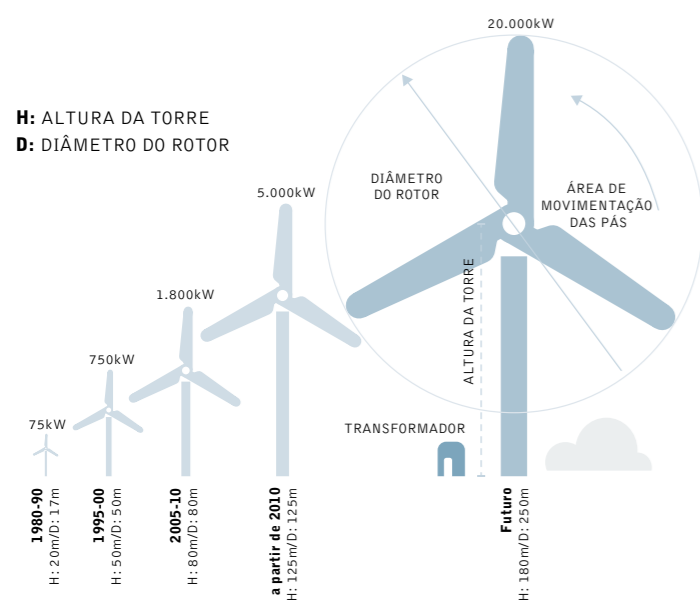
#### referência

<sup>7</sup> ESSE POTENCIAL REPRESENTARIA CERCA DE TRÊS VEZES O DA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL ATUAL, DE 120 MIL MW, OU CERCA DE DUAS VEZES A PROJEÇÃO DESSA MATRIZ PARA 2020, DE ACORDO COM O PDE 2012-2021.



A exploração da energia eólica deve levar em conta cuidados ambientais: evitar ocupar regiões protegidas, sítios arqueológicos ou dunas e salvaguardar a população local de impactos visuais e sonoros – esses reduzidos ao longo do tempo com a evolução dos aerogeradores. O problema da mortalidade de pássaros em decorrência de choques com aerogeradores pode ser equacionado com o aperfeiçoamento de estudos de rotas migratórias de aves.

figura 2.3: crescimento do tamanho de uma turbina eólica comercial típica



fonte  
IPCC 2012: RELATÓRIO ESPECIAL SOBRE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. PREPARADO PELO GRUPO DE TRABALHO III DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EDITORA DA UNIVERSIDADE DE CAMBRIDGE.

### 2.3.3 energia solar

A energia solar apresenta três grandes modalidades: energia solar fotovoltaica, CSP (energia solar concentrada, da sigla em inglês) e energia solar para aquecimento de água.

A solar PV (energia solar fotovoltaica) é produzida por painéis fotovoltaicos instalados no topo de casas e edifícios, que captam a luz solar e transformam a radiação em eletricidade. O painel é constituído por um conjunto de módulos e baterias recarregáveis associados a inversores e controladores de carga. A energia elétrica produzida nos dias de sol é armazenada na bateria, para ser usada à noite e em dias nublados.

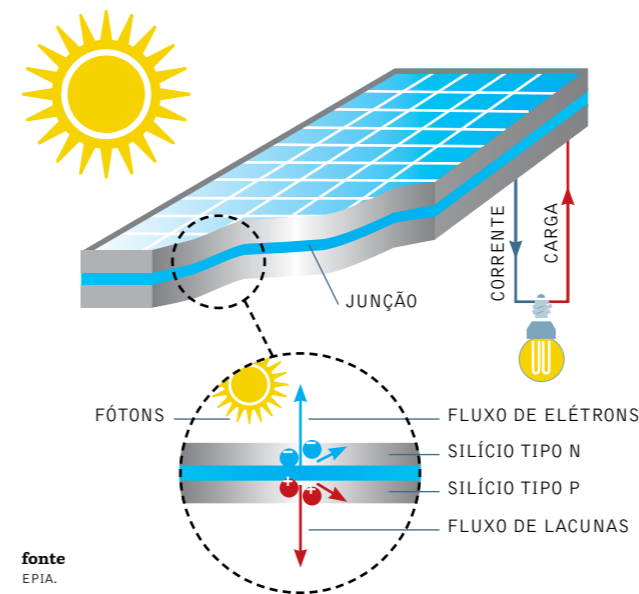
Os painéis também podem ser conectados à rede elétrica, transformando a energia solar em corrente contínua, gerando eletricidade com as mesmas características da energia disponível na rede comercial e dispensando o uso de baterias. Um sistema de capacidade de 2 kWp – ou a potência máxima do sistema em condições-padrão – é suficiente para abastecer uma residência com consumo médio.

Dados do Atlas Solarimétrico do Brasil (MME, 2004) indicam que o país tem uma média anual de radiação global entre 1.642 e 2.300 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Na prática, isso significa que, se 3% da área urbanizada do Brasil fosse coberta por painéis fotovoltaicos, um décimo da demanda brasileira por eletricidade poderia ser atendida. A capacidade mundial instalada de energia solar fotovoltaicos superou os 100 mil MW em 2012 – quatro vezes a quantidade de painéis operantes em 2009 – e a fonte foi a renovável que mais atraiu investimentos em 2012 (PEW, 2013).

Como consequência, as células fotovoltaicas têm registrado uma considerável queda de preço: aproximadamente 20% a cada duplicação da capacidade instalada. Assim, nos próximos dez anos, as células devem se tornar competitivas em relação aos preços médios de tarifas elétricas praticadas atualmente.

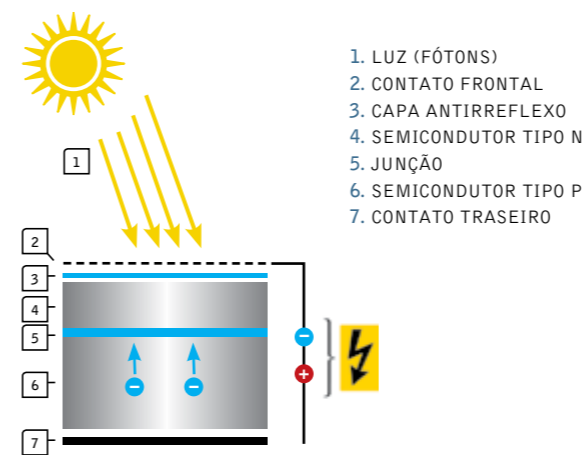
A energia solar fotovoltaica pode ser gerada tanto em residências e edifícios comerciais localizados em centros urbanos quanto em comunidades isoladas, que não estão conectadas à rede elétrica.

figura 2.4: efeito fotovoltaico



fonte  
EPIA.

figura 2.5: tecnologia fotovoltaica



### TECNOLOGIAS

Há vários tipos de sistemas e tecnologias de painéis fotovoltaicos. Os sistemas atuais não se limitam a painéis planos e retangulares: há opções curvas, flexíveis e moldadas ao projeto de edifícios:

- **SÍLCIO CRISTALINO:** tecnologia mais comum, representa 80% do mercado atual. As células são feitas de fatias finas de cristais de silício monocristalino ou policristalino;
- **FILME FINO:** módulos construídos pela deposição de camadas extremamente finas de materiais fotossensíveis em substratos como vidro, aço ou plástico flexível. Apresentam aplicação na integração de edifícios – em telhas de vidro ou laterais de fachadas;
- **TECNOLOGIAS EMERGENTES:** fotovoltaica concentrada, formada por células de coletores concentrados, que usam uma lente para focar a radiação solar nas células; células solares orgânicas, nas quais o material ativo consiste em corante orgânico, moléculas ou polímeros orgânicos.

### SISTEMAS

- **SISTEMAS INDUSTRIAIS E DE GRANDE PORTE:** podem produzir desde centenas de quilowatts até alguns megawatts. Os painéis solares para sistemas industriais podem ser montados no chão ou no teto de fábricas, armazéns, terminais de aeroportos ou estações rodoviárias, usando o espaço urbano e injetando eletricidade na rede para compensar o consumo intensivo de energia;
- **SISTEMAS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS:** os sistemas conectados à rede são o tipo mais popular de sistemas solares fotovoltaicos instalados na Europa, nos Estados Unidos e no Japão, entre outros países. A ligação à rede elétrica local permite que qualquer excesso de energia produzido seja intercambiado com a concessionária. Quando não há sol, a eletricidade é puxada da rede. Um inversor converte a corrente contínua produzida pelo sistema em corrente alternada para abastecer equipamentos elétricos comuns. Já sistemas fotovoltaicos desconectados da rede usam baterias para armazenar energia gerada de dia para a noite ou em dias nublados. As aplicações mais comuns são para eletrificação rural, estações remotas de telefones celulares, sinais de trânsito e navegação, postes e sinais em estradas, bombas d'água, entre outras.

### energia solar concentrada

A CSP (energia solar concentrada) consiste na produção de eletricidade de modo similar às termelétricas. A diferença é que a energia é obtida pela concentração de radiação solar e convertida em vapor ou gás em alta temperatura para impulsionar uma turbina ou motor.

Grandes espelhos ou calhas parabólicas concentram a luz solar em uma única linha ou ponto. O calor produzido se converte em vapor quente em alta pressão, que movimenta turbinas que geram eletricidade. Em regiões de sol intenso, usinas heliotérmicas podem garantir grande produção de eletricidade. Os maiores exemplos de projetos estão na Espanha e nos Estados Unidos.

A energia solar concentrada tem experimentado uma grande expansão internacional, e seus custos, em longo prazo, situam-se entre 190 e 290 US\$/MWh nesses mercados. Os sistemas são apropriados para regiões com altos índices de radiação solar direta, como o Nordeste brasileiro.

A energia solar concentrada apresenta diversas vantagens.

É capaz de atender a diferentes aplicações e condições (de dezenas de kW até vários MW). O calor pode ser armazenado para produzir energia em horários de pico ou outros, de acordo com a demanda. Além disso, pode operar em um sistema híbrido com biomassa ou combustíveis fósseis, garantindo fornecimento de energia estável e flexível sob demanda. De acordo com a IEA<sup>8</sup>, acredita-se que os sistemas CSP se tornem competitivos para o suprimento de cargas no pico da demanda por volta de 2020, e para o suprimento de cargas na base entre 2025 e 2030.

O armazenamento de energia térmica integrado a um sistema é um atributo importante da CSP. Até recentemente, o máximo de armazenagem conseguido era equivalente a uma hora de geração de energia, o que suavizava o impacto de intermitência na geração, por conta de nuvens ou desligamentos. Agora, há plantas projetadas para 6 e 7,5 horas de armazenagem, tempo suficiente para permitir a operação à noite, quando ocorre a demanda de pico e as tarifas são mais altas.

### aquecimento solar

Um dos sistemas mais acessíveis é o de aquecedores solares, composto de placas que aquecem a água em um reservatório térmico, no qual ela é armazenada para consumo posterior. Essa aplicação é incluída entre medidas de eficiência energética, uma vez que os coletores solares não produzem eletricidade, mas dispensam o uso de chuveiros elétricos para o aquecimento de água, contribuindo, dessa forma, para a redução da demanda de energia no horário de pico.

As tecnologias no mercado já são eficientes e confiáveis, fornecendo energia para uma ampla gama de aplicações em edifícios residenciais e comerciais, aquecimento de piscinas, produção de calor de processo em indústrias, resfriamento de ambientes e dessalinização de água potável.

A principal aplicação no Brasil é o aquecimento de água; já o condicionamento ambiental ainda não é utilizado. Um passo fundamental para a disseminação dessas aplicações é a integração desses equipamentos na fase de projetos de

construções e edifícios, reduzindo o custo de instalação.

Em relação ao condicionamento ambiental, o uso de sistemas térmicos solares para aquecimento de ambientes tem crescido em países europeus, especialmente na Alemanha e na Áustria. Os coletores usados para a aplicação conjugam aquecimento de água e ambientes a partir de sistemas análogos ao do aquecimento de água, somado a sistemas de bombeamento.

Para o resfriamento de ambientes, os chillers solares podem resfriar ou desumidificar o ar de forma parecida à de um refrigerador ou ar-condicionado convencional. A aplicação, ainda pouco difundida mundialmente, se adapta bem à energia solar térmica, uma vez que a demanda por resfriamento é proporcional à quantidade de sol de um dado local.

figuras 2.6: tipos de usina solar concentrada (CSP)

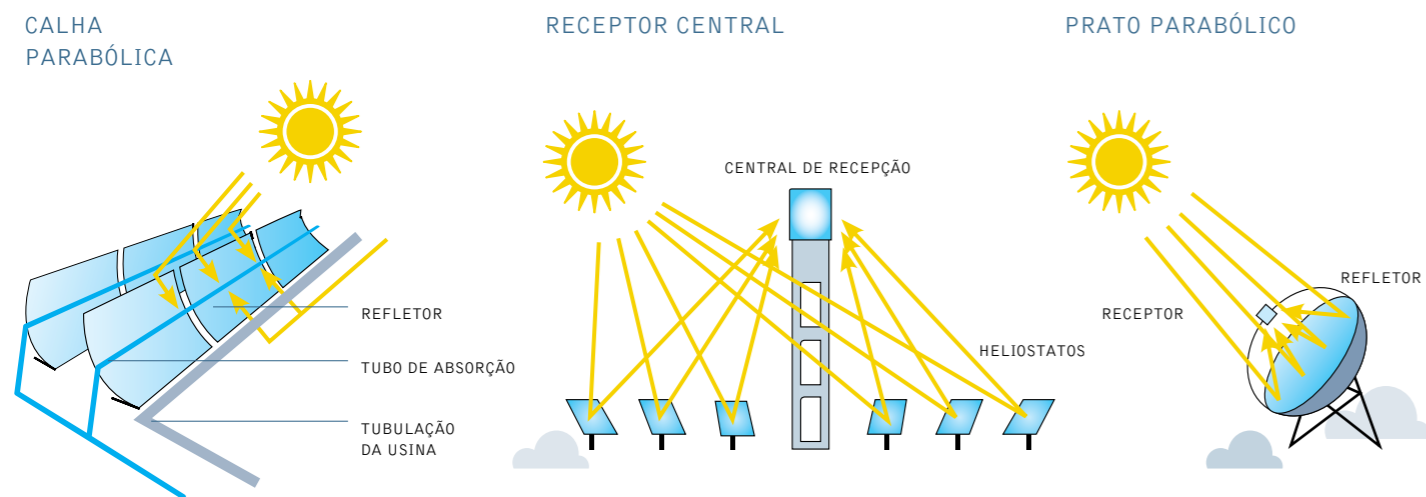
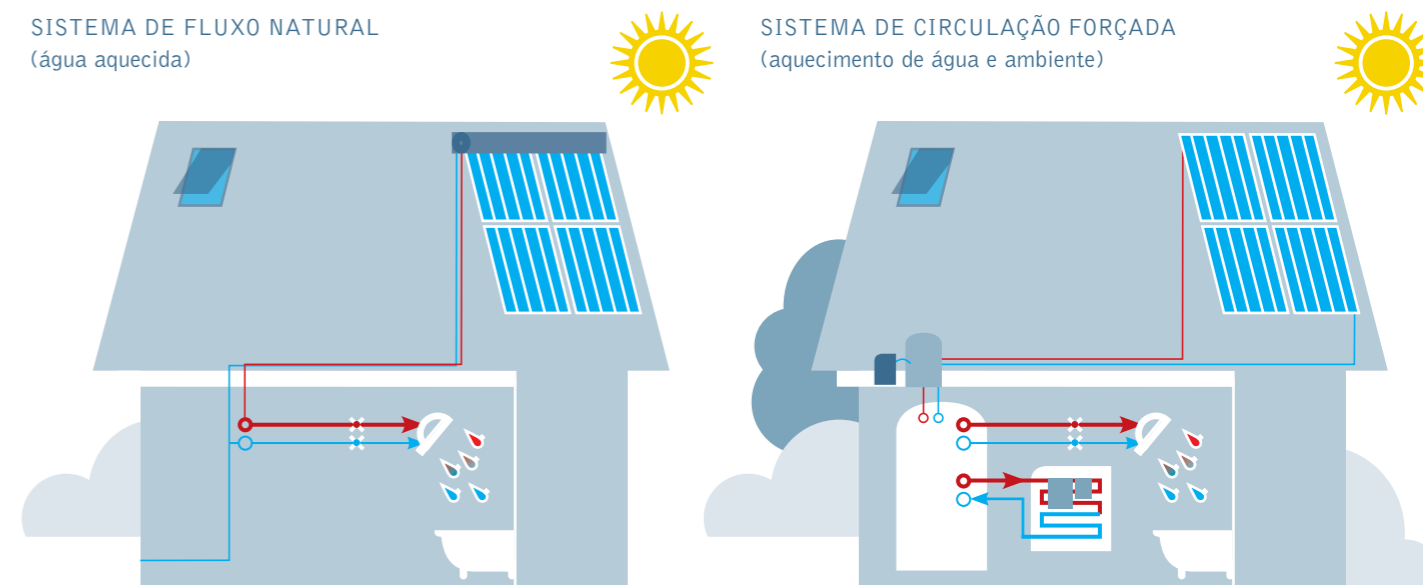


figura 2.7: sistema de fluxo natural versus sistema de circulação forçada



referência  
8 IEA, TECHNOLOGY ROADMAP – CONCENTRATING SOLAR POWER. ROADMAP – CONCENTRATING SOLAR POWER, 2012.



### 2.3.4 biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica animal ou vegetal, como resíduos agrícolas e florestais, que pode ser aplicada em usos finais como cocção, aquecimento de ambientes e movimentação de veículos, ou ainda utilizada para a geração de eletricidade. No Brasil, os principais exemplos de biomassa líquida, ou biocombustíveis, são o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar e o biodiesel. O biogás, oriundo de aterros sanitários, é outro exemplo de biomassa, no estado gasoso.

A bioeletricidade, ou eletricidade produzida a partir da biomassa, tem no bagaço da cana seu principal substrato no Brasil. No processamento da cana-de-açúcar, há alta demanda de energia térmica, mecânica e elétrica. Após a extração do caldo, é possível queimar o bagaço em caldeiras, produzindo vapor, que pode ser reutilizado na forma de calor ou na alimentação de turbinas para a geração de eletricidade. Esse processo recebe o nome de cogeração.

O volume de bagaço e de palha da cana disponíveis nos canaviais representa uma quantidade energética expressiva. Se utilizados para a geração de energia, totalizariam uma potência de 14 mil MW, o equivalente à usina de Itaipu, e 28 mil MW em 2020 de acordo com a projeção da safra para esse horizonte de tempo (Unica, 2012). Hoje, a geração de eletricidade por biomassa no país já é superior a 7.000 MW.

As usinas de cogeração a biomassa funcionam como termelétricas, mas o combustível queimado é renovável e as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes dessa queima são reabsorvidas na safra seguinte. O tamanho médio das usinas também é inferior ao de grandes termelétricas, por questões logísticas e processuais.

Diversos processos são usados para converter biomassa em energia. Eles dividem-se em processos termoquímicos (combustão direta de sólidos, líquidos ou gases por meio de pirólise ou gaseificação) e sistemas biológicos (decomposição de biomassa sólida em combustíveis líquidos ou gasosos por processos como digestão anaeróbica e fermentação).

Ambos os processos podem implicar impactos ambientais. A produção de biocombustíveis, em particular, inspira cuidados e restrições de forma a evitar impactos na produção de alimentos e outras culturas agrícolas.

#### 2.3.4.1 biocombustíveis

O uso de biocombustíveis pode representar uma solução à redução do consumo de fósseis e, conseqüentemente, das emissões de carbono do setor de transportes. Portanto, se produzido dentro de rígidos padrões de salvaguardas socioambientais, o etanol pode ampliar sua participação no setor de transportes como alternativa ao diesel e à gasolina.

Os principais impactos ambientais dos biocombustíveis devem-se à competição com culturas alimentares, ao uso de fertilizantes, à contaminação da água e do solo, à ocorrência de queimadas, à contaminação de lençóis freáticos pelo descarte indevido da vinhaça (resíduo da destilação da cana) e à pressão da fronteira agrícola para cima de florestas. Os impactos sociais estão relacionados às condições de trabalho dos agricultores temporários, incluindo impactos à saúde.

Por isso, a substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis é positiva, mas deve vir acompanhada de medidas de incentivo ao uso de transporte público e outras formas não poluentes, de modo a não gerar mais pressão ambiental no campo.

#### ETANOL

O etanol é um combustível produzido pela fermentação do açúcar (de cana-de-açúcar ou de beterraba) ou pela quebra química do amido presente em grãos como trigo, centeio ou milho. No Brasil, o etanol é principalmente produzido a partir da cana-de-açúcar. Nos Estados Unidos, a matéria-prima normalmente utilizada é o milho. Já na União Europeia, é produzido principalmente de grãos como o trigo. Nos transportes motorizados, o etanol pode ser utilizado de forma pura ou misturado à gasolina, em proporção de 20% a 25%.

#### BIODIESEL

O biodiesel é um combustível produzido a partir de óleo vegetal proveniente de soja, dendê, sementes de girassol e outros óleos vegetais. Óleos de cozinha e gorduras de origem animal também podem ser utilizados. A reciclagem de óleos vegetais para a produção de biodiesel pode reduzir a poluição do óleo descartado e apontar uma nova maneira de transformar resíduos em energia. Misturas de biodiesel e diesel convencional são os produtos mais comuns distribuídos no mercado de combustíveis de transporte. O combustível que contém 20% de biodiesel é rotulado B20, enquanto o biodiesel puro é referido como B100. Misturas de 20% de biodiesel com 80% de diesel geralmente podem ser utilizadas em motores a diesel não modificados.

#### impactos socioambientais dos biocombustíveis

Biocombustíveis têm um importante papel em uma revolução energética no Brasil. No entanto, apesar das vantagens em termos climáticos, seu potencial é revestido de um complicador: como impedir que essas culturas avancem sobre áreas de produção de alimentos, áreas protegidas e de populações tradicionais e áreas com alto valor ambiental?

A fim de otimizar a utilização dos biocombustíveis como parte da solução para as mudanças climáticas, é essencial aumentar a produtividade na cultura de matérias-primas, melhorar a eficiência energética dos motores que utilizam esses combustíveis e também expandir outras culturas agrícolas potenciais mais produtivas.

Alguns critérios são necessários:

- 1 Uso de melhores tecnologias e dos preceitos da agricultura de baixo carbono;
- 2 Ausência de competição com a produção de alimentos;
- 3 Investimento em matérias-primas variadas, priorizando as que apresentam altas taxas de produtividade<sup>9</sup>;
- 4 A expansão das culturas utilizadas para a produção de biocombustíveis não deve provocar, direta ou indiretamente, o desmatamento de florestas nativas, bem como outros impactos ambientais como a degradação do solo e a poluição das águas<sup>10</sup>;
- 5 A expansão de culturas utilizadas para a produção de biocombustíveis não deve avançar sobre terras indígenas demarcadas, unidades de conservação ou áreas tradicionalmente ocupadas por comunidades locais, e deve observar os direitos trabalhistas;
- 6 Respeito aos movimentos sociais do campo, sem que a produção das matérias-primas motive ou ocorra em áreas de conflitos fundiários, bem como respeito aos direitos e à cultura dos agricultores familiares.

### 2.3.5 energia oceânica

Esse tipo de geração de energia é feito por meio de uma estrutura que interage com o movimento do mar, convertendo a energia em eletricidade por meio de sistemas hidráulicos, mecânicos ou pneumáticos. Essa estrutura, ancorada ou fundada diretamente no fundo do mar ou no litoral, transmite a energia por um cabo elétrico, flexível e submerso, levado até a costa por uma tubulação submarina.

Represas ou barragens em estuários ou baías com marés de pelo menos cinco metros de extensão são capazes de produzir energia maremotriz. Aberturas na barragem permitem que a entrada da maré forme uma bacia. Quando as portas se fecham, a maré volta e a água pode ser canalizada através de turbinas para gerar eletricidade.

O mesmo princípio pode produzir eletricidade a partir das ondas – a chamada energia ondomotriz. Outra forma de produção se dá por meio de tubos concatenados similares a uma cobra que, quando flexionados, geram ondas de pressão em fluidos em seu interior. A variação da pressão gira turbinas na extremidade do dispositivo e a eletricidade produzida é transportada para a costa por cabos.

A energia oceânica apresenta um potencial nacional de 114 mil MW, de acordo com a Coppe/UFRJ. A primeira usina já foi projetada e deve ser construída no Ceará.

Internacionalmente, o custo atual da energia oceânica está entre 210 e 280 US\$/MWh, mas pode baixar de acordo com evoluções tecnológicas e principalmente de mercado. A pesquisa vem se intensificando principalmente no Reino Unido. Barragens de marés foram construídas em estuários na França, no Canadá e na China, mas as projeções de custos elevados e as objeções aos efeitos nos habitats dos estuários têm limitado essa expansão.

Em termos ambientais, as usinas movidas a energia oceânica e maremotriz apresentam emissões diretas nulas de gases de efeito estufa e impactos moderados em relação à ocupação de solo oceânico. Uma central de 750 kW ocupa 525 metros quadrados na superfície do oceano e uma turbina maremotriz de 1 MW ocupa 288 metros quadrados no fundo do mar. A área não representa interferência à navegação, mas pode impactar a vida marinha (Jacobson, 2008).

#### referência

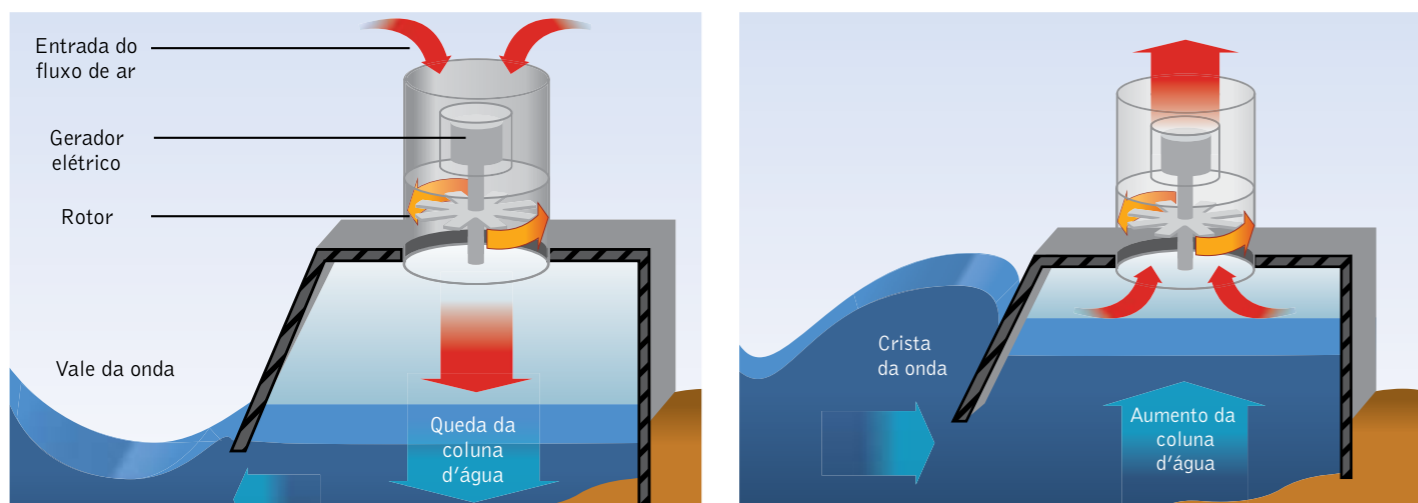
- 9 AZEREDO, V.B.S., "PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO CULTIVO DE MICROALGAS: ESTIMATIVA DE CUSTOS E PERSPECTIVAS PARA O BRASIL"
- 10 O CONCEITO DE DESMATAMENTO ZERO E COMO CHEGAR A ELE PODEM SER ACESSADOS AQUI: [HTTP://WWW.DESMATAMENTOZERO.ORG.BR/](http://WWW.DESMATAMENTOZERO.ORG.BR/)

## > TECNOLOGIAS

Diversas tecnologias de energia de ondas estão em fase inicial de desenvolvimento e testes. Os projetos variam de tamanho, de forma a lidar com os diferentes tipos de movimento de onda, lâmina d'água e distância da costa.

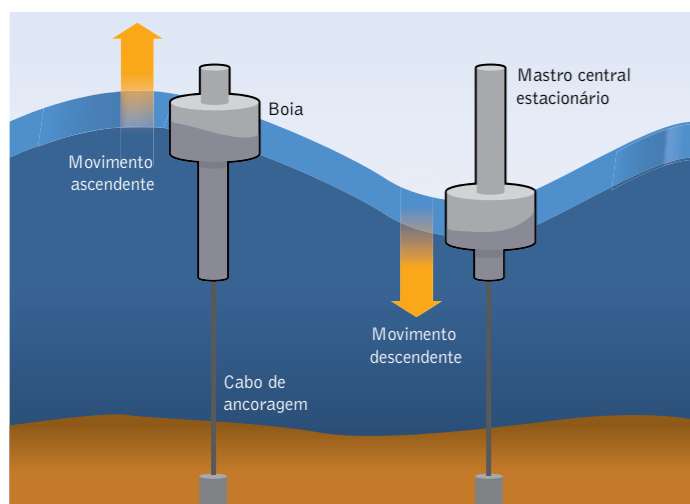
Nenhuma tecnologia em especial tem se destacado. Diferentes sistemas estão sendo testados no mar, principalmente no Reino Unido. O maior sistema conectado à rede é o Pelamis, de 2,25 MW, com seções cilíndricas conectadas, localizado na costa de Portugal.

figura 2.8: colunas de água oscilante



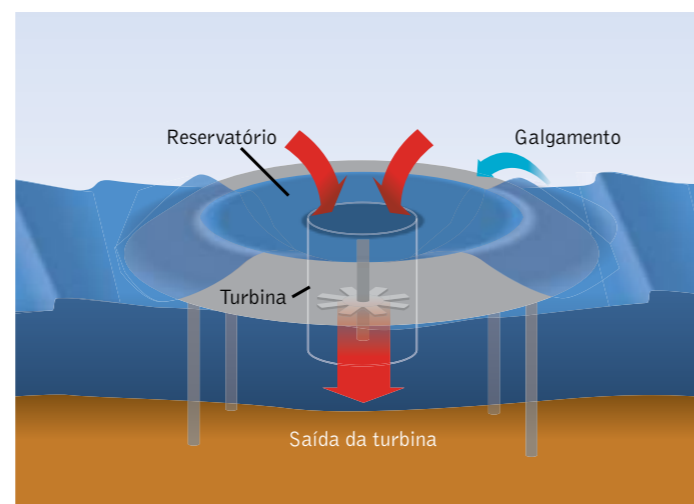
fonte  
IPCC 2012: PUBLICAÇÃO ESPECIAL SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. PREPARADO PELO GRUPO DE TRABALHO III DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EDITORA DA UNIVERSIDADE DE CAMBRIDGE.

figura 2.9: sistema de corpo oscilante



fonte  
IPCC 2012: PUBLICAÇÃO ESPECIAL SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. PREPARADO PELO GRUPO DE TRABALHO III DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EDITORA DA UNIVERSIDADE DE CAMBRIDGE.

figura 2.10: dispositivos de galgamento



Em relação à energia de marés, os trabalhos mais recentes concentram-se em usinas em bacias marítimas, chamados de lagoas de marés, capazes de fornecer energia de forma mais flexível e com pouco ou nenhum impacto sobre os ambientes estuários delicados. O mecanismo de conversão de energia mais utilizado são as turbinas bulbo. Exemplos de usinas com essa tecnologia estão em La Rance, na França, com potencial de 240 MW; e outra no lago Sihwa, na Coreia do Sul, com 254 MW.

Costas gradualmente inclinadas são áreas adequadas para usinas de marés, como o estuário do Severn, entre o sudoeste da Inglaterra e o País de Gales. O fator de capacidade médio para esse tipo de usinas tem oscilado entre 22,5 e 35%.

### 2.3.6. energia geotérmica

O calor e o vapor provenientes das camadas internas da Terra podem ser aproveitados para gerar eletricidade limpa. Em uma usina geotérmica, água é injetada em uma camada profunda da crosta terrestre até alcançar o magma, manto composto de rochas líquidas a altas temperaturas. O líquido extraído dessas camadas pode chegar a uma temperatura de 175°C e ser aproveitado para o aquecimento de água em edifícios. Para gerar eletricidade por meio do vapor obtido, as temperaturas devem ser superiores a 150°C.

Em países onde há erupções vulcânicas, o uso da energia geotérmica é comum; já existe tecnologia para trazer o calor à superfície em qualquer lugar, mesmo sem vulcões. No Brasil, a energia geotérmica apresenta potencial para aquecimento de água ou ambientes, mas não para a geração de eletricidade. Esse tipo de energia é pesquisado nas universidades federais do Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Norte<sup>11</sup>.

### armazenamento de energia

Uma vez que a participação das fontes renováveis na matriz elétrica aumenta em todo o mundo, as tecnologias e políticas necessárias para lidar com a sua variabilidade também têm avançado. Nesse sentido, o armazenamento de energia é uma parte fundamental da revolução energética, ao lado de soluções para as redes elétricas e da previsão de geração renovável discutidas adiante neste documento.

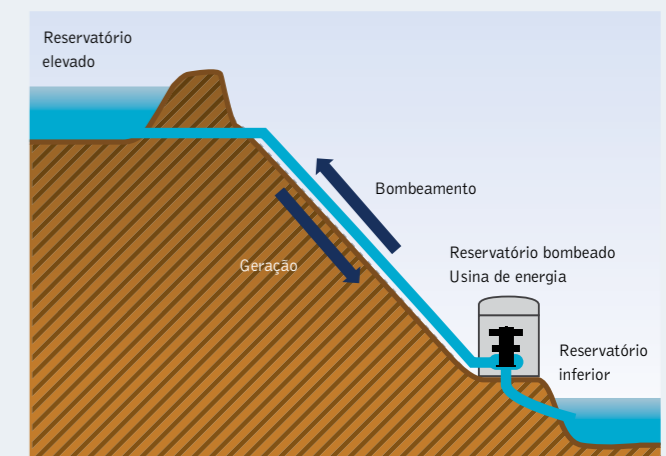
Quando a participação de energias renováveis intermitentes excede 30% da matriz, o armazenamento de energia se faz necessário para compensar baixas na geração ou para guardar eletricidade excedente gerada e não consumida em períodos ensolarados ou de muito vento.

Há tecnologia de armazenamento disponível para diferentes perfis, desde aquelas que compensam flutuações de algumas horas até as que preenchem déficits de geração por várias semanas.

Opções de curto prazo incluem baterias, usinas de energia de ar comprimido e usinas hidrelétricas reversíveis. Essa opção, desde que não implementada em áreas ambientalmente sensíveis, pode ser usada também para armazenamento de longo prazo e consiste no bombeamento da água de um reservatório baixo a outro mais elevado para que a queda seja novamente aproveitada na geração de energia.

Outra alternativa promissora são os veículos elétricos, que terão capacidade de transferir energia de volta à rede e aumentar a flexibilidade do sistema elétrico, carregando o carro quando há sobra de geração renovável ou descarregando-o para contribuir para a demanda de pico ou serviços auxiliares à rede. Mas, para esse nível ser atingido, os desafios logísticos do abastecimento e os altos preços das baterias devem ser superados.

figura 2.11: esquema de uma usina hidrelétrica reversível



fonte  
IPCC 2012: PUBLICAÇÃO ESPECIAL SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. PREPARADO PELO GRUPO DE TRABALHO III DO PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EDITORA DA UNIVERSIDADE DE CAMBRIDGE.

referência  
<sup>11</sup> HAMZA, V.M., CARDOSO, R.R., GOMES, A.J.L., ALEXANDRINO, C.H. BRAZIL: COUNTRY UPDATE, PROCEEDINGS WORLD GEOTHERMAL CONGRESS, BALI, INDONESIA, INDONÉSIA, 2010.



## o conceito da revolução energética



imagem MINIUSINA FOTOVOLTAICA EM BOM JESUS DO PUDUARÍ, AMAZONAS.

No final de 2012, um blecaute afetou 12 Estados brasileiros devido a problemas na subestação da hidrelétrica de Itumbiara. Em 2009, 60 milhões de pessoas em 18 Estados ficaram sem luz em decorrência de um curto circuito nas três linhas de transmissão que levavam energia de Itaipu ao sistema interligado nacional.

Esses e outros incidentes têm ocorrido com certa frequência e evidenciam os problemas existentes das redes de transmissão e distribuição de energia no Brasil. A atual geração de eletricidade está centralizada, principalmente, em grandes usinas hidrelétricas que estão localizadas em regiões distantes dos centros urbanos e industriais.

Portanto, são necessários altíssimos investimentos em sistemas de transmissão que conectem as usinas até as regiões de consumo. Nesse trajeto, parte da energia é perdida. Além disso, esse sistema é vulnerável a falhas técnicas locais e interrupções provocadas por eventos meteorológicos.

Esses problemas de infraestrutura exigem uma nova abordagem sobre como devemos gerar energia. Se a matriz atual for meramente expandida, os problemas continuarão. Portanto, a solução está no redirecionamento de investimentos, diversificação e descentralização da produção de eletricidade. Isso é parte da revolução energética que necessitamos.

### cinco princípios fundamentais para uma revolução energética:

- 1 IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES RENOVÁVEIS, ESPECIALMENTE POR MEIO DE SISTEMAS DE ENERGIA DESCENTRALIZADOS E DA EXPANSÃO DE REDES DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO:** existem tecnologias para aproveitar a energia de modo mais eficiente e limpo. Energias renováveis e medidas de eficiência energética estão disponíveis, são viáveis e cada vez mais competitivas. As fontes eólica e solar, entre outras, cresceram mais de 20% ao ano no mercado internacional na década passada. Já os sistemas descentralizados ou de geração distribuída são mais sustentáveis, mais seguros e criam mais empregos;
- 2 RESPEITO AOS LIMITES DO AMBIENTE NA CONSTRUÇÃO DE PROJETOS ENERGÉTICOS:** o ambiente tem uma capacidade limitada de absorver alterações provocadas pelo homem e de se renovar. Os projetos energéticos precisam levar em conta a limitação de recursos naturais e os impactos ambientais em curto, médio e longo prazo, tanto no que diz respeito às emissões de carbono, quanto na alteração profunda da paisagem e dos ecossistemas. A espécie humana depende desse equilíbrio;
- 3 ELIMINAÇÃO GRADUAL DE FONTES DE ENERGIAS FÓSSEIS E/OU IMPACTANTES:** no momento em que as emissões de carbono oferecem um perigo real à manutenção de vida no planeta, a construção de usinas térmicas a óleo combustível, diesel e carvão são um contrassenso inadmissível. Também os riscos de segurança e o lixo radioativo gerado pelas usinas nucleares inviabilizam a continuidade dessa tecnologia. Portanto, as usinas térmicas e nucleares devem ser gradualmente eliminadas e substituídas. A retomada do programa nuclear brasileiro deve ser interrompida;
- 4 MELHOR DISTRIBUIÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS E ENERGÉTICOS:** deve-se buscar uma distribuição justa dos benefícios e dos custos entre as sociedades, nações e gerações presentes e futuras, considerando sempre os limites naturais. Enquanto um terço da população mundial não tem acesso à eletricidade, a maioria dos países industrializados consome muito mais do que a parte que lhe seria justa. Serviços como luz, eletricidade e transporte devem estar disponíveis a todos;
- 5 QUEBRAR O VÍNCULO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS:** o crescimento econômico pode ser desvinculado do aumento de consumo energético, principalmente do consumo de combustíveis fósseis. É possível aumentar o PIB utilizando menos eletricidade, queimando menos petróleo e desenvolvendo as tecnologias renováveis que o substituirão em algumas décadas. Para isso, é necessário usar a energia produzida de modo mais eficiente e fazer uma transição ágil para as fontes renováveis de modo a proporcionar um crescimento limpo e sustentável.



### 3.1 um caminho para o desenvolvimento

Consideramos como três os passos fundamentais a serem seguidos para a transformação do atual modelo energético em um sistema sustentável:

#### 3.1.1 eficiência energética

Praticar a eficiência energética significa dar prioridade às melhores práticas e tecnologias, atuais e futuras, assumindo contínua postura inovadora. Entre elas estão melhores processos de edificação, uso de máquinas e motores mais eficientes, substituição de sistemas elétricos de aquecimento de água por coletores solares e redução do consumo de energia dos veículos de transporte de mercadorias e pessoas.

No setor de fornecimento de calor, a contribuição das fontes renováveis pode crescer significativamente. Com o tempo, combustíveis fósseis são substituídos por tecnologias mais eficientes, em particular biomassa, solar e geotérmica. Em 2050, as energias renováveis suprem mais de 80% da demanda de aquecimento e resfriamento.

Já no que diz respeito ao setor de transportes, os ganhos em eficiência precisam ser priorizados antes mesmo de as tecnologias híbridas e os carros elétricos se tornarem comuns. A biomassa – na qual os biocombustíveis estão incluídos – pode abastecer não apenas veículos leves como também veículos pesados, como navios e aviões. Nos veículos particulares, o uso do etanol pode dividir espaço com a eletricidade: os carros elétricos vão desempenhar um importante papel no uso de energia limpa no setor de transporte o futuro, substituindo os combustíveis fósseis.

#### 3.1.2 energia descentralizada

Para obter mais eficiência e reduzir perdas na distribuição, o cenário traçado pelo relatório [R]evolução Energética prevê o uso extensivo de geração de energia descentralizada. Conectada à rede de distribuição, esse tipo de energia, produzida no entorno ou no próprio local de consumo, supre casas e escritórios, em vez de acionar um sistema de transmissão de alta voltagem. A geração descentralizada, que inclui também sistemas isolados totalmente independentes das redes públicas, reduz o desperdício da energia transmitida por longas linhas que vêm das usinas hidrelétricas até os principais locais de consumo.

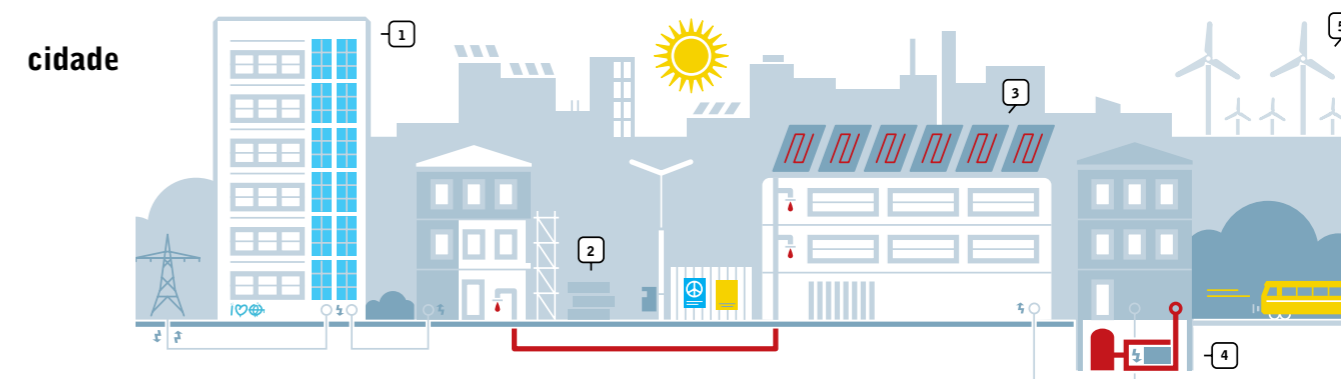
O setor elétrico já é pioneiro na inovação tecnológica para produção de energia renovável. Muitas tecnologias de energia renovável experimentaram um crescimento de 35% nos últimos 30 anos, e espera-se que o setor de novas fontes renováveis se consolide entre o período de 2030 e 2050. Sob o cenário do [R]evolução Energética, a maior parte da eletricidade é produzida por fontes renováveis diversificadas. Campos eólicos *onshore* e *offshore* e sistemas fotovoltaicos residenciais ou mesmo usinas solares têm um importante papel no cenário energético mundial.

O cenário [R]evolução Energética também muda drasticamente a maneira de fazer negócios nas empresas de energia, utilidades, combustível e fabricação de tecnologias de conversão de energia. A descentralização e a diversificação do suprimento, com parques eólicos e usinas solares, que funcionam sem combustível, impactam profundamente a parte operacional dessas empresas de 2020 em diante.

O modelo atual apresenta um número limitado de enormes usinas comandadas e operadas por concessionárias ou pelas suas subsidiárias, gerando eletricidade para a maior parte da população. Sob o cenário [R]evolução Energética, por volta de 30% da eletricidade é criada por pequenas, mas numerosas, usinas descentralizadas. A cadeia de valor para as grandes companhias elétricas muda para o desenvolvimento de projetos, equipamento, manufatura e operação e manutenção.

#### figura 3.1: um futuro energético descentralizado

TECNOLOGIAS EXISTENTES, APLICADAS DE FORMA DESCENTRALIZADA E COMBINADAS A MEDIDAS DE EFICIÊNCIA, PODEM ABASTECER COMUNIDADES DE BAIXO CARBONO COMO ILUSTRADO ABAIXO. TECNOLOGIAS DE COGERAÇÃO PRODUZEM ELETRICIDADE E CALOR OU FRIO, COMPLEMENTANDO A GERAÇÃO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS, QUE APROVEITAM OPORTUNIDADES LOCAIS. A CIDADE ABAIXO FAZ USO DE ENERGIA EÓLICA, BIOMASSA, SOLAR E OUTRAS, COMPLEMENTADA POR GÁS NATURAL QUANDO NECESSÁRIO.



1. FACHADAS SOLARES SERÃO ELEMENTOS DECORATIVOS EM ESCRITÓRIOS E APARTAMENTOS. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SERÃO MAIS COMPETITIVOS E A EVOLUÇÃO DO DESIGN AMPLIARÁ SEU USO.
2. REFORMA E MODERNIZAÇÃO PODE REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA EM PRÉDIOS ANTIGOS EM QUASE 80% - COM MELHOR ISOLAMENTO TÉRMICO, ISOLAMENTO DE JANELAS E SISTEMAS DE VENTILAÇÃO MODERNOS.
3. COLETORES SOLARES PRODUZEM ÁGUA AQUECIDA TANTO PARA A RESIDÊNCIA COMO PARA CASAS E PRÉDIOS VIZINHOS.
4. ESTAÇÕES DE COGERAÇÃO EM DIFERENTES TAMANHOS SUPRIRÃO CASAS E EDIFÍCIOS COM ELETRICIDADE E CALOR.
5. ELETRICIDADE TAMBÉM VIRÁ DE LOCAIS AFASTADOS. PARQUES EÓLICOS E USINAS SOLARES TÊM ENORME POTENCIAL DE SUPRIR A ENERGIA DAS CIDADES.

#### 3.1.3 integração otimizada 24/7

Uma transformação completa do sistema energético é necessária para acomodar o significativo crescimento de fontes renováveis no cenário [R]evolução Energética. O sistema de armazenamento e transmissão atual foi pensado para atender a enormes centros de geração. Até agora, as fontes renováveis precisaram se adaptar a esse sistema, perdendo eficiência. Para que uma revolução energética seja alcançada, isso tem de mudar.

As fontes renováveis são majoritariamente recursos naturais, que não estão disponíveis a qualquer momento. Alguns críticos dizem que isso torna insustentável o uso dessa energia para suprir grandes demandas. Porém, práticas existentes em diferentes países provam que essa afirmação é falsa.

Tecnologias inteligentes podem mapear o consumo de energia e provê-la de maneira flexível conforme a demanda do dia, armazenando o excedente para formar "baterias virtuais". Com as soluções emergentes, será possível ofertar energia renovável de forma permanente e ininterrupta na matriz elétrica. Essa energia renovável constante (24 horas por dia, sete dias por semana) é técnica e economicamente possível. Para tanto, é necessária uma política correta de desenvolvimento e investimentos para estimular o crescimento dessa indústria.

#### mudanças necessárias para a descentralização energética

A maioria dos sistemas de rede no mundo tem enormes usinas como produtoras e fornecedoras de energia, conectadas em linhas de transmissão de alta voltagem em corrente alternada (AC), desembocando em pequenas redes distribuidoras que abastecem o consumidor final. O sistema centralizado de energia foi planejado há mais de 60 anos e trouxe grandes benefícios para as cidades e áreas rurais. Entretanto, perde-se muita energia no processo de transmissão e distribuição.

Um sistema baseado em fontes renováveis demandará grande quantidade de pequenos geradores, e alguns com variadas cargas de energia precisarão de uma nova arquitetura.

Em linhas gerais, uma rede inteligente balanceia as demandas flutuantes de energia, resultando em menores perdas. Novas medidas para lidar com a demanda, prevendo condições climáticas para armazenamento, comunicação avançada e controle de tecnologias, ajudam na distribuição eficiente de energia.

As mudanças no setor elétrico criam ainda um enorme mercado de oportunidades nas áreas de informação, comunicação e tecnologia. Uma rede inteligente de energia requer software, hardware e dados de rede capazes de processar informações rapidamente.

Internacionalmente, há muitas empresas de TI (tecnologia de informação) oferecendo produtos e serviços de monitoramento de energia. Essas tecnologias podem acelerar a transição.



### 3.2 a nova rede elétrica

Em muitos países, as redes elétricas foram desenvolvidas com base em um modelo de geração fóssil combinadas a linhas de transmissão de alta voltagem, que conectam áreas onde se produz a eletricidade até os centros de consumo. Uma distribuição de baixa voltagem distribuída leva a corrente elétrica até o consumidor final de modo mais econômico. Os geradores do futuro serão menores e distribuirão energia ao longo da própria rede, evitando o desperdício.

Porém, ainda haverá fornecimento de energia por grandes usinas renováveis. Além das hidrelétricas e eólicas que já abastecem nosso sistema, o [R]evolução Energética prevê que usinas solares fotovoltaicas e concentradas (heliotérmicas ou CSP, da sigla em inglês) levarão energia do Nordeste a todo o país, contribuindo para a segurança energética de nosso sistema.

O desafio à frente requer uma arquitetura de sistema inovadora, que envolve tanto novas tecnologias como novas maneiras de gerenciar a rede para assegurar o equilíbrio entre flutuações de oferta e demanda energética. Os elementos-chave desse novo sistema de arquitetura são microrredes, redes inteligentes e uma ampla e eficiente super-rede. Os três tipos de sistema serão interconectados, ajudando-se mutuamente [veja figura 3.2].

#### definições e termos técnicos

- **rede elétrica** é o nome coletivo para o conjunto de cabos, transformadores e infraestruturas que transportam eletricidade das usinas para os consumidores finais.
- **geração distribuída:** é a geração de eletricidade realizada perto dos centros consumidores.
- **demanda energética:** a demanda de energia de um país ou região é a energia requisitada por todas as classes de consumo, incluindo as perdas de transmissão e a diferença entre a energia importada e exportada de outros países.
- **microrredes:** são as redes responsáveis por suprir demandas locais. Um exemplo seria a combinação de painéis solares, microturbinas, células de combustível, energia eficiente e informação/comunicação para gerenciar as cargas em locais isolados como uma ilha ou uma pequena cidade rural.
- **redes inteligentes:** uma rede inteligente de distribuição integra energia renovável descentralizada, cogeração e distribuição altamente eficientes, equilibrando a demanda por região. Maneiras avançadas de controle e gestão tecnológica podem contribuir para a maior eficiência da rede de uma maneira geral.
- **super-redes:** trata-se da interconexão entre países e áreas de grande fornecimento e demanda. Um exemplo seria a interconexão das usinas renováveis do mar do Norte ou a integração da produção de energia solar do sul da Europa e do norte da África, onde a energia renovável pode ser exportada para grandes centros urbanos.
- **energia de base:** segundo tal conceito, deve existir um abastecimento de energia mínimo e ininterrupto nas redes, tradicionalmente feito por hidrelétricas, carvão e energia nuclear. O [R]evolução Energética desafia essa ideia ao se basear em uma variedade de fontes renováveis “flexíveis” para atender à demanda.
- **energia variável** é a eletricidade produzida por eólicas ou sistemas fotovoltaicos, dependendo das condições climáticas.
- **energia despachável:** é o tipo de energia que pode ser armazenada ou despachada a áreas de alta demanda quando necessário.
- **curva de carga** é um padrão típico de consumo de eletricidade ao longo do dia, que apresenta picos e vales que podem ser previstos por medições e séries históricas.

#### 3.2.1 sistemas híbridos

Enquanto as redes elétricas no mundo desenvolvido abastecem quase 100% da população, muitas áreas rurais dessas mesmas zonas desenvolvidas dependem de sistemas pouco confiáveis ou eletricidade poluentes, como a fornecida por geradores a diesel, muito custosos para essas comunidades. A abordagem tradicional da extensão de rede é frequentemente pouco econômica, em razão da distância das linhas de transmissão até as áreas mais isoladas.

A combinação dos diferentes tipos de energia renovável é a maneira mais barata e menos poluente de fornecer eletricidade. Sistemas híbridos aproveitam a energia proveniente do Sol e dos ventos e a armazenam em baterias, para consumo posterior. O backup desses sistemas pode incluir combustíveis fósseis, como no caso de sistemas híbridos de geração eólica-bateria-diesel ou solar fotovoltaica-bateria-diesel.

Os sistemas híbridos descentralizados são confiáveis, e os consumidores podem se inserir no processo de produção de energia com tecnologias inovadoras, otimizando fontes locais. Eles também são menos dependentes de infraestrutura de grande escala e podem ser instalados e conectados rapidamente, especialmente em áreas rurais.

Entretanto, o financiamento pode ser um problema para as áreas rurais mais pobres que desejam instalar sistemas híbridos renováveis. É possível desenvolver modelos de financiamento baseados em tarifas especiais, que remunerariam esses consumidores pela geração de energia, facilitando a amortização desses sistemas. Os recursos para viabilizar tais mecanismos poderiam ser obtidos com parcerias suficientemente grandes de apoio internacional. Na região do Pacífico, por exemplo, empreendimentos de geração de energia de diversas ilhas ou mesmo de todo o arquipélago das Maldivas podem ser conectados em um único sistema, de forma a facilitar seu financiamento. Para que esse processo funcione, é indispensável que as próprias comunidades estejam diretamente envolvidas.

#### 3.2.2 redes inteligentes

A tarefa de integrar energia renovável em sistemas já existentes é similar em todos os sistemas energéticos do mundo, tanto em redes centralizadas quanto em sistemas isolados. O principal objetivo dessa integração é equilibrar consumo e geração de energia.

Um planejamento completo assegura que a produção disponível sempre corresponda à demanda. Além de estabilizar fornecimento e demanda, o sistema de energia deve ser capaz de:

- Atender a qualidade estipulada de energia – voltagem/frequência –, o que pode demandar equipamento técnico adicional;
- Sobreviver a situações extremas, como, por exemplo, interrupção repentina do fornecimento em uma falha na unidade de geração ou uma pane no sistema de transmissão.

Integrar energia renovável usando uma rede inteligente significa distanciar-se do conceito de energia de base por meio de uma combinação de diferentes usinas renováveis. Por se tratar de fontes flexíveis, é possível seguir a demanda tanto do dia como da noite (por exemplo, a complementação de energia solar com gás, energia geotérmica, eólica e gerenciamento pelo lado da demanda) sem blecautes.

#### O QUE É UMA REDE INTELIGENTE?

Até agora, o desenvolvimento de tecnologia de energias renováveis foca a adaptação do desempenho de geração dessas energias para as linhas de transmissão já existentes. Trata-se de um grande esforço na parte técnica, como a questão da voltagem e frequência. Entretanto, chegou a hora de o sistema elétrico se adaptar às novas formas de energia. Isso significa que ele deve se tornar flexível o suficiente para lidar com as flutuações das fontes renováveis.

O sistema elétrico será muito mais complexo no futuro e comportará dezenas de milhares de unidades de geração, como painéis solares, turbinas eólicas e outras fontes sustentáveis. Com o mapeamento de fluxos de energia, o sistema também deverá ser capaz de lidar com mudanças fortes e constantes nos fluxos energéticos.

Há diversas opções disponíveis para possibilitar a integração em larga escala de fontes renováveis de energia no sistema de fornecimento. São elas:

- **gerenciamento de níveis e horários de demanda de eletricidade:** mudanças de tarifação podem dar aos consumidores incentivos financeiros para reduzir ou até cortar o consumo nos horários de pico, como já acontece em algumas grandes indústrias. Uma distribuidora norueguesa chega até a enviar mensagens de texto a seus clientes com um sinal para reduzir seu consumo ou mesmo desligar seu fornecimento temporariamente. Eles podem decidir se querem participar ou não;

• **avanços em TI:** na Itália, 30 milhões de “medidores inteligentes” foram instalados para permitir a leitura à distância e controlar o consumo e informações de serviços. Diversos produtos elétricos podem ser mapeados e controlados automaticamente, permitindo o desligamento da rede quando necessário, como também remanejar a demanda de energia de um ponto para outro da rede;

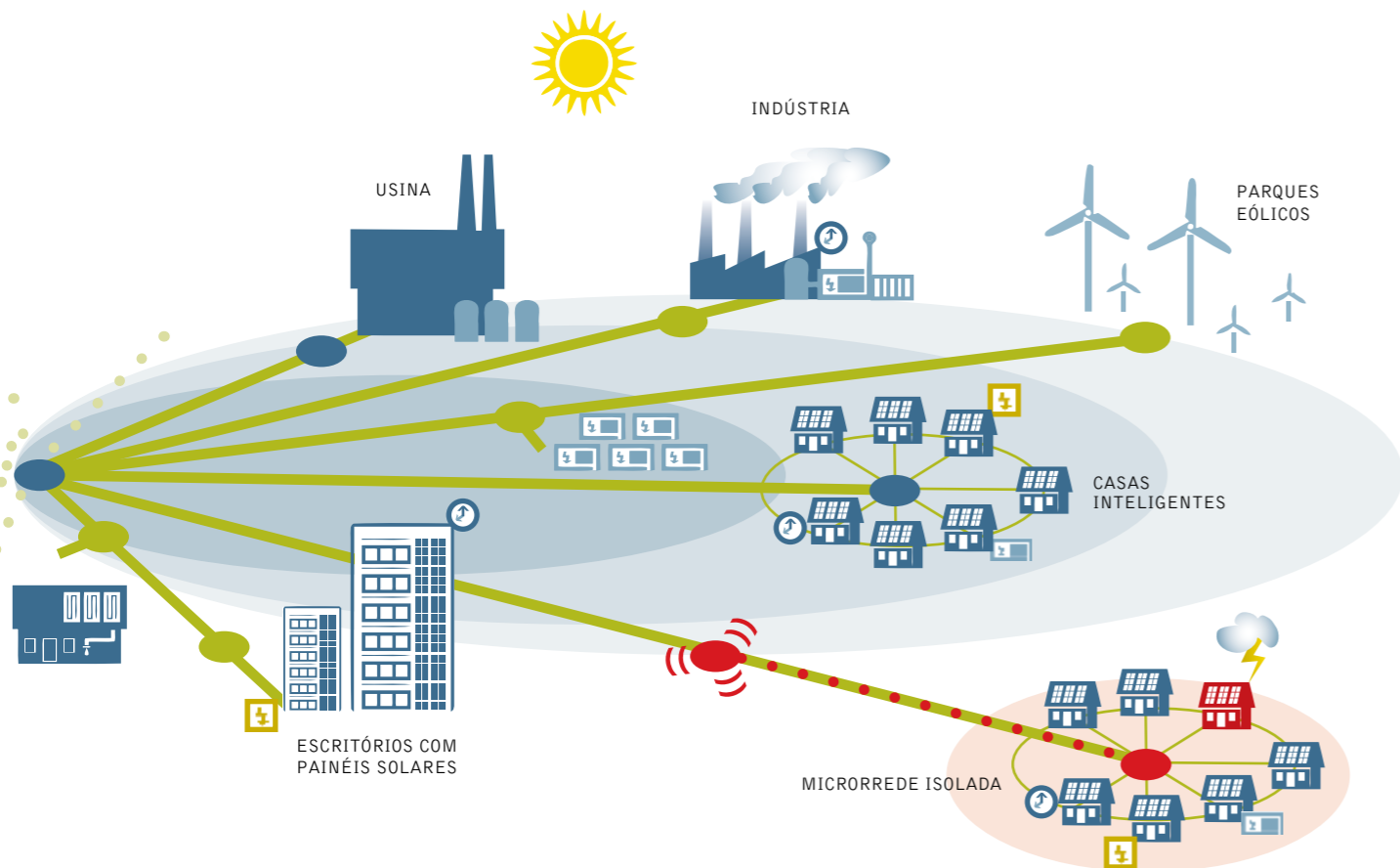
• **criação de VPPs (virtual power plants):** as usinas virtuais interconectam uma zona de usinas físicas (como solar, eólica ou hídrica) assim como armazena as opções energéticas no sistema elétrico valendo-se de tecnologias da informação. Um exemplo

concreto de uma usina virtual é a Usina de Energia Renovável Combinada, desenvolvida por três companhias alemãs. Esse sistema interconecta e controla 11 campos eólicos, 20 campos solares, quatro usinas de cogeração a biomassa e uma usina hidrelétrica reversível, todos geograficamente espalhados pela Alemanha.

A usina virtual monitora quando as turbinas eólicas e os módulos solares produzem energia. Biogás e reservatórios bombeados ajudam tanto na distribuição de energia como em seu armazenamento. Essa combinação assegura energia suficiente para atender à demanda.

figura 3.2: rede inteligente para a [r]evolução energética

UMA VISÃO PARA O FUTURO - A INTERGAÇÃO DE MICRORREDES CAPAZES DE SE MONITORAREM E COMPLEMENTAREM



● **PROCESSADORES:** EXECUTAM ESQUEMAS DE PROTEÇÃO ESPECIAL EM MICROSSEGUNDOS

● **SENSORES (ATIVADOS):** DETECTAM FLUTUAÇÕES E DISTÚRBIOS E PODEM SINALIZAR QUE ÁREAS SEJAM ISOLADAS

● **GERENCIAMENTO DA DEMANDA:** USO DA ENERGIA PODE SER DESLOCADO A PERÍODOS FORA DA PONTA PARA ECONOMIZAR DINHEIRO

● **ARMAZENAMENTO:** ENERGIA GERADA FORA DA PONTA PODE SER ESTOCADA EM BATERIAS PARA USO POSTERIOR

● **SENSORES (EM STANDBY):** DETECTAM FLUTUAÇÕES E DISTÚRBIOS E PODEM SINALIZAR QUE ÁREAS SEJAM ISOLADAS

● **EQUIPAMENTOS INTELIGENTES:** PODEM SE DESLIGAR EM RESPOSTA A FLUTUAÇÕES DE FREQUÊNCIA

● **GERADORES:** ENERGIA DE PEQUENOS GERADORES E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PODE REDUZIR A DEMANDA NA REDE

● **DISTÚRBIOS NA REDE**

### OPÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE ELETRICIDADE

• **hidrelétrica reversível:** é a maneira mais avançada de armazenar energia em uma estação hidrelétrica. A água é bombeada verticalmente em períodos de baixa demanda. Nos momentos de alta demanda, a água é liberada para as turbinas. De 70% a 85% da energia elétrica utilizada para bombeá-la pode ser reutilizada quando a água é liberada;

• **do carro à rede (vehicle-to-grid):** outra maneira de “armazenar” eletricidade é usando-a diretamente em carros elétricos. O número de veículos elétricos crescerá sensivelmente, segundo o cenário [R]evolução Energética. Serão carros equipados com baterias que podem ser carregadas diretamente na rede elétrica. Em outros períodos do dia, esses veículos podem devolver parte da energia armazenada às residências, de acordo com sua demanda.

### 3.2.3 a super-rede

Estudos do Greenpeace mostraram que situações extremas, de baixa radiação solar ou pouco vento, em diversas partes da Europa não são frequentes, mas podem ocorrer. O sistema de energia, mesmo com enormes quantidades de fontes renováveis, deve ser capaz de lidar com essa situação. Uma solução possível é instalar super-redes *onshore* e *offshore*.

O cenário [R]evolução Energética estima que aproximadamente 30% de toda a geração pode ser distribuída e localizada perto dos centros de consumo. Os outros 70% consistem, em sua maioria, em empreendimentos de geração renovável de grande porte, assim como parques eólicos *offshore* ou usinas solares concentradas. Uma super-rede no norte da Europa, por exemplo, seria capaz de integrar toda a região do mar do Norte: Reino Unido, França, Alemanha, Bélgica, Holanda, Dinamarca e Noruega. A baixa produção energética em uma área seria recompensada por uma maior produtividade em outra região distante. Em um ano, um parque eólico *offshore* de capacidade de 68 GW no mar do Norte seria capaz de gerar uma eletricidade estimada em 247 TWh.

### 3.3 a energia de base será a melhor opção para o desenvolvimento?

Normalmente, usinas de carvão e nucleares entram na categoria de geração de base, ou seja, produzem energia trabalhando em capacidade máxima mesmo se não houver demanda. Quando a demanda é baixa, a eletricidade produzida é desperdiçada.

Entretanto, em dias de muito vento e baixa demanda, as turbinas eólicas acabam sendo desligadas para prevenir sobrecarga no sistema, já que térmicas a carvão, nucleares e até mesmo hidrelétrica, em algumas situações, não podem ser desligadas.

No atual processo de decisões políticas, discute-se que tipo de infraestrutura devemos escolher e qual a combinação de fontes é mais favorável no caminho sustentável e limpo. Alguns fatores são imprescindíveis para a tomada de decisão:

- A variação da demanda de eletricidade varia de forma previsível;
- O gerenciamento inteligente de energia pode funcionar com grandes consumidores, que deslocariam suas demandas para horários diferentes do dia;
- A eletricidade proveniente de fontes renováveis pode ser armazenada e despachada para onde for necessário de inúmeras maneiras, utilizando tecnologia de rede avançadas.

Países ricos em ventos têm vivenciado conflitos entre fontes renováveis e convencionais. Na Espanha, onde diversas fontes estão conectadas à rede, a energia a gás complementa déficits entre demanda e fornecimento. Isso porque as termelétricas a gás podem ser desligadas ou operar em baixa capacidade quando há baixa demanda ou alta produção eólica. O caminho para manter a matriz elétrica renovável inclui a utilização da eletricidade proveniente do gás natural de forma emergencial, quando houver baixa geração a partir de fontes renováveis intermitentes.

A crise econômica levou a uma queda na demanda de energia, revelando um conflito entre energia inflexível de base, especialmente a nuclear, e fontes renováveis, com destaque para a eólica. No norte da Espanha e na Alemanha, esse conflito já expõe os limites da rede. Se a Europa continuar incentivando a energia nuclear e as usinas de carvão em detrimento da ascensão de fontes renováveis, conflitos serão cada vez mais comuns, expondo uma rede sobrecarregada e ineficiente.

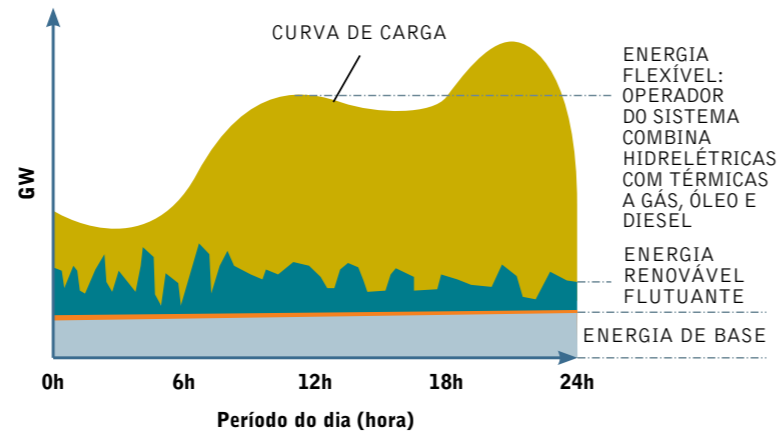
Apesar das desvantagens acumuladas, as fontes renováveis começam a desafiar a lucratividade de usinas antigas. Passados os custos de construção, uma turbina eólica gera eletricidade quase gratuitamente e sem utilizar combustível. Enquanto isso, usinas de carvão e nuclear demandam combustíveis caros e poluentes. Mesmo quando usinas nucleares estão operando e as turbinas eólicas são desligadas, os fornecedores de energia convencional ficam preocupados. Como acontece com qualquer *commodity*, o fornecimento excessivo reduz seu preço no mercado. No mercado energético, isso afeta também as usinas nucleares e de carvão. Podem-se esperar conflitos ainda mais intensos sobre o acesso à rede nos próximos anos.



figuras 3.3: a evolução das redes

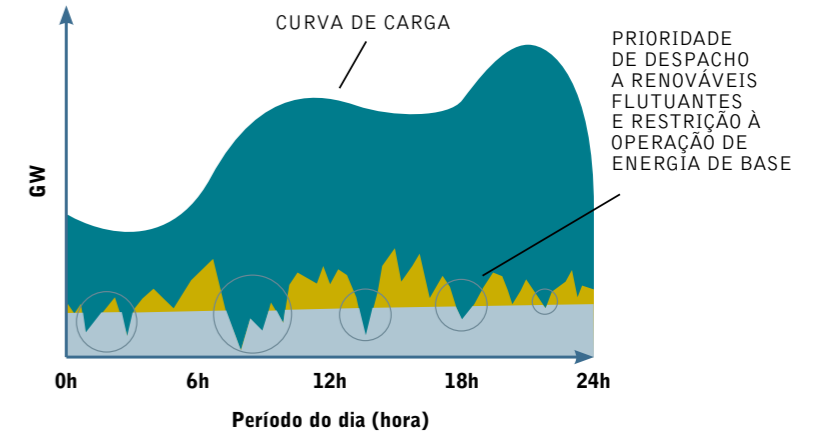
Sistema atual

- Baixa participação de energia renovável flutuante (intermitente);
- Energia de base é a primeira a ser despachada.
- Eólica e solar formam uma camada flutuante, pois níveis de vento e irradiação variam ao longo do dia;
- Hidrelétricas e térmicas a gás podem ser acionadas em resposta à demanda;
- Nessa configuração, há espaço para 25% de energia renovável variável.



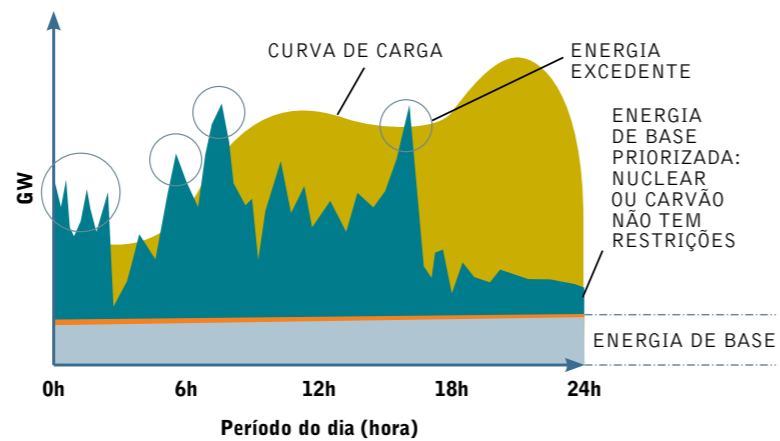
Sistema com mais de 25% de energia renovável flutuante e despacho priorizado

- Esta abordagem aumenta as renováveis e garante seu despacho;
- Como consequência, a energia de base é reduzida;
- Teoricamente, energias de base como carvão e nuclear, teriam de operar em capacidade reduzida ou serem totalmente desativadas em momentos de grande produção de renováveis (abundância de sol ou vento);
- Há limitações técnicas e de segurança à velocidade, escala e frequência de oscilações na produção de energia nuclear e a carvão.



Sistema com mais de 25% de energia renovável flutuante combinada a energia de base

- Esta abordagem aumenta a energia renovável mas ainda prioriza a energia de base;
- A oferta de energias renováveis crescerá, superando a demanda em alguns momentos do dia e gerando sobras de energia;
- Parte do superávit pode ser estocado, transportado de uma área a outra, gerenciando a demanda durante o dia ou desativando estas usinas durante os picos.



A solução: um sistema otimizado com mais de 90% de oferta de fontes renováveis

- Uma rede totalmente otimizada, no qual as renováveis são armazenadas ou transmitidas a outras regiões; gerenciamento da demanda é feito apenas quando necessário;
- O gerenciamento da demanda desloca o pico mais alto e suaviza a curva de carga durante o dia.

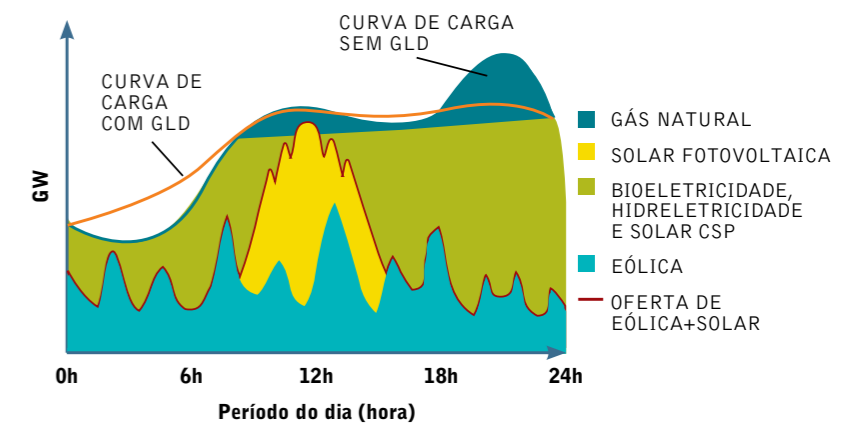




imagem LINHAS DE TRANSMISSÃO NO PARQUE EÓLICO GUOHUA, NA CHINA.

Usar a energia de forma eficiente é mais barato do que gerar mais energia e traz benefícios econômicos e ambientais. Um planejamento adequado de crescimento da matriz energética necessita levar em conta medidas de eficiência e redução de desperdícios.

Para descobrir o potencial brasileiro, o Greenpeace utiliza projeções de consultores vinculados à Universidade de São Paulo e à Coppe/UFRJ. Essas informações foram complementadas por relatórios do instituto holandês Ecofys e da Universidade de Utrecht.

Os cenários foram projetados para o período entre 2010 e 2050. Em contraste com o cenário de referência<sup>12</sup>, o Greenpeace projetou um cenário no qual haverá baixa demanda de energia e melhoria da eficiência energética. Nesta edição, o setor de transportes foi separado da demanda de energia estacionária (indústrias e residências). O cenário de eficiência foi baseado nos melhores potenciais técnicos de eficiência energética e considera restrições de implementação devido aos custos, além de outras possíveis barreiras.

## 4.1 metodologia para projeções de demanda energética

As projeções de demanda energética foram obtidas com base na (i) definição da demanda energética do cenário de referência e a partir do (ii) desenvolvimento de cenários de baixa demanda energética, incluindo potenciais melhorias de eficiência:

### I. DEFINIÇÃO DA DEMANDA DO CENÁRIO DE REFERÊNCIA

Um cenário de referência detalhado, que projete a demanda de energia seguindo as tendências atuais, é necessário para estimar os potenciais de melhorias de eficiência energética até 2050. Mudanças tecnológicas, incluindo melhorias em eficiência, são lentas mas necessárias e desencadeadas principalmente pelo aumento nos preços da energia.

O cenário de referência abrange o desenvolvimento da demanda de energia no período entre 2010 e 2050 em três setores: transporte, indústria e outros (que inclui os setores residencial, comercial, público e rural).

Dentro da indústria de energia e de outros setores, distingue-se a demanda de eletricidade e a demanda de combustível e calor. A demanda de calor consiste principalmente no uso de calor para indústrias, aquecimento e sistemas de cogeração.

A demanda de calor e combustível é considerada "demanda de combustível" nas figuras que se seguem, e tal cenário se concentra exclusivamente na energia relacionada ao uso de combustível, eletricidade e calor. Isso significa que o consumo de matéria-prima na indústria não é considerado nessa análise. O dado do consumo total final do BEN (Balanço

Energético Nacional, 2012) inclui o uso não energético. Esse uso tem pequeno crescimento projetado no período, ou seja, o crescimento da demanda é projetado essencialmente sobre o aumento do consumo de combustíveis.

A eficiência no setor de transportes foi calculada pela Coppe/UFRJ e pelo Instituto DLR de Conceitos de Veículos.

Espera-se que a demanda nacional de energia cresça mais de 100% dentro do período analisado para o cenário de referência. O valor iria de 8.882 PJ em 2010 para 18.172 PJ em 2050. O setor de transporte é o maior responsável pelo aumento, e a expectativa é de um crescimento de 2.930 PJ para 6.528 PJ no setor até 2050. A indústria não ficará atrás, levando o consumo do setor a 6.416 PJ. Os demais setores seguem a mesma tendência, com uma demanda de energia crescendo de 1.854 PJ em 2010 para 4.095 PJ em 2050.

### II. DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS DE BAIXA DEMANDA ENERGÉTICA

Os cenários de baixa demanda de energia estão baseados em estudos e cálculos que consideram os seguintes critérios:

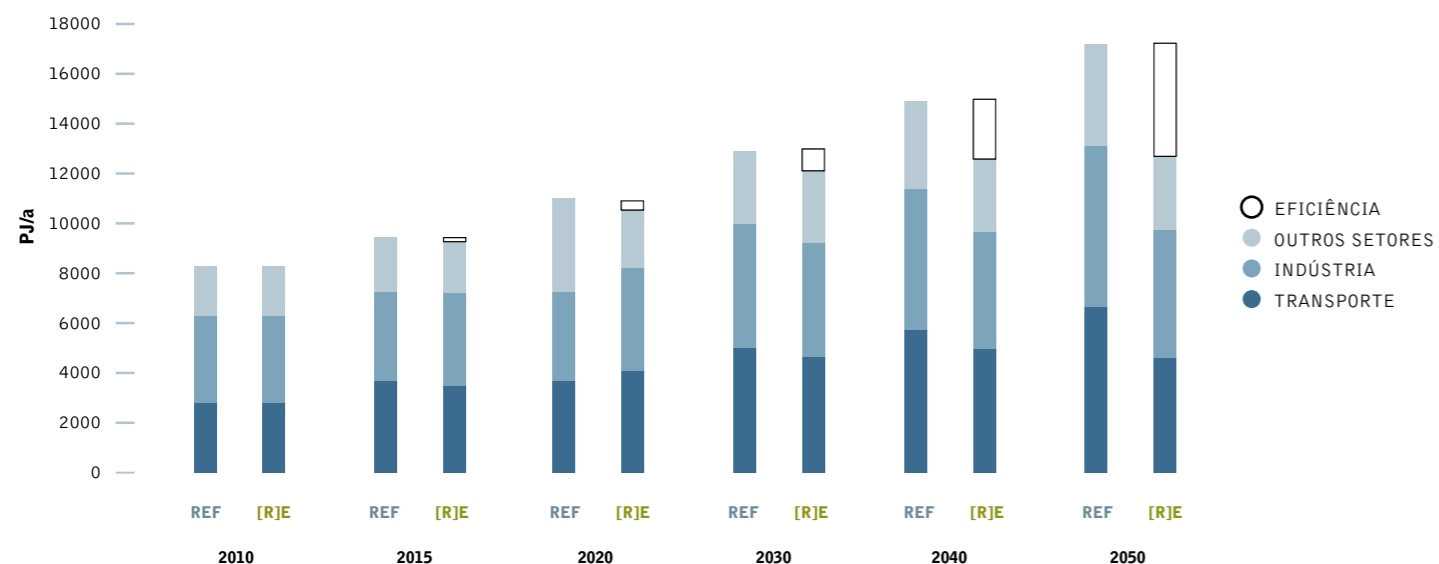
- a implementação de melhores tecnologias e uma maior penetração de tecnologias emergentes;
- nenhuma mudança de comportamento ou do nível de conforto de vida;
- nenhuma mudança estrutural na economia, a não ser aquelas previstas no cenário de referência;
- substituição de equipamentos e instalações ao final de suas vidas econômicas, ou seja, nenhuma troca anterior a esse momento.

A seleção dessas medidas é baseada no atual uso de energia no mundo por setores e subsetores.

referência  
12 IEA, WORLD ENERGY OUTLOOK, 2012.



figura 4.1: demanda final de energia por setores nos cenários de referência e revolução energética



## 4.2 eficiência na indústria

### 4.2.1 demanda de energia no cenário de referência: indústria

O cenário de referência aborda o uso de derivados de petróleo, biomassa, carvão e gás natural no setor industrial. Para a montagem desses dados, foram utilizadas as informações fornecidas pelo BEN dos anos de 2010 e 2011. Para analisar a tendência de comportamento do consumo industrial, foram observadas séries históricas compreendidas entre 1989 e 2011. Na sequência, foram obtidos dados de variação do PIB para o mesmo período, com base nas séries históricas do IBGE e do Itaú/BBA.

Para o cenário de referência, consideraram-se valores de eficiência energética no setor industrial em linha com os números propostos no PDE 2012-2021. Os valores de redução de demanda de energia por conta de eficiência variaram entre 10% para esta década e 15% no período 2041-2050.

### 4.2.2 cenário de baixa demanda de energia: indústria

O potencial técnico é estimado após a identificação de melhorias mais significativas em eficiência energética - incluindo equipamentos mais eficientes, projetos, processos industriais e uso de cogeração. No cenário de referência, algumas dessas melhorias já foram implementadas (melhorias de eficiência autônomas e que podem ser promovidas por mudanças políticas). No cenário [R]evolução Energética, os índices de eficiência variam entre 15%, para esta década, e 30%, no período de 2041-2050.

### 4.2.3 resultados para a indústria: a eficiência no cenário [r]evolução energética

A figura 4.2 apresenta o uso final de energia para o setor industrial. A demanda de energia para combustíveis e calor pode ser reduzida em 27% em comparação com os níveis de referência em 2050 [figura 4.3]. Já a demanda de eletricidade [figura 4.4] é reduzida em 10% em relação ao cenário de referência, que já inclui reduções por conta de medidas de eficiência. Em comparação com 2010, o uso de combustíveis na indústria aumenta de 2.657 PJ para 3.481 PJ e a utilização eletricidade apresenta um crescimento maior, de 732 PJ para 1.503 PJ.

## 4.3 setores residencial, comercial e rural

### 4.3.1 demanda de energia no cenário de referência: residências, comércio e área rural

A energia usada pelos setores residencial, comercial, público e rural – contabilizada como “outros setores” – representou 21% do consumo em 2010. No Brasil e na maioria das regiões do mundo, a porcentagem de demanda de energia residencial é maior do que a de demanda de energia comercial e de serviços públicos (exceto em países da OECD, na Ásia e na Oceania). O setor de agricultura não é estudado detalhadamente, uma vez que o uso de energia neste setor é relativamente baixo –utilizam pouco mais de 4% da energia. Sendo assim, assumimos neste estudo que os potenciais de economia de energia são os mesmos dos setores residenciais e comerciais combinados.

No cenário de referência, estima-se que a demanda de energia nos edifícios e na agricultura crescerá consideravelmente, de 1.854 para 4.095 PJ. No cenário [R]evolução Energética, o valor deve ser reduzido em 27%, alcançando 3.000 PJ em 2050.

figura 4.2: demanda final de energia no setor industrial

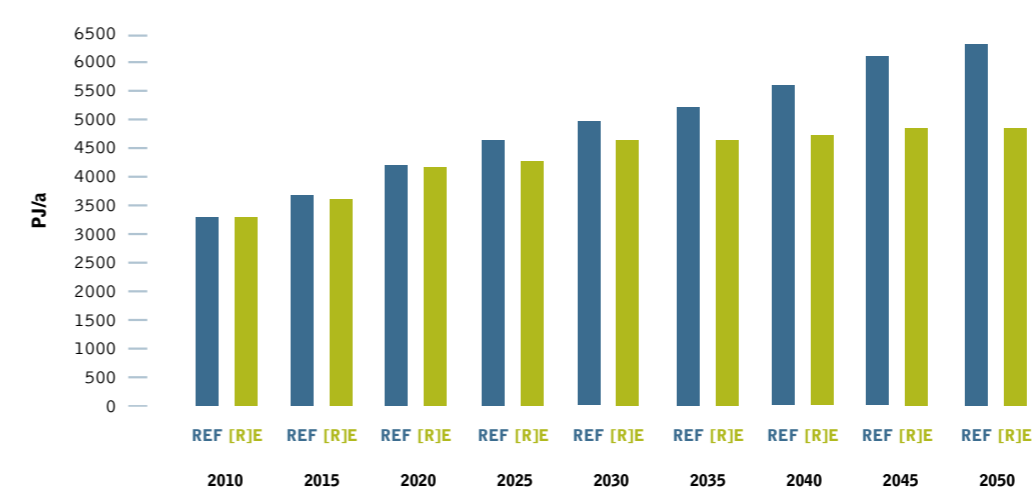


figura 4.3: demanda de combustível e calor no setor industrial

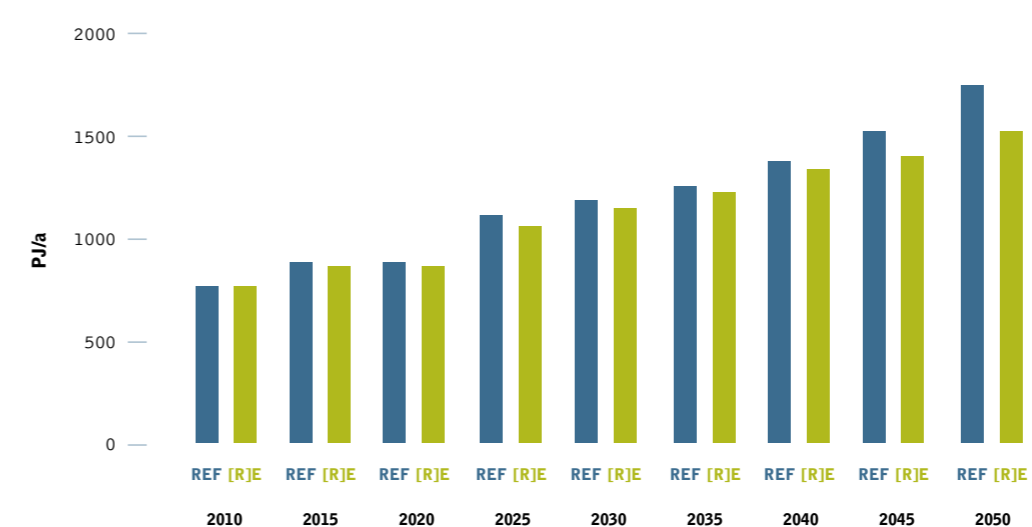
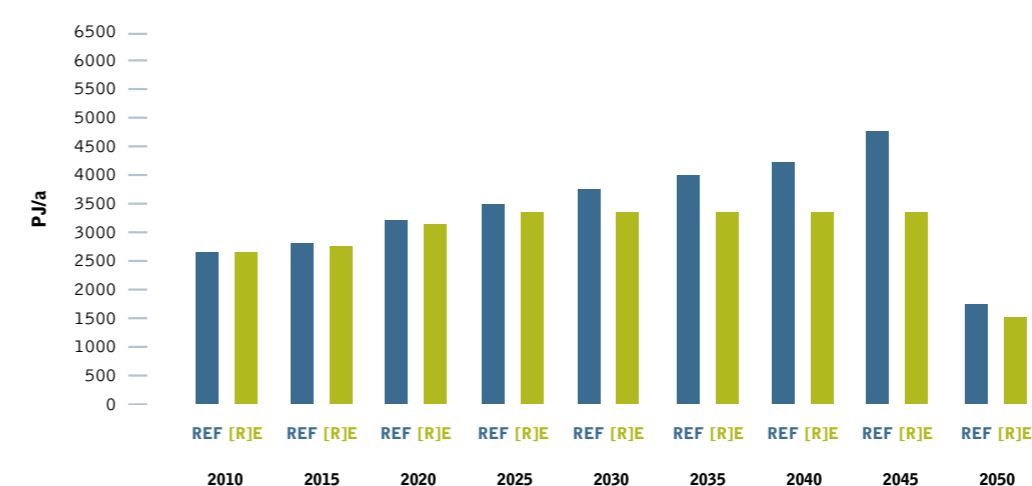


figura 4.4: demanda de eletricidade no setor industrial



As demandas de uso de combustível e de eletricidade em 2010 e 2050 podem ser vistas na tabela 4.5. Até 2050, estima-se que haja uma diminuição acentuada desse consumo. Espera-se que o uso de eletricidade seja reduzido em 24% em relação ao projetado no cenário de referência e que o uso de combustíveis seja reduzido em 31% em relação ao cenário de referência em 2050.

figura 4.5: demanda de combustíveis e calor nos setores residencial, comercial e rural (PJ)

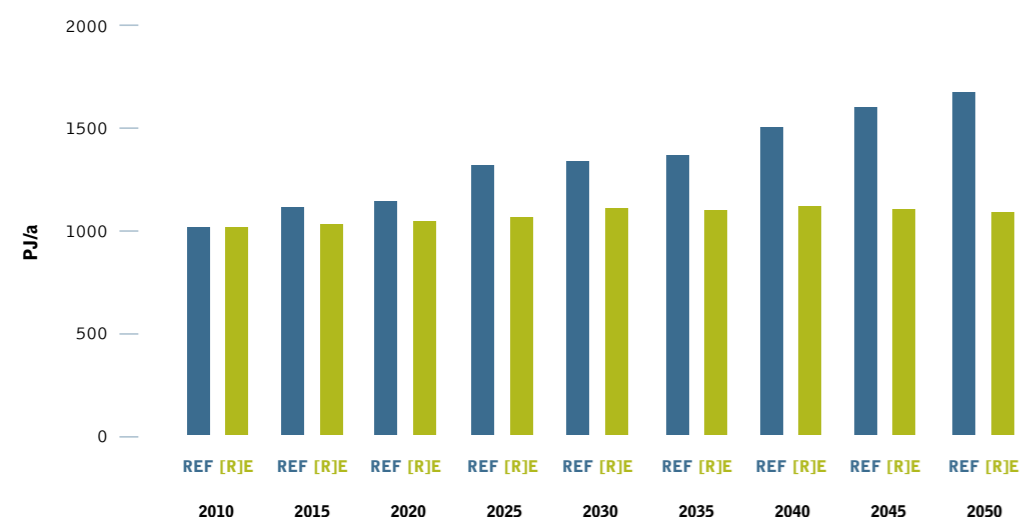


figura 4.6: demanda de eletricidade: setores residencial, comercial e rural (em PJ)

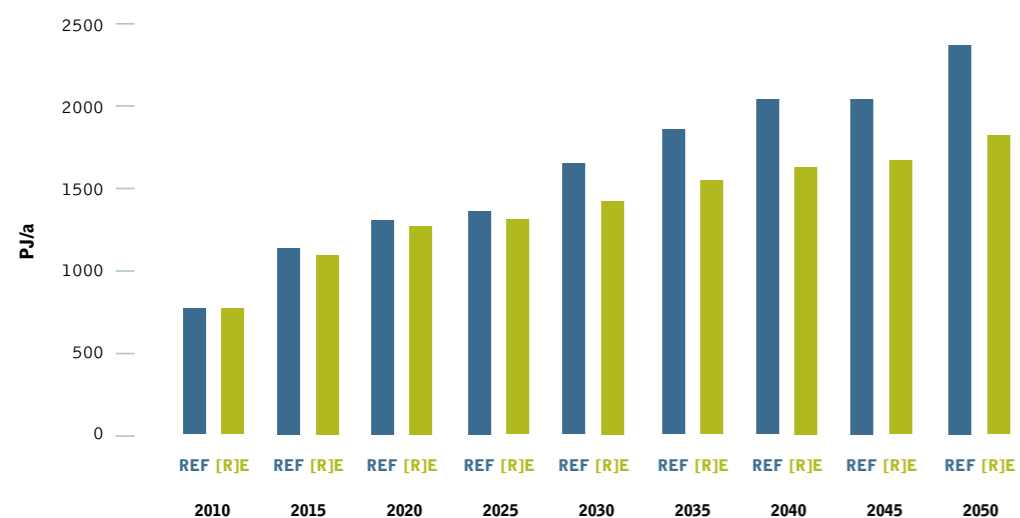


tabela 4.1: consumo energético final dos setores residencial, comercial, público e rural (PJ)

	2030			2050		
	Combustíveis e calor	Eletricidade	Total	Combustíveis e calor	Eletricidade	Total
REF	1357	1611	2968	1653	2442	4095
[R]E	1131	1455	2586	1135	1865	3000

### 4.3.2 uso de combustível e de calor

A utilização de calor e de combustíveis representa a maior parte do uso final de energia nesse setor, com 55% do total.

O setor residencial tem a maior utilização final de combustíveis e de calor, empregados majoritariamente na cocção, no condicionamento ambiental e no aquecimento de água. Seguem as principais medidas possíveis para economia de energia nesses usos finais.

**Aquecimento de ambientes** Melhorias em eficiência energética para aquecimento de ambientes são indicadas de acordo com a energia demandada por metro quadrado por grau de aquecimento diário. Um exemplo de uma família com baixo consumo de energia pode ser visto na figura 4.6.

Tecnologias para reduzir a demanda de energia de novas moradias<sup>13</sup>:

- Janelas com vidros triplos e com revestimentos de baixa emissividade: essas janelas reduzem a perda do calor em até 40% quando comparadas com janelas de apenas uma camada. O revestimento de baixa emissividade previne que as ondas de energia provenientes do Sol entrem e que, assim, haja necessidade de refrigeração;

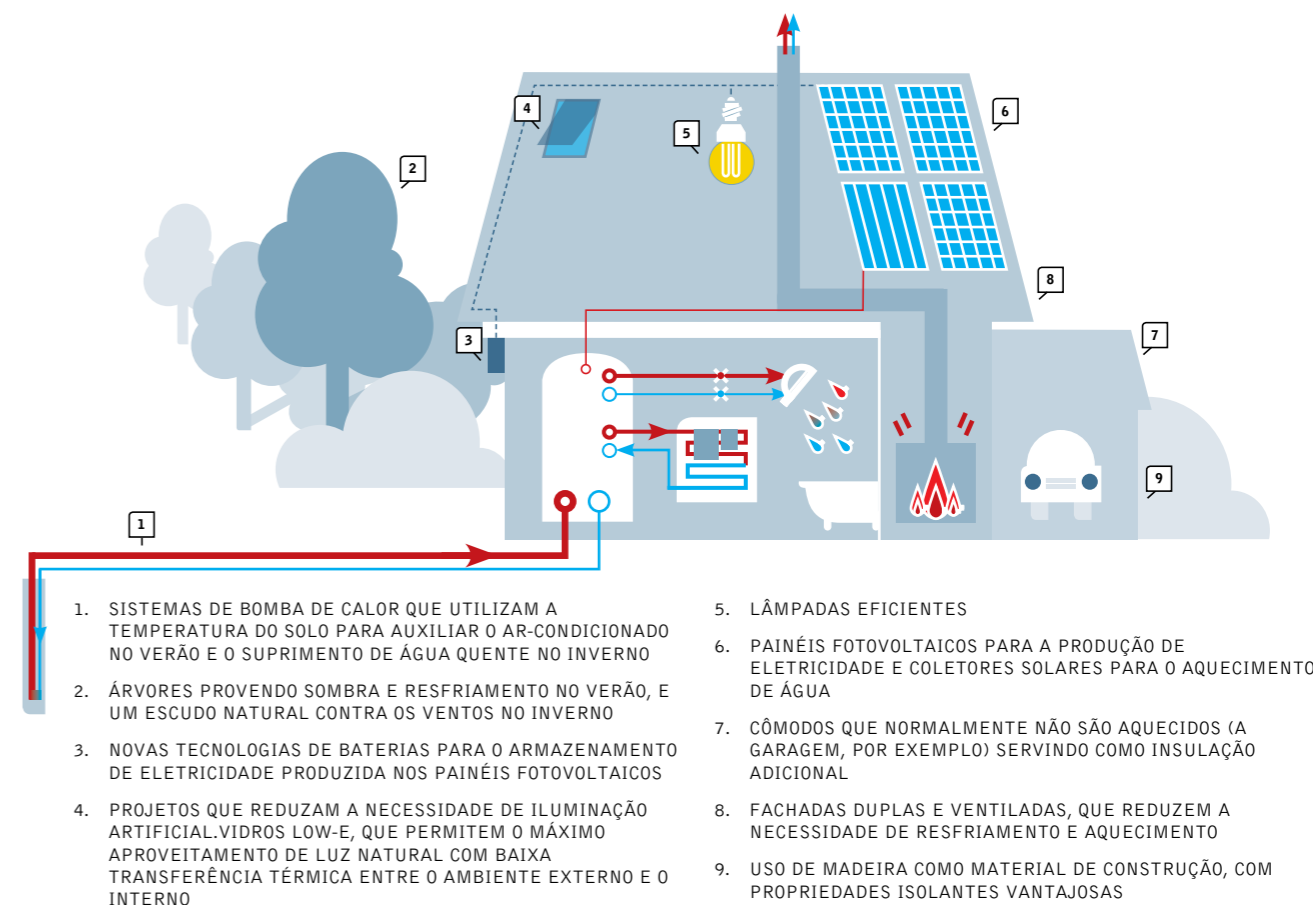
- Isolamento de telhados, paredes, pisos e porões: o isolamento adequado reduz a demanda de aquecimento e de resfriamento em até 50% quando comparada com a demanda média de energia;

- Energia solar passiva: um bom design e um bom projeto de construção podem fazer uso de projetos de energia solar, com a correta orientação do local da construção e da localização das janelas. O termo "passivo" indica que nenhum equipamento mecânico é necessário: os ganhos solares provêm da localização das janelas ou do sombreamento que amenizam o calor durante o verão;

- Ventilação equilibrada com recuperação de calor: o ar aquecido passa para o interior de uma unidade de conservação de calor, que é utilizada para aquecer o ar exterior que entra no ambiente.

O *retrofitting* em edifícios existentes pode ajudar a reduzir o uso de energia. Algumas opções são a troca para janelas mais eficientes e isolantes, o que pode economizar 39% e 35% em aquecimento ou refrigeração de ambientes, respectivamente, de acordo com a IEA<sup>14</sup>.

figura 4.7: novos elementos para redução de uso de energia em edifícios



referência  
13 WBCSD, 2005, IEA 2006, JOOSEN ET AL., 2002.  
14 IEA, LIGHT'S LABOR'S LOST, PARIS, FRANÇA, 2006.



**Aquecimento de água** A principal medida de redução de uso de energia nessa área é a substituição da eletricidade para o aquecimento de água em chuveiros e torneiras pela energia solar. O potencial brasileiro para essa redução é enorme, considerando uma média nacional superior a um chuveiro elétrico por residência e o fato de que 73,5% das residências aquecem sua água com eletricidade (Procel, 2007)<sup>15</sup>.

Outras opções de economia de energia para o aquecimento de água incluem isolamento de tubos e de caldeiras de alta eficiência. Outra opção é a recuperação de unidades que capturam o calor residual da água que vai para o ralo e usam-no para preaquecer a água fria antes de entrar no aquecedor de água doméstico. Um sistema de recuperação de calor pode reaver até 70% desse calor e reciclá-lo de volta para uso imediato.

Além disso, há chuveiros que economizam água, e inibidores de fluxo podem ser implementados. A taxa de economia típica (em termos de energia) para chuveiros é 12,5% e para inibidores de fluxo é 25%<sup>16</sup>.

#### 4.3.3 uso da eletricidade

No que se refere à energia elétrica, o consumo é mais uniformemente distribuído nos subsetores comércio e de serviços públicos e residencial. De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (EPE, 2011), 43,7% da eletricidade é utilizada nas indústrias, e o restante se distribui entre os setores residencial (23,9%), comercial (15,1%), público (8,6%) e rural (3,9%).

A divisão da utilização de eletricidade por tipo de aparelho varia de acordo com a região brasileira. Segundo o Procel, a repartição média da utilização de eletricidade por uso final concentra-se em geladeiras e freezers (27%), aquecimento de água (24%), ar-condicionado (20%) e iluminação (14%). Desses, o uso do ar-condicionado é o que mais varia de acordo com a região do país, representando 40% do consumo residencial da região Norte, mas apenas 11% do total na região Sudeste<sup>17</sup>.

As principais opções de economia de eletricidade por usos finais são discutidas a seguir:

#### referência

<sup>15</sup> PROCEL, AVALIAÇÃO DO MERCADO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL – PESQUISA DE POSSE DE EQUIPAMENTOS E HÁBITOS DE USO” (, 2007).

<sup>16</sup> BETTGENHÄUSER ET AL., 2009.

<sup>17</sup> ELETROBRAS, PROCEL, PESQUISA DE EQUIPAMENTOS E HÁBITOS DE USO – ANO-BASE 2005 – CLASSE RESIDENCIAL – RELATÓRIO BRASIL., RIO DE JANEIRO, 2007.

<sup>18</sup> IEA, 2009B.

**Aquecimento de ambientes e de água** Mudar a estrutura do edifício pode reduzir a necessidade de aquecimento. Outra abordagem possível é melhorar a eficiência de conversão para o abastecimento de calor. Isso pode ser feito, por exemplo, com bombas de calor para resfriar e aquecer ambientes e água.

**Iluminação** Lâmpadas incandescentes têm sido as mais comuns durante mais de cem anos, mas também são as mais ineficientes, uma vez que até 95% da energia elétrica se perde na forma de calor. As lâmpadas incandescentes têm vida útil relativamente curta – aproximadamente cerca de mil horas – mas possuem baixo custo inicial e sua cor clara atrai os consumidores.

As lâmpadas fluorescentes compactas são mais caras do que as incandescentes, mas usam cerca de um quarto da energia e duram dez vezes mais. Recentemente, foram implementadas políticas que reduzem ou banem o uso de lâmpadas incandescentes em inúmeros países, inclusive no Brasil. A portaria no 1.007/2010, do Ministério de Minas e Energia, estabelece prazos graduais para proibição da fabricação e da importação deste tipo de lâmpadas até 2015.

É importante perceber, porém, que a economia de energia não é apenas uma questão de usar lâmpadas mais eficientes mas também envolve outras questões: reduzir a absorção de luz de luminárias (o recipiente ou lustre no qual a lâmpada se encaixa), melhorar os níveis de iluminação, usar controles automáticos, como sensores de movimento, e adaptar os edifícios para fazer melhor uso da luz natural do dia. Edifícios projetados para otimizar a luz do dia podem suprir até 70% de suas necessidades anuais de iluminação com luz natural, enquanto a taxa em um edifício comum fica entre 20% e 25% apenas.

A publicação Perdas de Iluminação do Trabalho (AIE, 2006) indica que pelo menos 38% do consumo de eletricidade para iluminação poderia ser cortado em formas rentáveis, desconsiderando tecnologias mais recentes e promissoras, tais como o LEDs.

**Tecnologias de comunicação, informação e entretenimento em casa** O número de aparelhos como computadores, telefones, aparelhos celulares, televisores, videogames, impressoras, copiadoras e servidores crescem tanto em edifícios residenciais quanto comerciais.

Esses aparelhos representam cerca de 15% do consumo residencial de eletricidade no mundo<sup>18</sup>. Globalmente, espera-se que o consumo de energia por tecnologias de comunicação e informação e para entretenimento em casa triplique, indo de 776 TWh em 2010 para 1.700 TWh em 2030. Uma das principais opções para reduzir o consumo de energia nessa área é usar as melhores tecnologias disponíveis. Segundo um estudo de 2009, a IEA estima que é possível reduzir o valor de 1.700 TWh para 775 TWh em 2030 apenas utilizando a melhor tecnologia disponível, e para 1.220 TWh utilizando medidas que diminuem os custos do ciclo de vida, que não impõem custos adicionais aos consumidores.

**Outros aparelhos** Aqui estão incluídos os chamados aparelhos da linha branca, tais como freezers e geladeiras, máquinas de lavar, secadoras, lavadoras de louça, fornos e outros equipamentos de cozinha. O uso de eletricidade em aparelhos de refrigeração depende da média da capacidade de armazenamento da residência, da proporção de ar fresco necessário para refrigerar os alimentos, da temperatura ambiente, da umidade, e das temperaturas e do seu controle no armazenamento de alimentos.

Estima-se que ao melhorar a eficiência energética dos aparelhos de refrigeração seria possível alcançar médias de 30% de economia de energia.

**tabela 4.2: usos finais no setor residencial - participação no consumo e potencial técnico de redução de consumo**

	Participação no consumo % (1)	Participação no potencial de redução de consumo % (2)
Chuveiro elétrico	9 a 26%	6 a 55%
Iluminação	8 a 19%	35 a 91%
Refrigerador+freezer	16 a 29%	1 a 6%
Ar-condicionado	11 a 32%	1 a 5%

#### notas

<sup>1</sup> PROCEL INFO, CASA EFICIENTE: CONSUMO E GERAÇÃO DE ENERGIA, 2010

<sup>2</sup> FONTE: ELETROBRAS; PROCEL, AVALIAÇÃO DO MERCADO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL, 2009.

#### 4.4 o conceito de residência padrão

A fim de permitir um nível exato de demanda de energia como um “direito” fundamental para todas as pessoas no mundo, é proposto um modelo de residência eficiente.

Uma residência padrão da OECD totalmente equipada (incluindo geladeira, fogão, TV, rádio, aparelhos de música, computador, lâmpadas etc.) consome atualmente entre 500 e 1.100 kWh por mês.

Já no Brasil, o consumo médio residencial é bastante inferior: 160 kWh por mês. Esse valor, entretanto, apresenta disparidades, posto que há classes de consumo com usos mínimos de energia, como é o caso dos consumidores de baixa renda, e outras classes com padrões análogos aos de famílias da OECD. Além disso, o consumo médio dos brasileiros tende a aumentar com a evolução da interligação de comunidades isoladas ao sistema elétrico, que têm pouco ou nenhum acesso à eletricidade, e com o crescimento do poder aquisitivo das classes mais baixas.

Nos países da OECD, a média da demanda energética poderia ser reduzida para cerca de 180 kWh/mês por residência apenas com a adoção de aparelhos elétricos mais eficientes disponíveis atualmente no mercado, sem quaisquer mudanças significativas de estilo de vida.

Partindo desse pressuposto, o “excesso de consumo” de todas as famílias nos países da OECD totaliza mais de 2.100 bilhões de kWh. Comparando esse dado com o consumo atual per capita nos países em desenvolvimentos, eles teriam o “direito” de usar cerca de 1.350 bilhões kWh a mais. O atual excesso das famílias da OECD poderia, portanto, preencher a lacuna no fornecimento de energia nos países em desenvolvimento em mais de uma vez e meia.

Com a implementação de normas técnicas rigorosas para todos os aparelhos elétricos, a fim de alcançar o nível global de 180 kWh/por mês em cada residência, seria possível desligar mais de 340 usinas de carvão nos países da OECD. No Brasil, a economia de eletricidade prevista no cenário [R]evolução Energética poderia dispensar o equivalente a 20 usinas nucleares como Angra 2.

#### 4.5 resultados para os setores residencial, comercial, público e rural: o caminho da eficiência energética

O cenário [R]evolução Energética para os setores residencial, público e rural considera as previsões do Plano Nacional de Eficiência Energética e do Plano Decenal de Expansão 2012-2021. Assume-se que a revisão de políticas para o aumento da eficiência energética produza resultados a partir de 2015. A redução da demanda de energia nos setores residencial, público e rural em comparação ao cenário de referência é de 13%, em 2030, e 27%, em 2050. O uso de combustíveis e calor será o maior responsável pela redução, contribuindo com 17%, em 2030, e 31%, em 2050.

Para alcançar a baixa demanda de energia do cenário [R]evolução Energética, as seguintes medidas precisam ser adotadas:

- **NORMAS MAIS RÍGIDAS PARA A CONSTRUÇÃO:** os novos edifícios comerciais e residenciais devem incorporar preceitos eficientes de arquitetura bioclimática, aproveitando melhor a luz e a ventilação naturais;
- **SISTEMAS DE VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO:** sistemas eficientes e com melhor relação custo-benefício devem elevar o coeficiente de performance em relação ao nível de hoje;
- **MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE ILUMINAÇÃO:** apesar das melhorias recentes – muitas delas causadas por mudanças políticas –, ainda há um potencial considerável para a redução da demanda de iluminação em todo o mundo por meio do uso de opções mais eficientes;
- **MELHORIA DE NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DE APARELHOS DOMÉSTICOS:** os padrões dos eletrodomésticos devem mudar rapidamente para equipamentos de menor consumo e menores pegadas de carbono.

## transportes



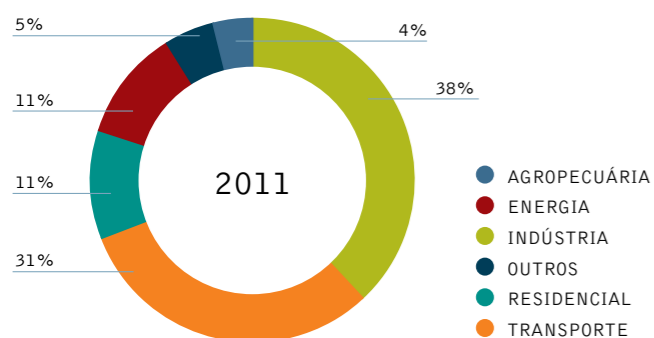
imagem TRÂNSITO NOTURNO EM FRANKFURT, ALEMANHA.



A maior parte das emissões brasileiras são provenientes de atividades relacionadas a mudanças no uso da terra<sup>19</sup>, principalmente desmatamento. Porém, entre todos os setores analisados, pode-se destacar o de transporte como um dos que mais contribuem para o total das emissões de gases de efeito estufa – cerca de 8%<sup>20</sup>.

Esse setor tem um papel importante na demanda de energia do país e atualmente responde, sozinho, por um terço da energia consumida no Brasil<sup>21</sup>, como mostra a figura 5.1. Os transportes, principalmente o rodoviário, dependem enormemente de combustíveis fósseis, cuja queima representa 80% de suas emissões<sup>22</sup>.

figura 5.1: consumo final de energia no Brasil



A movimentação de cargas e de passageiros no Brasil se dá predominantemente pelo sistema rodoviário. Entre todos os modais, este respondeu por 92% do consumo energético do setor de transportes em 2010, equivalente a 26,5% do consumo total de energia<sup>23</sup>. O valor é muito superior ao dos setores aéreo (1,5% do consumo total energético), ferroviário e aquaviário (0,5% do consumo total energético cada um).

A intensificação da motorização verificada nas últimas décadas e os indicativos de que ainda há espaço e incentivos econômicos e fiscais para sustentar o crescimento da frota nas próximas décadas reforçam o papel central do modal rodoviário nos deslocamentos de bens e pessoas.

#### referências

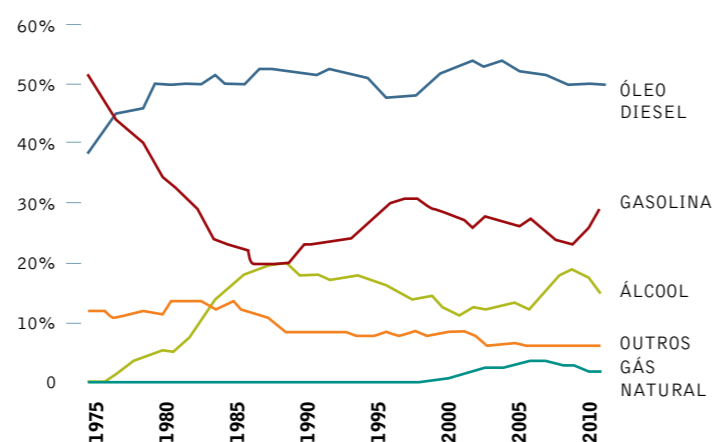
- <sup>19</sup> ESTIMA-SE QUE APROXIMADAMENTE UM QUINTO DAS EMISSÕES GLOBAIS DE CARBONO SE JAM DERIVADAS DE ATIVIDADES RELACIONADAS COM O USO DA TERRA, COMO DESMATAMENTO, QUEIMADAS ETC.  
<sup>20</sup> MCT, "SEGUNDA COMUNICAÇÃO NACIONAL DO BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA", 2010.  
<sup>21</sup> EPE, BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2012.  
<sup>22</sup> MMA, 1º INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS, 2011.  
<sup>23</sup> EPE, BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2012.

O setor de transportes está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico de um país. Dessa forma, com a tendência de crescimento da economia brasileira, é possível esperar uma ampliação significativa da demanda de transporte de cargas e de passageiros e, conseqüentemente, o aumento dessas emissões.

Segundo estimativas do PDE (Plano Decenal de Energia) 2021, o Brasil emitiu 396 milhões de toneladas em CO<sub>2</sub> equivalente em 2011 referentes à queima de combustíveis fósseis. Somente o setor de transportes foi responsável por 192 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente no mesmo ano, uma participação de quase 49% das emissões totais.

A matriz de combustíveis do setor rodoviário é baseada no consumo de diesel e óleo combustível para o transporte de cargas, enquanto que, para o transporte de passageiros, observa-se uma maior diversificação, com a presença adicional de gasolina, etanol e GNV, como mostra a figura 5.2. Dessa forma, a redução do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa no país precisa necessariamente passar por transformações no modo rodoviário, tanto de passageiros como de cargas.

figura 5.2: participação do consumo de energia por combustíveis no setor transportes



O cenário [R]evolução Energética projeta para 2050 o consumo de energia de 4.608 PJ ao ano no setor de transportes. O valor representa uma redução de 29% em comparação à projeção de 6.528 PJ no cenário de referência. Em termos de emissões, as 343 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no cenário de referência caem para 201 milhões de toneladas anuais de CO<sub>2</sub> no cenário [R]evolução Energética.

A redução de consumo energético no setor de transportes foi possibilitada em função da combinação das seguintes medidas:

- Transição de um modal baseado em automóvel de passeio para ônibus, trens e metrô para passageiros. Transferência do

modal rodoviário para ferroviário e aquaviário no transporte de cargas;

- Adoção de tecnologias para melhoria da eficiência energética;
- Maior diversificação da matriz de combustíveis;
- Otimização da capacidade dos veículos;
- Redução na intensidade de uso de veículos.

### 5.1 metodologia

Para a construção dos cenários, foi feito um levantamento bibliográfico e de informações secundárias sobre a situação do setor. Esses dados serviram para subsidiar a projeção dos cenários para consumo de energia e de emissão de CO<sub>2</sub>.

Os modos de transporte foram divididos nas categorias passageiro e cargas, uma vez que as variáveis de cada categoria são diferentes. Estudos estatísticos indicaram as variáveis correlacionadas com o consumo de energia, e tendências políticas, econômicas e tecnológicas foram consideradas como influências diretas no consumo de energia.

Para os modos ferroviário, aquaviário e aéreo, utilizou-se a metodologia *top-down* devido à pequena diversidade de combustíveis e à baixa disponibilidade de informações consolidadas sobre intensidade de uso e frota circulante.

A metodologia *top-down* quantifica as emissões a partir do consumo global anual de combustível, sem diferenciar as características dos veículos e a intensidade de uso deles. O BEN (Balanço Energético Nacional) serviu como fonte para os dados de consumo de energia<sup>24</sup>.

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, todo o consumo de energia fornecido pelo BEN foi convertido em litros dos respectivos combustíveis e multiplicado pelo fator de emissão referente a cada fonte de energia, conforme a tabela 5.1.

A energia consumida por modo de transporte e as emissões de CO<sub>2</sub> são expressas em kJ/tkm ou kJ/pass.km (para energia) e t/tkm ou t/pass.km (para emissões de CO<sub>2</sub>).

tabela 5.1: fatores de emissão para transporte de carga

COMBUSTÍVEL	EMIÇÃO DE CO <sub>2</sub>
Diesel	2,71 kg/l
Óleo combustível	3,10 kg/l
Diesel marítimo	3,10 kg/l
Querosene de aviação	2,494 kg/l
Gasolina de aviação	2,225 kg/l

Abaixo, indicamos a participação de combustíveis por modais e tipos de transporte:

#### Transporte de carga:

- Marítimo: óleo combustível;
- Fluvial e ferroviário: óleo diesel;
- Aéreo: 98,5% querosene de aviação e 1,5% de gasolina de aviação.

#### Transporte de passageiros:

- Marítimo: não foi considerado;
- Fluvial: diesel;
- Ferroviário: eletricidade;
- Aéreo: 98,5% querosene de aviação e 1,5% de gasolina de aviação.

O consumo energético do modo rodoviário foi calculado a partir da metodologia *bottom-up*, que permitiu estimar valores de forma desagregada. A emissão levou em consideração os dados da frota de veículos, a intensidade de uso e os fatores de emissão. A frota em circulação anual e a intensidade de uso foram definidas a partir dos procedimentos adotados pelo Inventário de Emissão Veiculares, elaborado pelo Ministério do Ambiente em 2011<sup>25</sup>. Para os cálculos dos fatores de emissão de gasolina A, etanol anidro, etanol hidratado, diesel e GNV (gás natural veicular) foi adotada a mesma metodologia do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e, para o biodiesel, utilizou-se valor da EPE (Empresa de Pesquisa Energética)<sup>26</sup>.

#### referências

- <sup>24</sup> FONTE: EPE/MME, 2012.  
<sup>25</sup> MMA, 1º INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS, 2011.  
<sup>26</sup> EPE, PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA (2012-2021), 2012.

## 5.2 alternativas para a redução do consumo de energia e de emissões

Em 2050, de acordo com o cenário [R]evolução Energética, o setor rodoviário ainda continuará sendo o maior consumidor de energia [ver gráfico 5.3], porém com menor participação.

Até 2050, observa-se maior consumo de combustíveis e aumento do nível de motorização. Porém, ao analisar os indicadores kJ/tkm e kJ/pass.km do cenário [R]evolução Energética, verifica-se uma clara melhoria da eficiência energética. Isso se deve à maior diversificação da matriz de transporte de cargas, às melhorias na eficiência dos veículos, à maior ocupação dos veículos coletivos e de carga e também ao aumento da participação do transporte ferroviário de passageiros.

figura 5.3: evolução de consumo de energia por modais



## 5.3 transferência modal

Os modais ferroviário e aquaviário mostram-se mais eficientes e menos poluentes para o transporte de carga, mas ainda assim sua participação continua sendo muito pequena quando comparada à rodoviária.

Tratando-se de um país de dimensões continentais e em crescimento como o Brasil, mais diversificação e integração dos modais se fazem necessárias não apenas na perspectiva ambiental como também do ponto de vista econômico. O custo do frete ferroviário é 50% menor que o do rodoviário, segundo cálculos do Dnit (Departamento Nacional de Infraestrutura

de Transporte): um vagão pode transportar 130 toneladas, enquanto um caminhão transporta no máximo 35 toneladas.

No cenário [R]evolução Energética, a participação do transporte por meio de ferrovias aumenta e se aproxima da realidade atual de países ou regiões com dimensões territoriais comparáveis às do Brasil. Nos Estados Unidos, as ferrovias respondem por 43% do transporte da produção e na Rússia, por 80%. Dessa forma, a divisão modal passa a ser de 20% para o transporte hidroviário, 42% para o ferroviário e 32% para o rodoviário (em tkm)<sup>28</sup>. Melhorias na aerodinâmica, na redução do peso total dos trens e em sistemas propulsores podem aumentar ainda mais a economia de energia. Essas medidas, se combinadas com a otimização

### referência

<sup>27</sup> QUILOJoule POR TONELADA-KILOMETRO E QUILOJoule POR PASSAGEIRO-KILOMETRO SÃO MEDIDAS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS RELACIONADAS À RODAGEM DOS VEÍCULOS, SEU PESO E NÚMERO DE PASSAGEIROS DESLOCADOS.

<sup>28</sup> TONELADA-KILOMETRO É A UNIDADE DE MEDIDA EQUIVALENTE AO TRANSPORTE DE UMA TONELADA DE CARGA À DISTÂNCIA DE UM QUILOMETRO.

operacional, resultam numa eficiência energética de até 40%.

Quanto ao transporte de passageiros, as metrópoles brasileiras devem passar por uma mudança radical nos padrões de mobilidade. De acordo com dados de 2011 da ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos), nas cidades com mais de 60 mil habitantes, 27,4% das locomoções foram feitas em automóveis, 3,5% em motos e 29,1% em transporte coletivo. O transporte a pé e por bicicleta corresponderam a 36,8% e 3,4%, respectivamente<sup>29</sup>.

Excluindo o transporte não motorizado (bicicleta e a pé), mais da metade dos deslocamentos se deu por transporte particular. Segundo a ANTP, a divisão mais adequada seria de 70% transporte coletivo e 30% individual.

A participação dos veículos particulares nos deslocamentos da população precisa ser reduzida e, conseqüentemente, o uso de transportes não motorizados e de massa deve aumentar. É necessário otimizar o número de viagens, o que pode ser obtido por meio da integração entre o planejamento de transportes e o planejamento urbano. A aproximação da oferta de empregos e de serviços do local de moradias das pessoas resulta na redução de quilômetros percorridos.

Megacidades como Cingapura, Seul e Tóquio conseguiram equacionar os desafios de altas taxas de motorização com uma mobilidade urbana de baixas emissões por meio da expansão de sistemas de transportes de massa, integração entre os diversos modais e gerenciamento da demanda de transportes.

O aumento da oferta do transporte público de qualidade muitas vezes não é suficiente para induzir mudanças modais nas cidades, e por isso medidas que desestimulam o uso de automóveis são importantes para incentivar a mudança de comportamento e aumentar o uso de transportes coletivos.

A implantação de sistemas de transportes energeticamente eficientes e menos poluentes tanto de massa como metrô, BRT, VLT assim como ciclovias trazem benefícios econômicos para o país, uma vez que também reduzem outras externalidades negativas, como os efeitos da poluição do ar na saúde pública e custos dos congestionamentos.

## 5.4 adoção de tecnologias para melhoria da eficiência energética

A adoção de tecnologias para o aumento da eficiência energética de motores apresenta um potencial de redução de consumo de energia em veículos leves e pesados, uma vez que somente 25% a 35% da energia química do combustível é convertida em energia mecânica pelos motores. A China e grande parte dos países da OECD adotam algum tipo de política de economia de combustível com metas obrigatórias de eficiência energética veicular, dada sua efetividade para a redução da demanda de combustíveis e, conseqüentemente, de emissões de veículos.

O Brasil é um dos maiores mercados de automóveis no mundo e pretende aumentar sua taxa de motorização. No entanto, ainda não há registros de políticas voltadas para a eficiência energética. A IEA (Agência Internacional de Energia)<sup>30</sup> estimou o potencial para economia de combustíveis de veículos entre 30% para motores convencionais caso o esforço tecnológico foque o aprimoramento de motores e da transmissão, e até 50% com uso de híbridos. As empresas só investem em melhorias no *powertrain* do veículo, bem como em modificações das características do veículo (peso, aerodinâmica, freios e sistemas auxiliares como ar-condicionado e iluminação) com políticas voltadas para aumentar a eficiência energética. Do contrário, a tendência do mercado é priorizar o aumento da performance e da potência dos veículos.

Os principais fatores que podem contribuir para a descarbonização do setor de transportes são: a redução dos custos de energia, o aumento da oferta de energias renováveis, o desenvolvimento de baterias com maior autonomia e a maior penetração de motores híbridos e elétricos.

Mesmo com um crescente uso de biocombustíveis, as emissões de gases do efeito estufa podem ser mitigadas de forma mais ambiciosa com o melhor aproveitamento do potencial de eletrificação do setor de transportes. Ao contrário de outras regiões nas quais as fontes fósseis têm um peso grande na produção de energia, no Brasil a alta participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira torna atrativa a maior inclusão de veículos híbridos e elétricos na frota até 2050. Apesar de os veículos leves receberem mais investimentos para o desenvolvimento dessas tecnologias, os veículos pesados também podem se beneficiar.

A partir de 2030, o cenário [R]evolução Energética apresenta um aumento progressivo da participação de híbridos e elétricos na frota. A proporção de 5% em 2030 sobe para 10% em 2040 e para 12% em 2050, numa distribuição de 20% para veículos híbridos e 80% para veículos elétricos *plug-in*. A participação dos ônibus híbridos também cresce de 5% em 2030 para 8% em 2040 e 15% em 2050.

O aproveitamento desse potencial depende da implantação de políticas de economia de combustíveis abrangentes e integradas, que incluam instrumentos fiscais e econômicos como deduções, metas obrigatórias de consumo, sistema de etiquetagem e taxação de combustíveis. A redução do peso médio da frota, privilegiando veículos pequenos, deve ser considerada no desenho dos padrões de eficiência energética veicular.

### referência

<sup>29</sup> ANTP, SISTEMA DE INFORMAÇÕES DA MOBILIDADE URBANA - RELATÓRIO GERAL, 2011

<sup>30</sup> IEA, TECHNOLOGY ROADMAP: FUEL ECONOMY OF ROAD VEHICLES<sup>2012</sup>.



### 5.5 maior diversificação da matriz de combustível

Os biocombustíveis podem reduzir a utilização de combustíveis fósseis. Na matriz energética do cenário [R]evolução Energética, ainda há predomínio de derivados de petróleo, mas o uso do etanol e biodiesel aumenta, chegando perto de 30% do consumo em 2050.

O figura 5.4 mostra a evolução do uso dos combustíveis por década. A proporção do uso do etanol ao final de 2050 em veículos tipo *flex fuel* é de 80% para etanol e 20% para gasolina numa transição linear. O biodiesel B10 é introduzido em 2014 e, em 2022, ocorre a entrada do B20 na matriz.

figura 5.4: consumo energético por fonte



### 5.6 otimização da capacidade dos veículos e redução na intensidade de uso

Além da melhor distribuição entre modais para carga e passageiros, do aumento da eficiência e da maior diversificação dos combustíveis, outro fator preponderante para a redução de uso de energia no setor é a intensidade de uso dos veículos. A menor intensidade no número de quilômetros percorridos por veículos não implica uma redução da mobilidade de bens e pessoas, já que a oferta de outros modos de transportes – mais eficientes e ou mesmo não motorizados – até 2050 resultará na redução da intensidade de carbono. A capacidade dos veículos também pode e deve ser otimizada. Projeções feitas para o cenário [R]evolução Energética mostram que esses dois fatores têm papel importante para o consumo de energia do setor de transporte.

## resultados do cenário



imagem SISTEMA FOTOVOLTAICO NA UTE NORTE FLUMINENSE, EM MACAÉ (RJ)



A evolução da demanda de energia está condicionada a três fatores principais: o crescimento populacional, que determina o número de consumidores; o crescimento econômico, para o qual o PIB (Produto Interno Bruto) é o indicador mais usado; e a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de PIB<sup>31</sup>, medida pelos indicadores de intensidade energética e elasticidade da demanda de eletricidade.

Para este relatório, foram elaborados dois cenários. O primeiro, chamado de referência ou tendencial, usa dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), órgão ligado ao Ministério de Minas e Energia, que constam nos estudos “Plano Decenal de Energia Elétrica 2012-2021” e “Balanço Energético Nacional 2012”. O segundo, o [R]evolução Energética, foi elaborado com projeções de pesquisadores da USP e da Coppe/UFRJ e premissas do Conselho Europeu de Energias Renováveis, DLR (Agência Aeroespacial Alemã) e Greenpeace.

Ambos baseiam-se nas mesmas projeções de crescimento populacional e econômico e de geração de energia para 2050. O que diferencia os dois panoramas é que o cenário de referência tem como premissa as tendências de planejamento energético sinalizadas pelo governo brasileiro para as próximas décadas. Já o [R]evolução Energética prevê maior implantação de novas fontes renováveis e esforços de redução de uso de energia nos setores de eletricidade, transportes e indústria. A produção desses cenários contou com a execução, a supervisão técnica e a revisão de profissionais dos setores elétrico, de transportes e economistas.

## 6.1 projeções de crescimento

### 6.1.1 crescimento populacional

De acordo com o cenário de referência da IEA (Agência Internacional de Energia) – que utiliza as projeções de crescimento demográfico da ONU – e com projeções do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população do Brasil aumentará em proporção semelhante à média latino-americana e de forma menos acentuada que outras regiões em desenvolvimento, chegando a 2050 com 223 milhões de habitantes. O crescimento médio anual será de 0,64%. Essa tendência de estabilização do crescimento traz consequências positivas porque alivia a pressão sobre a demanda de recursos energéticos e sobre o ambiente.

### 6.1.2 crescimento econômico

O crescimento econômico é determinado pelos setores produtivos da economia nacional e é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da demanda por energia e eletricidade. Os dados de expansão da economia foram projetados pelo Itaú<sup>32</sup>, resultando nos índices da tabela 6.1.

tabela 6.1: projeção do crescimento do PIB

	2011-2015	2016-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Crescimento anual do PIB	3,70%	3,50%	2,50%	2,50%	2,50%

Os valores da década de 2011 a 2020 são próximos aos valores médios da década anterior – 2001 a 2010 – e superiores aos PIBs médios das décadas de 1980 e de 1990, e consideram o crescimento econômico possível no período. Já a estimativa para as próximas décadas (2020, 2030 e 2040) é amparada na projeção da atual situação econômica, considerando diferentes fatores que tendem a manter o crescimento no patamar de 2,5%.

Os fatores são:

- O fato de o Brasil ter atingido índices próximos ao pleno emprego;
- O bônus demográfico que puxava o crescimento econômico em decorrência do aumento da população economicamente ativa está passando. Dessa forma, a população brasileira deve se estabilizar até 2025;
- A necessidade de manter a inflação em patamares aceitáveis, o que implica restrições da taxa de crescimento do PIB;
- A lentidão em investimentos para a ampliação da infraestrutura e da capacidade produtiva;
- Crise e incertezas no cenário internacional, impactando os setores de investimentos e da indústria, e a probabilidade de esse quadro perdurar por alguns anos nos países desenvolvidos;
- A competição por mercados com outros países cujo custo do trabalho é mais baixo;
- A falta de confiança dos investidores por conta de incertezas regulatórias e da condução das políticas econômicas e monetárias pelo governo.

#### referências

- 31 UMA UNIDADE DE PIB É EQUIVALENTE AO AUMENTO DE 1% DO PIB.  
32 UTILIZAMOS AS PROJEÇÕES DO ITAÚ/BBA DE CRESCIMENTO DE PIB ATÉ 2021, EXTRAPOLADAS AS PROJEÇÕES ATÉ 2050.

### elasticidade-renda do consumo de eletricidade

A relação entre PIB e energia pode ser medida por sua elasticidade, ou seja, a relação entre o aumento do PIB e o consumo adicional de eletricidade necessário para produzi-lo. Quanto mais eficiente o uso da energia, menor será a quantidade necessária para produzir a mesma unidade de PIB. De acordo com o PDE 2012-2021<sup>33</sup>, a elasticidade-renda prevista para a próxima década é estimada em 1,04 para eletricidade e 1,01 para energia, ou seja, para cada ponto percentual de crescimento de PIB, a demanda de eletricidade aumenta 1,04%.

A demanda por eletricidade foi calculada com base em estimativas de crescimento do PIB [tabela 6.1] e da elasticidade.

Já a elasticidade [tabela 6.2] foi estimada com base em dados do Itaú, números calculados pelo governo no PDE 2012-2021 e extrapolada até 2050:

tabela 6.2: projeção da evolução da elasticidade-renda

	2011-2015	2016-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Elasticidade - residências	1,1	1,1	1,06	0,97	0,83
Elasticidade - indústria	0,85	0,85	0,8	0,78	0,78
Elasticidade - comércio	1,1	1,1	1,06	0,97	0,83

Conforme a tabela 6.2, a tendência projetada de elasticidade para 2050 aponta para índices entre 0,7 (indústria) e 0,8 (residências e comércio), já observados em alguns países que adotaram medidas de eficiência nos processos produtivos, mudaram seu perfil industrial e reduziram o consumo de demais setores. E também exemplos extremos, em países asiáticos, como o Japão, e Estados norte-americanos, como a Califórnia, nos quais o PIB cresceu por uma sequência de anos sem que fosse observado um aumento no consumo de eletricidade.

Isso comprova que o crescimento da atividade econômica e da população não implica crescimento proporcional da demanda por energia elétrica. Para o Brasil, a projeção é de que o amadurecimento da demanda de energia elétrica do país, o aumento de eficiência em processos produtivos e a transição do perfil da economia nacional estabilizem a elasticidade na década final da análise em um valor mais próximo das economias desenvolvidas, entre 0,7 e 0,8.

No cenário traçado, supomos que, no período de 2010 a 2020, o crescimento de eletricidade acompanha o do PIB em proporção de 1,1 para os setores residencial e comercial e 0,85 para a indústria.

Na década de 2030, a eletricidade acentuará sua tendência de otimização em relação ao PIB, acompanhando esse crescimento em 97% para os setores residencial e comercial e 78% para a indústria. O consumo proporcional de eletricidade será menor, com elasticidade entre 0,78 e 0,83 para a década de 2030, consolidando a evolução dos setores econômicos nacionais em direção ao comportamento produtivo das economias desenvolvidas.

## 6.2 evolução do consumo final de energia

Na figura 6.1, vemos os caminhos de desenvolvimento da demanda e do consumo final de energia final no Brasil nos cenários de referência e do [R]evolução Energética combinados às estimativas de crescimento da população, do PIB e da intensidade elétrica.

No cenário de referência, a demanda total de energia final aumenta em 108%, dos atuais 8.173 PJ/ano para 17.040 PJ/ano em 2050. No cenário [R]evolução Energética, a demanda final de energia aumenta em 54% em comparação com o consumo atual e alcança cerca de 12.600 PJ/ano em 2050.

Comparando ambos os cenários, o [R]evolução Energética demandará 25% menos energia em 2050 do que o cenário de referência. Essa redução é puxada principalmente pelos setores de transportes (redução de 29%) e indústria (redução de 22%).



figura 6.1: projeção da demanda final de energia por setor em ambos os cenários

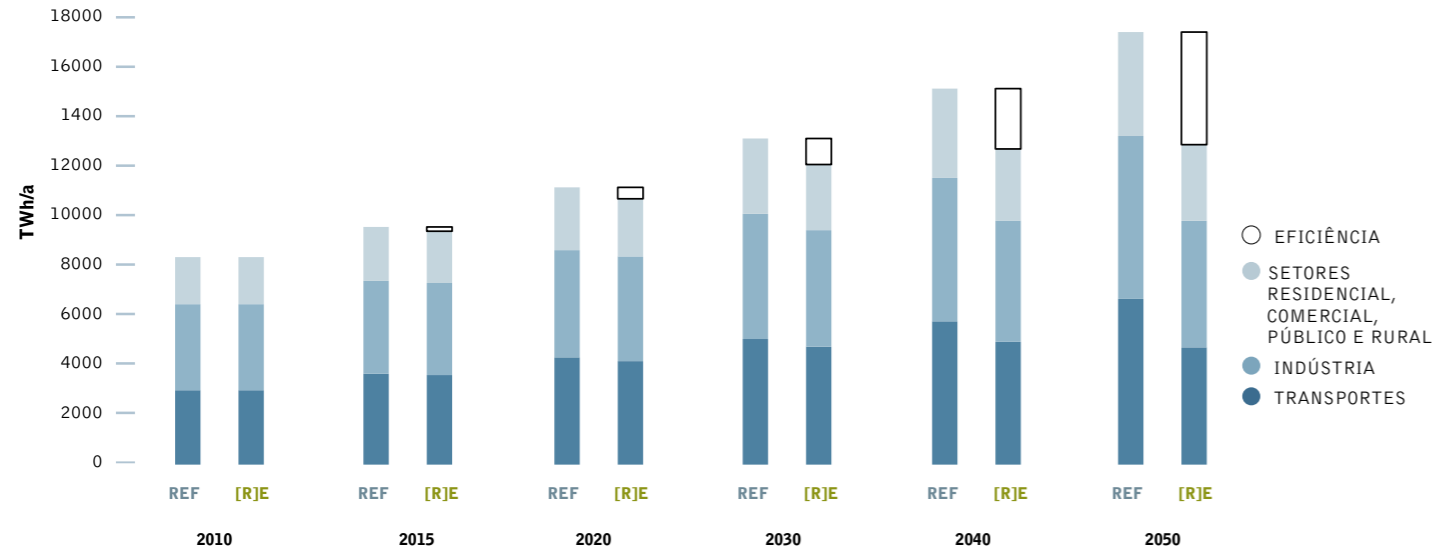
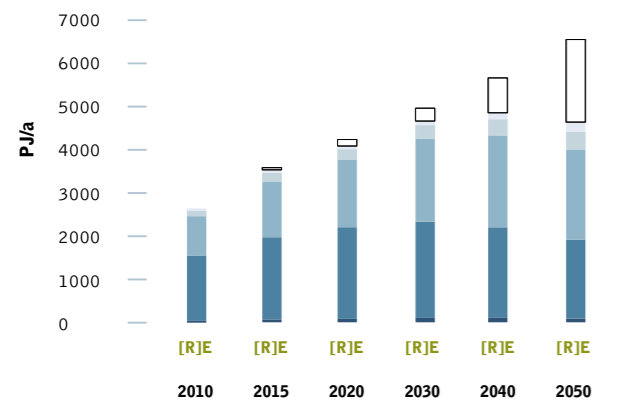
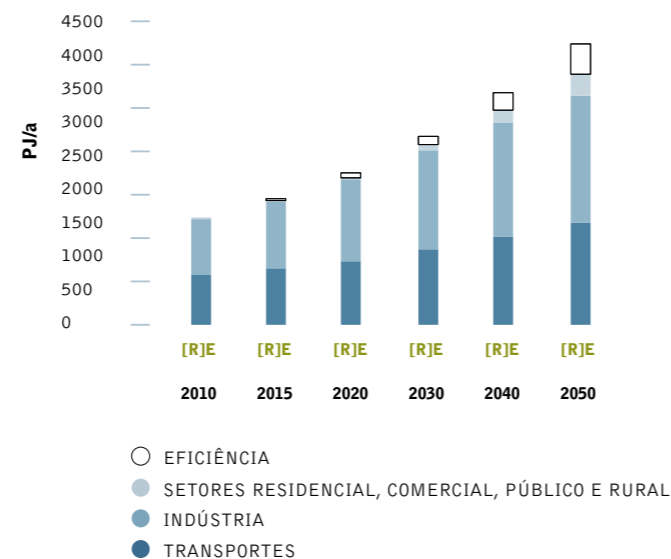


figura 6.2: desenvolvimento da demanda final de energia no setor de transportes por modais no cenário [r]evolução energética



Quando nos referimos especificamente à eletricidade, o cenário [R]evolução Energética prevê um aumento em todos os setores: industrial, residencial e de serviços, e também no setor dos transportes [ver figura 6.3]. A demanda total de eletricidade evolui de 438 TWh/ano em 2010 para 1.023 TWh/ano em 2050. Em comparação com o cenário de referência, medidas de eficiência nos setores da indústria, residencial e de serviços evitarão a geração de 205 TWh/ano. Essa redução pode ser alcançada com conjunto de ações, como o uso de equipamentos eficientes em todos os setores, racionalização do uso da energia, substituição de chuveiros elétricos por aquecimento solar de água e também pela introdução de dispositivos eletrônicos de alta eficiência, utilizando as melhores tecnologias disponíveis.

figura 6.3: desenvolvimento da demanda de eletricidade por setores no cenário [r]evolução energética



### 6.3 evolução da geração de eletricidade

As projeções do cenário [R]evolução Energética são baseadas na experiência recente do mercado nacional e internacional. A indústria fotovoltaica, por exemplo, teve uma taxa média de crescimento anual de 46% entre 2002 e 2012 (Epia, 2013), e a energia eólica cresceu 25% no mundo no mesmo período: saiu do zero para mais de 2.000 MW no Brasil (GWEC 2013). Estudos de potencial eólico e solar no Brasil, como o Atlas Solarimétrico e o Atlas Eólico, indicam que o potencial de implantação no Brasil é grande. Atualmente, o Brasil usa menos de 1% de seu potencial eólico e praticamente nada do potencial solar.

Em 2050, 91,9% da eletricidade produzida no país virá de fontes renováveis. A capacidade instalada desse tipo de energia deve quadruplicar nos próximos 40 anos, passando de 92 mil MW em 2010 para 396 mil MW em 2050.

O desenvolvimento da oferta de eletricidade é caracterizado por um mercado de energia renovável crescente e, conseqüentemente, pelo seu aumento na participação da matriz elétrica. Esse compensará a eliminação gradual da energia nuclear e reduzirá o número de termelétricas a combustíveis fósseis necessárias para garantir o suprimento de energia. Entre 2020 e 2030, a participação de fontes renováveis cairá para 78%, mas após esse período de transição, a maior penetração de "novas" fontes renováveis – principalmente eólica, fotovoltaica, CSP (solar térmica) e biomassa – devem contribuir para que a matriz elétrica seja 91,9% renovável – desse total, 35% serão compostos de renováveis intermitentes ou flutuantes.

#### A capacidade instalada de fontes renováveis chegará a 197 GW em 2030 e 396 GW em 2050.

A tabela 6.3 mostra a evolução comparativa das diferentes tecnologias renováveis no Brasil ao longo do tempo. Antes de 2030, eólica e solar fotovoltaica favorecerão o crescimento do mercado renovável. Depois de 2030, o crescimento contínuo de eólica e solar fotovoltaica será complementado pela

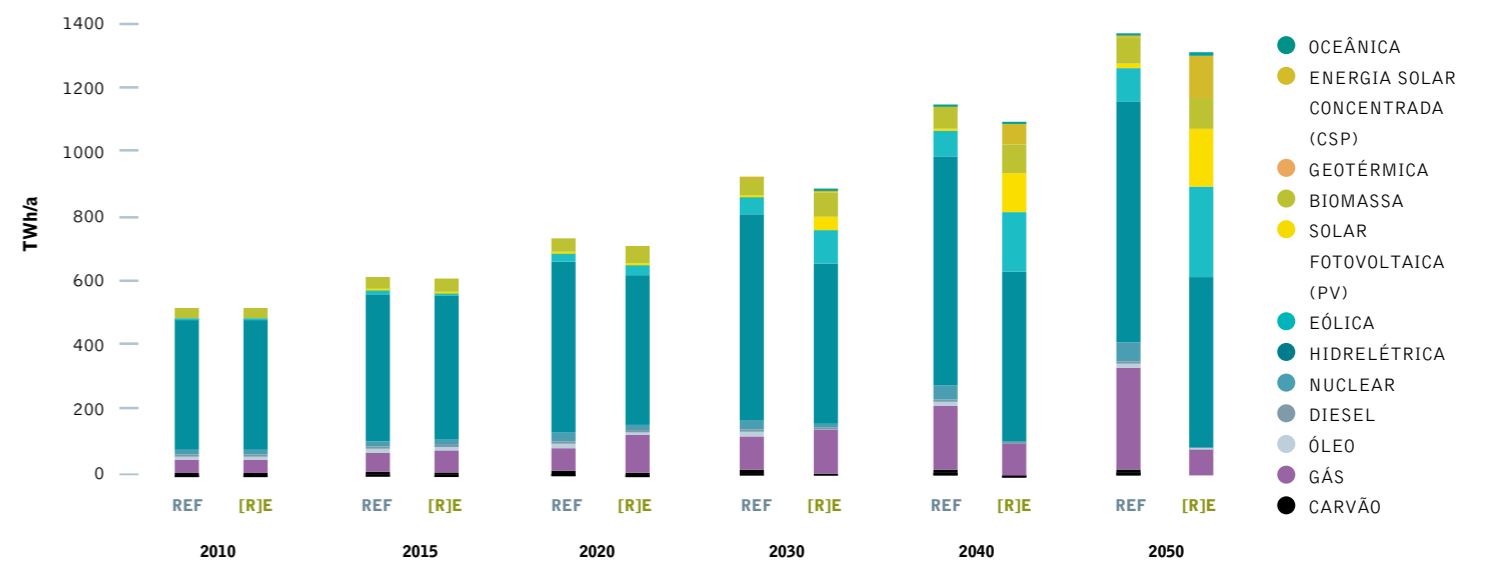
expansão de CSP (energia solar concentrada ou heliotérmica) e energia oceânica. O cenário [R]evolução Energética prevê uma participação de fontes de geração de energia flutuantes (fotovoltaica, eólica e oceano) de 16% em 2030.

Depois de 2030, a expansão das redes inteligentes, o gerenciamento pelo lado da demanda e o aumento da capacidade de armazenamento de energia – a partir do aumento da porcentagem de veículos elétricos, por exemplo – podem ser utilizados para estabelecer uma melhor integração da rede elétrica e do gerenciamento de fontes flutuantes. Com isso, a parcela de renováveis flutuantes deve atingir 35% do total em 2050.

tabela 6.3: projeção de energias renováveis (GW)

		2010	2020	2030	2040	2050
Hidrelétrica	REF	87	114	136	151	161
	[R]E	87	100	106	112	114
Biomassa	REF	4.5	10.4	15	19	24
	[R]E	4	13	20	25	28
Eólica	REF	0.9	15	24	35	44
	[R]E	0.9	16	43	78	110
Geotérmica	REF	0	0	0	0	0
	[R]E	0	0	0	0	0
Solar fotovoltaica (PV)	REF	0	0.4	1.1	3	8.0
	[R]E	0	2.8	24	68	100
Energia solar Concentrada (CSP)	REF	0	0	0.9	2.3	3
	[R]E	0	0	4.5	24	39
Oceânica	REF	0	0	0	0.4	1
	[R]E	0	0	0.4	1.9	4.2
Total	REF	92	140	177	211	240
	[R]E	92	132	197	309	396

figura 6.4: evolução de energias renováveis em ambos os cenários



## 6.4 consumo de eletricidade

Pelo cálculo do cenário de referência, o consumo de eletricidade no Brasil aumentará mais de três vezes em 40 anos (de 438 TWh em 2010 para 1.147 TWh em 2050). **No cenário [R]evolução Energética, o consumo de eletricidade é reduzido, atingindo 1.023 TWh em 2050**, ou seja, cerca de 11% menos do que o de referência.

Medidas de eficiência energética têm potencial de reduzir o consumo em 205 TWh por ano em 2050, o que adia a necessidade de aumento de parte da capacidade instalada previsto para o período de análise. Tal redução progressiva do consumo é alcançada por meio do uso de equipamentos elétricos eficientes em todos os setores, conscientização da sociedade para o uso racional de eletricidade e gerenciamento da demanda a fim de deslocar picos de utilização simultânea e intensa de energia.

### 6.4.1 cenário de referência 2050

No ano de 2010, a distribuição da geração de eletricidade era composta da seguinte forma: 78,2% de hidrelétricas, 7,9% de gás natural, 6,1% de biomassa, 3,1% de diesel e óleo combustível, 2,8% de nuclear, 1,5% de carvão e 0,4% de eólica. Para 2050, o cenário de referência prevê a geração de 1.362 TWh, distribuídos de acordo com a figura 6.5. Nessa projeção, a participação das fontes renováveis cai para 69,9%. A geração hidrelétrica responde por 54,4%; gás natural por 23,1%; eólica, 7,6%; biomassa, 6%; nuclear, 4,3%; óleo combustível e diesel, 1,4%; e carvão, 1,3%.

### 6.4.2 cenário [r]evolução energética 2050

De acordo com as projeções do cenário [R]evolução Energética [figura 6.6], em 2050, **91,9% da eletricidade produzida no Brasil será proveniente de fontes renováveis (1.325 TWh/ano)** e a economia proveniente de medidas de eficiência energética será de 13% (205 TWh).

**Nesse cenário estão excluídas termelétricas a óleo combustível, carvão e usinas nucleares.** A geração de energia fóssil fica restrita ao gás natural – combustível menos poluente entre essas opções, com 6,5% de participação na geração elétrica.

A expansão das hidrelétricas **deve se concentrar em pequenas centrais**, e a participação da fonte passa a ser de 40% da geração total. Diferentes tipos de aproveitamento da biomassa gerarão 7% da eletricidade necessária. A energia eólica *onshore* e *offshore* contribui com 21%. Já a geração solar por painéis fotovoltaicos e por usinas heliotérmicas deve chegar a 23%. A energia oceânica tem ainda uma participação tímida, de 0,83%.

figura 6.5: geração de eletricidade no cenário de referência

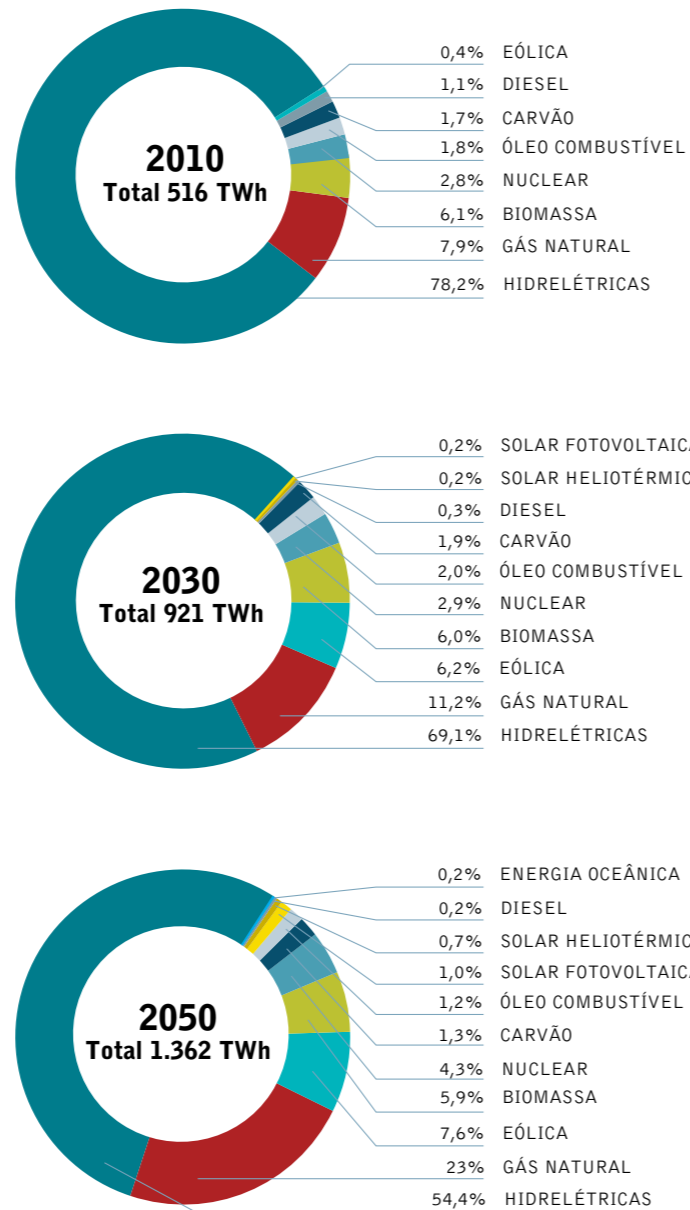
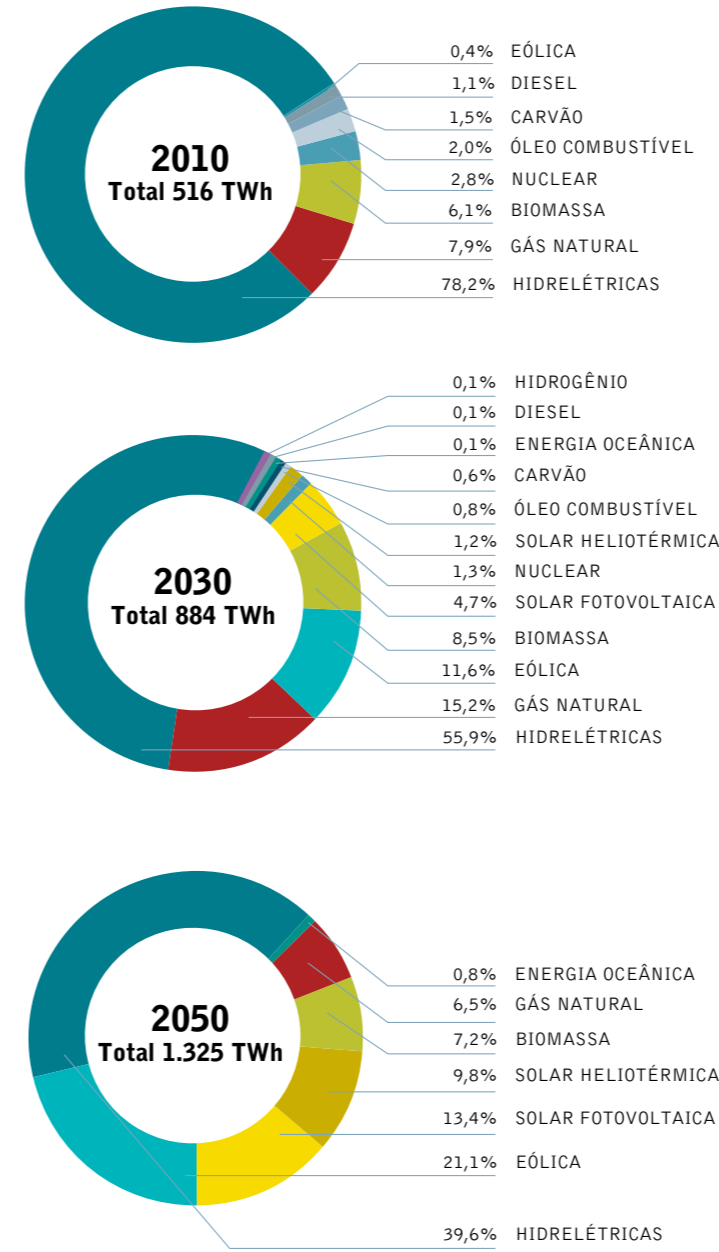


figura 6.6: geração de eletricidade no cenário [r]evolução energética



## 6.5 custos e investimentos futuros de geração de eletricidade

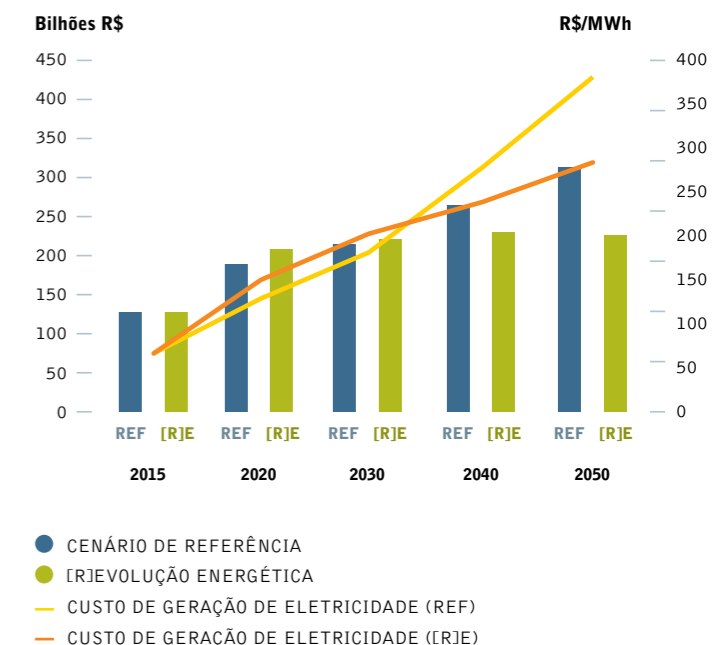
A figura 6.7 mostra que **a adoção de tecnologias renováveis no cenário [R]evolução Energética reduz os custos futuros da geração de eletricidade em longo prazo**. Isso porque, no cenário de referência, o crescimento da demanda, o aumento dos preços dos combustíveis fósseis para alimentar as usinas térmicas, além da inclusão dos custos de emissões de CO<sub>2</sub> aumentarão a conta de geração de eletricidade para mais de R\$ 440 bilhões em 2050.

Uma matriz mais renovável dispensa o uso de combustíveis fósseis e reduz as emissões de CO<sub>2</sub>. Por isso, **o cenário [R]evolução Energética apresenta um custo de geração de eletricidade até R\$ 88/MWh mais baixo do que o custo previsto pelo cenário de referência em 2050**. Medidas de eficiência também ajudam a reduzir o custo da produção de eletricidade em 27% no mesmo período, comparado com o cenário de referência.

Pelo [R]evolução Energética, o custo de geração em preços reais, considerando subsídios e excluindo deduções fiscais, variaria de R\$ 131 a R\$ 211/MWh entre 2010 e 2020, subindo para R\$ 236/MWh em 2035 e estabilizando-se em R\$ 232/MWh em 2050. Isso em razão da redução do preço das energias eólica e solar, que responderão por uma parcela significativa da matriz elétrica nesse horizonte final.

Já o cenário de referência registra um aumento maior do custo médio de geração: em 2035, os custos ainda são equivalentes, mas continuam subindo até atingir R\$ 320/MWh em 2050.

figura 6.7: evolução dos custos totais de fornecimento de eletricidade e custos de geração por MWh em ambos os cenários





Quando o assunto são os custos de construção de usinas e sistemas energéticos, incluindo investimentos para a substituição de usinas após sua vida útil, o cenário de referência prevê investimentos totais no setor elétrico de R\$ 1,87 trilhão entre 2010 e 2050, enquanto que no [R]evolução Energética o investimento seria de R\$ 2,39 trilhões para o mesmo período – o correspondente a R\$ 58 bilhões por ano.

Do total de investimentos, 97% seriam direcionados para tecnologias renováveis atuais – como a eólica e a biomassa – e novas – como eólica *offshore*, energia solar em painéis fotovoltaicos e CSP (usinas de concentração) e energia oceânica.

Apesar de o investimento inicial do [R]evolução Energética ser maior, a economia de recursos passa a ficar favorável quando são computados os gastos com combustíveis fósseis em cada um dos cenários. Considerando o preço do gás natural e óleo combustível e sua crescente utilização ao longo do horizonte de análise, a construção de menos usinas termelétricas e mais renováveis no cenário [R]evolução Energética **pouparia R\$ 1,111 trilhão até 2050 ou uma média de R\$ 28,4 bilhões por ano**. Dessa forma, a economia total em combustíveis cobriria mais do que o dobro dos investimentos adicionais necessários ao cenário [R]evolução Energética. Essas fontes renováveis produzirão energia sem uso de combustíveis, enquanto os custos de óleo e gás continuarão impactando a economia.

figura 6.8: investimentos do setor elétrico

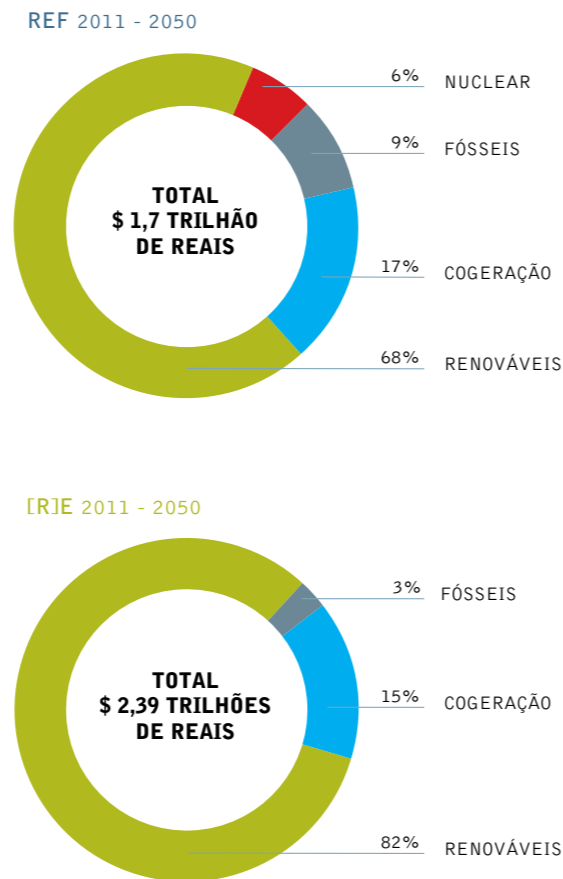


tabela 6.4: diferença de custos de investimentos em eletricidade e de custos de economia de combustíveis entre os dois cenários

CUSTOS ACUMULADOS DE INVESTIMENTOS		2011 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2040	2041 - 2050	2011 - 2050	2011 - 2050
		MÉDIA ANUAL					
DIFERENÇA ENTRE REF E [R]E							
Fontes fósseis + nuclear	bilhões R\$	24.0	25.1	89.9	98.8	237.9	5.94
Renováveis	bilhões R\$	65.3	-58.2	-386.3	-375.3	-754.5	-18.92
<b>Total</b>	<b>bilhões R\$</b>	<b>89.4</b>	<b>-33.1</b>	<b>-296.4</b>	<b>-276.4</b>	<b>-516.6</b>	<b>-12.98</b>
CUSTOS ACUMULADOS DE INVESTIMENTOS							
ECONOMIA ACUMULADA: [R]E - REF							
Óleo combustível	bilhões R\$	11.7	50.0	73.4	89.6	224.7	5.6
Gás natural	bilhões R\$	-63.0	-144.4	157.7	843.5	793.8	19.8
Carvão	bilhões R\$	2.3	8.7	14.1	18.2	43.1	1.1
Nuclear	bilhões R\$	1.3	6.2	14.2	27.5	49.0	1.2
<b>Total</b>	<b>bilhões R\$</b>	<b>-47.8</b>	<b>-79.6</b>	<b>259.3</b>	<b>978.6</b>	<b>1110.6</b>	<b>27.8</b>

### 6.6 uso de calor em edifícios e indústrias

As fontes renováveis fornecem atualmente 54% da demanda de energia para produção de calor, e a principal contribuição provém do uso de biomassa. **No cenário [R]evolução Energética, as fontes renováveis fornecerão 58% da demanda de calor em 2030 e 81% em 2050**, devido principalmente a:

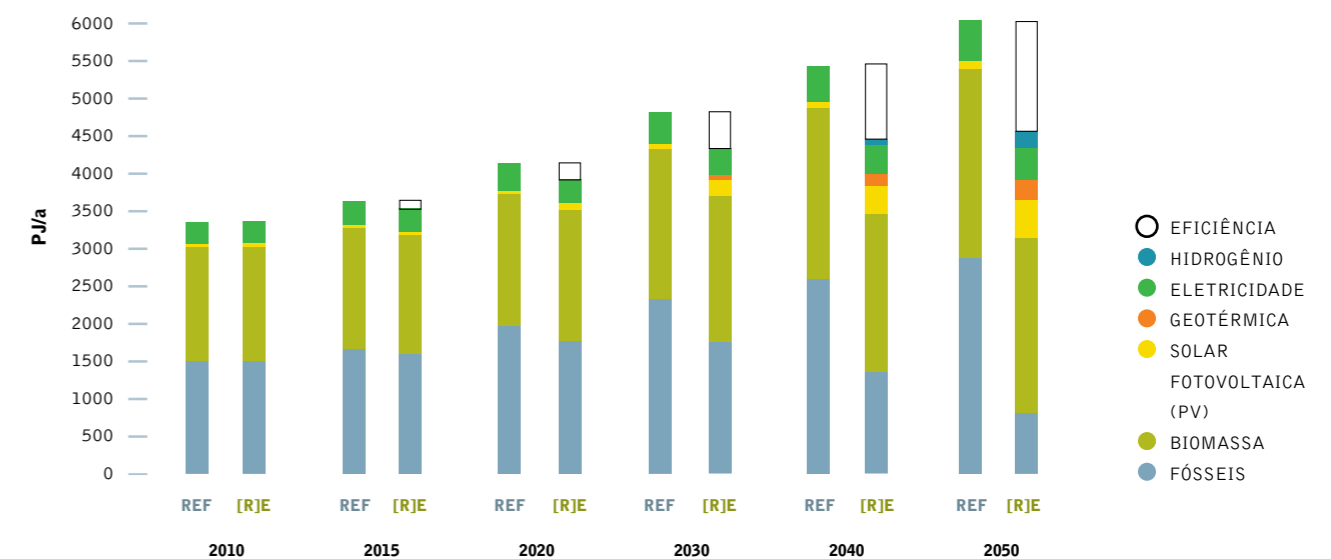
- Medidas de eficiência energética para restringir a futura demanda de energia primária para o fornecimento de calor em 25%, em relação ao cenário de referência;
- Substituição de sistemas de aquecimento gerados por combustíveis fósseis por coletores solares, biomassa, biogás e eletricidade no setor industrial;

• Transição do uso de carvão e óleo para o gás natural em aplicações convencionais. As emissões de CO<sub>2</sub> pelo gás natural é sensivelmente menor quando comparadas com outros combustíveis fósseis.

No cenário [R]evolução Energética, 1.485 PJ por ano são salvos em 2050 – 25% em comparação com o cenário de referência.

A figura 6.9 mostra o desenvolvimento de fontes energéticas para aquecimento em função do tempo. A biomassa continuará com a maior participação renovável. Depois de 2020, o crescimento de coletores solares para aquecimento de água e o aproveitamento de energia geotérmica reduzem a dependência de combustíveis fósseis.

figura 6.9: demanda final de energia por fonte em ambos os cenários



### 6.7 transportes

Apesar do grande crescimento do setor de transportes, é possível limitar o consumo de energia aos níveis atuais no cenário [R]evolução Energética.

A dependência de combustíveis fósseis, que hoje respondem por 80% desse suprimento, deve diminuir por conta do uso de 29% de fontes renováveis em 2030 e 40% em 2050. A participação da eletricidade no setor de transportes alcançará 7% em 2050.

Medidas de eficiência veicular também vão influenciar o setor automobilístico. Uma transição para o uso de carros menores e mais leves, contrariando a atual tendência do brasileiro de adquirir carros maiores, juntamente com o aumento de quilômetros percorridos por litro de combustível resultarão em economias significativas de energia.

Mas o cenário também prevê a necessidade de acelerar a transição do modal, atualmente muito dependente de carros de passeio, para ônibus, trens, metrô e transportes não motorizados (a pé e por bicicleta) nas áreas urbanas.

figura 6.10: consumo final de energia no setor de transportes em ambos os cenários

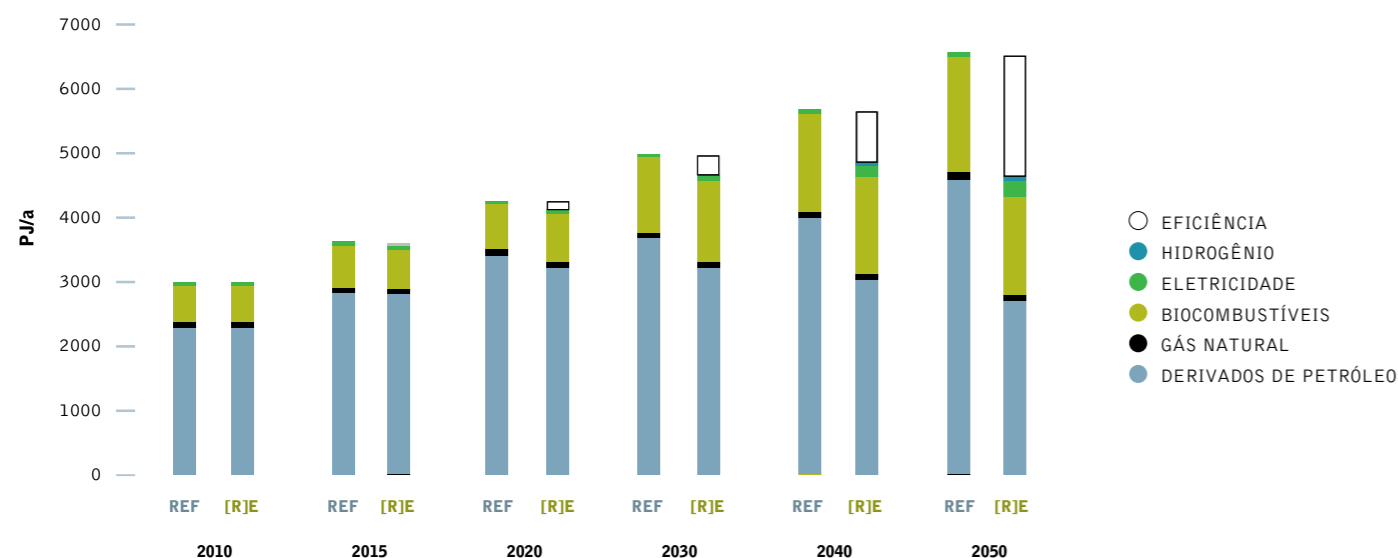


tabela 6.5: demanda de energia no setor de transportes por modais em ambos os cenários

PJ/a		2010	2020	2030	2040	2050
Ferroviário	REF	44	91	125	156	191
	[R]E	44	79	101	102	87
Rodoviário	REF	2.674	3.786	4.360	4.844	5.443
	[R]E	2.674	3.660	4.129	4.201	3.887
Aéreo	REF	136	251	340	432	546
	[R]E	136	241	306	369	409
Aquaviário	REF	58	80	104	194	329
	[R]E	58	78	97	151	225
Total	REF	2.912	4.208	4.929	5.626	6.509
	[R]E	2.912	4.058	4.632	4.823	4.608

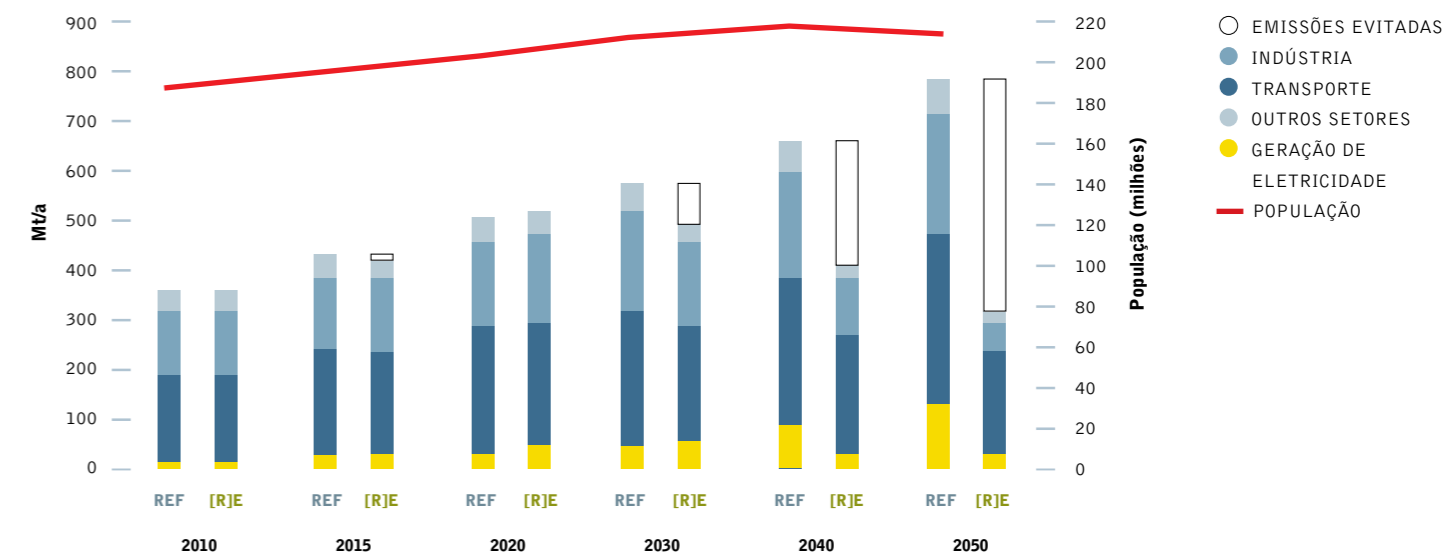
### 6.8 evolução das emissões de CO<sub>2</sub>

De acordo com o PDE (Plano Decenal de Expansão Elétrica) 2012-2021, as emissões do setor energético devem superar os 600 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente em 2020. A projeção da matriz energética no cenário de referência indica que esse valor pode atingir 777 milhões de toneladas até 2050.

Pelo cenário [R]evolução Energética, as emissões do setor energético saem de 358 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2010, atingem o pico de 512 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano em 2020 e caem para 312 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2050. Apesar do aumento da frota de veículos, da atividade industrial e do parque gerador de eletricidade, essa redução é possível graças à substituição das termelétricas pela ampliação do parque de usinas renováveis, ao uso de biocombustíveis e eletricidade em veículos, à redução do consumo fóssil na indústria e da redução do uso de energia como um todo, em virtude de medidas de eficiência energética em todos os setores.

O aumento de emissões acompanhará o crescimento da economia, mas o uso final de energia pode seguir a tendência de redução em um horizonte mais amplo de tempo, após o período de análise, com menor uso de combustíveis fósseis no setor de transportes, ampliação de novas fontes renováveis, como a oceânica, difusão de tecnologias de armazenamento de energia e aumento de ganhos de eficiência energética ao longo do tempo.

figura 6.11: evolução de emissões de CO<sub>2</sub> por setores em ambos os cenários

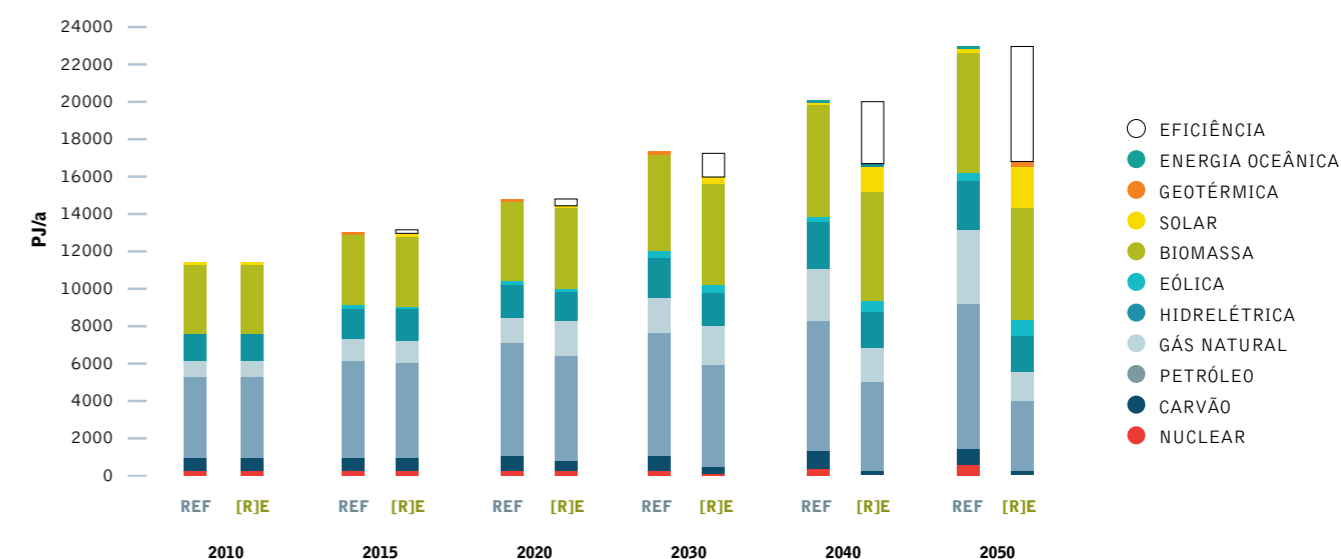


### 6.9 consumo de energia primária

A figura 6.12 mostra o consumo de energia primária resultante do cenário [R]evolução Energética. Nesse cenário, a demanda global de energia primária crescerá 49% em relação aos níveis atuais, de 11.347 para 16.930 PJ por ano em 2050. **O total é 27% inferior ao cenário de referência, que registrará 23.060 PJ em 2050.**

O cenário [R]evolução Energética indica uma participação de fontes renováveis de 50% em 2030 e 67% em 2050. Nessa projeção, quase todo o fornecimento de energia elétrica, incluindo a maior parte da energia utilizada em edifícios e na indústria, viria de renováveis. O setor dos transportes, em particular modais aéreos e marítimos, seria o último setor a reduzir o uso de combustíveis fósseis.

figura 6.12: projeção da demanda de energia primária em ambos os cenários





## O CAMINHO PARA A REVOLUÇÃO ENERGÉTICA

**A capacidade instalada de tecnologias renováveis crescerá de 92 mil MW em 2010 para 396 mil MW em 2050.**

Aumentar a capacidade renovável em mais de quatro vezes nos próximos 40 anos exige investimento da iniciativa privada, interesse do consumidor e apoio governamental por meio de instrumentos políticos.

O Brasil conta atualmente com sistemas de leilão para a ampliação da participação de energia renovável, sem que haja vínculo legal para a obrigatoriedade e a regularidade de sua realização. Para criar efetivamente um mercado de fontes renováveis é preciso que se estabeleça uma política com pacotes de incentivos mais abrangentes e ambiciosos. No caso de combustíveis para indústria e transportes, o mesmo deve ser feito para que seja reduzida a dependência de fontes fósseis e se desenvolvam aplicações de energias renováveis e uso de eletricidade em veículos.

Para viabilizar economicamente o crescimento das fontes renováveis modernas, é extremamente importante uma introdução equilibrada e coordenada de todas as tecnologias disponíveis. Como o setor energético trabalha com ciclos longos de investimentos, as decisões para reestruturar o sistema de oferta devem ser tomadas imediatamente. Esse movimento depende tanto de aspectos técnicos e econômicos quanto de políticas públicas.

O cenário [R]evolução Energética propõe:

- A eliminação da tecnologia nuclear e da utilização de combustíveis fósseis mais poluentes – como diesel, carvão e óleo combustível – para a geração de eletricidade. Como compensação, ampliação do uso de fontes renováveis, como energia eólica e biomassa, e novas e eficientes usinas a gás natural operando em ciclo combinado. O gás ocupa um papel importante na transição da matriz elétrica atual para uma estruturada em torno das tecnologias renováveis sustentáveis, com tendência a reduzir sua participação após 2030;
- A diversificação da matriz elétrica, com redução da participação da energia hidrelétrica. Em virtude de preocupações ambientais, o crescimento da capacidade instalada de energia hídrica deverá vir principalmente de PCHs (pequenas centrais hidrelétricas) construídas e operadas nos critérios de sustentabilidade previamente comentados. A geração hidrelétrica deve crescer moderadamente nas próximas décadas e sua participação na geração de energia será reduzida de 78%, em 2010, para 40%, em 2050;

- O aumento do uso de biomassa e biocombustíveis, que deve triplicar entre 2010 e 2050, tanto para a produção de eletricidade quanto para combustíveis em transportes. Essa expansão deve ocorrer dentro dos critérios socioambientais. A produção de biocombustíveis deve ser diversificada, utilizando diferentes culturas além da cana-de-açúcar e do óleo de soja para biodiesel. O mesmo vale para a bioeletricidade, produzida também por outros resíduos além do bagaço de cana;
- Expansão do uso da energia eólica, que deverá produzir 279 TWh/ano, ou 21% da matriz elétrica em 2050. Esse aproveitamento inclui a participação de 67 TWh de eólica *offshore*, que inicia sua expansão a partir de 2035. Vale ressaltar que a energia produzida aproveitaria menos de um quarto do potencial teórico estimado para a fonte, considerando apenas projetos com reduzidos impactos socioambientais e sem conflitos no uso de terras;
- A ampliação da indústria de painéis solares fotovoltaicos, que iniciam sua participação na matriz de forma modesta, mas devem encerrar o horizonte de análise com o maior crescimento, gerando 178 TWh/ano em 2050, ou 13%. Essa geração virá tanto de sistemas solares de grande porte, quanto da geração descentralizada em áreas urbanas e em comunidades isoladas da rede elétrica. A energia solar deve contribuir com a geração de grande porte também por meio de usinas heliotérmicas, cuja viabilidade deve aumentar na segunda metade do horizonte de análise, até atingir uma participação de 9,8% na geração, com 130 TWh em 2050;
- A utilização de parte da geração intermitente de energia de painéis solares e parques eólicos para alimentar a crescente participação de veículos elétricos no mercado, a partir da próxima década, até atingir uma frota de 35 milhões de veículos, que devem consumir 88 TWh em 2050;
- Maior eficiência energética, que começaria com reduções de consumo de 3,4% em 2010 até o final da década e atingiria 13% de economia na década de 2050, com benefícios socioambientais e econômicos. A aplicação de medidas de eficiência implicaria custos menores do que os de investimentos na ampliação da geração de energia;
- A redução no consumo de eletricidade. Como exemplo, por meio do uso de equipamentos elétricos eficientes em todos os setores de consumo, principalmente na indústria, residências e estabelecimentos comerciais, da substituição de lâmpadas incandescentes por compactas fluorescentes e LEDs, da utilização de refrigeradores mais eficientes e a substituição de chuveiros elétricos por aquecedores solares de água. O uso da arquitetura bioclimática em edificações cujos projetos privilegiam a entrada de luz natural e a circulação do ar apresenta ótimo resultado, reduzindo gastos energéticos na iluminação e na refrigeração de ambientes internos.

## empregos



imagem PARQUE EÓLICO DE OSÓRIO, RIO GRANDE DO SUL.

## 7.1 metodologia do cálculo de empregos

O ISF (Instituto para Futuros Sustentáveis) analisou o comportamento do mercado de trabalho do setor energético nos relatórios [R]evolução Energética publicados internacionalmente em 2008 e em 2012<sup>34</sup>. A mesma metodologia aplicada nesses cenários foi usada para calcular empregos no setor de energia para o Brasil, tanto no cenário de referência quanto no [R]evolução Energética.

Para ambos os cenários, a geração de empregos no Brasil foi projetada para três períodos: 2015, 2020 e 2030. Para chegar ao resultado, utilizou-se variáveis como multiplicadores de emprego, a projeção da geração de eletricidade, da capacidade instalada, da capacidade de coletores solares e do consumo primário de gás natural, óleo, carvão e biomassa. Os resultados obtidos nos cenários energéticos [ver capítulo 6] foram utilizados como diretrizes para a modelagem da projeção de empregos.

A metodologia inclui apenas empregos diretos, ou seja, postos de trabalho na construção civil, fabricação, operação e manutenção e fornecimento de combustível associado à geração de eletricidade e fornecimento de calor. Empregos indiretos não foram incluídos nos cálculos. Em geral, são empregos nas indústrias secundárias que atendem a indústria primária. Os resultados também não incluem empregos induzidos, resultantes de movimentação de recursos obtidos nas indústrias primárias.

Neste capítulo, optou-se por não incluir a estimativa de empregos na área de eficiência energética devido ao grau de incerteza nesse setor. Uma descrição mais detalhada da metodologia pode ser encontrada em Rutovitz & Harris (2012a).

## 7.2 visão geral

**As diretrizes para o cálculo de empregos para cada cenário<sup>35</sup> incluem:**

- Capacidade instalada por ano para cada tecnologia;
- A demanda de energia primária de carvão, de gás e de biomassa nos setores de energia elétrica e de aquecimento;
- A eletricidade gerada por ano em energia nuclear, petróleo e diesel.

**As diretrizes para cada fonte energética e tecnologia para cada cenário incluem:**

- “Fatores de emprego”, ou seja, o número de postos de trabalho por capacidade instalada, separados em atividades de fabricação, construção, operação e manutenção, e por energia primária para abastecimento de combustível;
- Um “fator de redução” para cada tecnologia aplicado aos cálculos de 2020 e 2030. Um determinado percentual anual é reduzido dos fatores de emprego para refletir a melhoria da eficiência da tecnologia, o que reduz o número de postos de trabalho;
- O percentual de produção local e produção doméstica de combustíveis, a fim de calcular o número de empregos de produção de combustíveis;
- A porcentagem do comércio mundial que se origina no país, para óleo e gás natural, bem como componentes de energias renováveis;
- Um “multiplicador regional de empregos”, usado para ajustar os fatores de emprego da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, da sigla em inglês). O multiplicador regional indica como as atividades econômicas intensivas em mão de obra se comportam no Brasil em comparação à OECD e é utilizado para ajustar os fatores de emprego para refletir a tendência de que mais empregos são criados em economias mais intensivas em trabalho, como é o caso brasileiro. Quando disponíveis, foram usados dados nacionais, provenientes de diferentes fontes;
- Os números de aumento de capacidade instalada e de geração de energia dos dois cenários multiplicados pelos fatores de emprego para cada uma das fontes energéticas e tecnologias, bem como a proporção de combustíveis produzidos ou componentes fabricados nacionalmente. O cálculo é resumido na figura 7.1.

### referência

<sup>34</sup> O GREENPEACE BRASIL JÁ PUBLICOU DOIS CENÁRIOS [RIEVOLUÇÃO ENERGÉTICA E, INTERNACIONALMENTE, O GREENPEACE INTERNACIONAL JÁ PUBLICOU QUATRO CENÁRIOS, EM PARCERIA COM O EREC (CONSELHO EUROPEU DE ENERGIAS RENOVÁVEIS). ESSES CENÁRIOS COMPARAM UM CENÁRIO DE BAIXO CARBONO A UM CENÁRIO DE REFERÊNCIA COM BASE EM PROJEÇÕES DA IEA (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA), PUBLICADAS NO RELATÓRIO ANUAL WORLD ENERGY OUTLOOK.

<sup>35</sup> COM UM CENÁRIO DE REFERÊNCIA COM BASE EM PROJEÇÕES DA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA

figura 7.1: cálculo de empregos do setor energético: visão geral

<b>FABRICAÇÃO (LOCAL)</b>	=	MW INSTALADOS POR ANO	×	FATOR DE EMPREGOS DE FABRICAÇÃO	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS	×	% DE FABRICAÇÃO LOCAL
<b>FABRICAÇÃO (PARA EXPORTAÇÃO)</b>	=	MW EXPORTADOS POR ANO	×	FATOR DE EMPREGOS DE FABRICAÇÃO	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS		
<b>CONSTRUÇÃO</b>	=	MW INSTALADOS POR ANO	×	FATOR DE EMPREGOS DE FABRICAÇÃO	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS		
<b>OPERAÇÃO &amp; MANUTENÇÃO</b>	=	CAPACIDADE ACUMULADA	×	FATOR DE EMPREGO EM O&M	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS		
<b>COMBUSTÍVEL (NUCLEAR)</b>	=	GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	×	FATOR DE EMPREGOS PARA COMBUSTÍVEL	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS		
<b>COMBUSTÍVEL (GÁS, CARVÃO &amp; BIOMASSA)</b>	=	DEMANDA DE ENERGIA PRIMÁRIA	×	FATOR DE EMPREGOS PARA COMBUSTÍVEL	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS	×	% DE FABRICAÇÃO LOCAL
<b>SUPRIMENTO DE CALOR</b>	=	MW INSTALADOS POR ANO	×	FATOR DE EMPREGOS PARA CALOR	×	MULTIPLICADOR REGIONAL DE EMPREGOS		
<b>EMPREGOS</b>	=	<b>FABRICAÇÃO</b>	+	<b>CONSTRUÇÃO</b>	+	<b>OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&amp;M)</b>	+	<b>COMBUSTÍVEL</b> + <b>CALOR</b>
<b>FATORES DE EMPREGO EM 2020 OU 2030</b>	=	<b>FATORES DE EMPREGO EM 2010</b>	×	<b>FATOR DE DECLÍNIO DA TECNOLOGIA</b>	<small>(EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANOS)</small>			

## 7.3 limitações

Os números de trabalho apresentados são apenas indicativos, uma vez que muitas hipóteses são utilizadas nos cálculos. Dados quantitativos de empregos com base em pesquisas atuais são difíceis de serem obtidos, por isso não é possível utilizar dados de séries temporais na metodologia – o mesmo é válido em relação aos dados atuais. Há também algumas áreas significativas de emprego que não foram incluídas, como ações de eficiência energética. No entanto, dentro dos limites da disponibilidade de dados, os valores apresentados são indicativos dos níveis de emprego nos setores da eletricidade e calor tanto para o cenário de referência quanto para o [R]evolução Energética.

No setor de fornecimento de calor, apenas uma estimativa parcial dos empregos foi incluída, uma vez que empregos nas áreas de biomassa, gás e carvão incluem somente trabalhos de abastecimento de combustível, em que o calor é fornecido diretamente, enquanto os trabalhos na produção de calor de energia solar incluem, principalmente, fabricação e instalação.

## 7.4 fatores de emprego

Os fatores de emprego utilizados na análise brasileira são apresentados na tabela 7.1 com a menção das principais fontes de dados. Os fatores locais [ver na página seguinte] são usados para o abastecimento de combustível de biomassa, operação e manutenção de energia nuclear, operação e manutenção de hidrelétricas e aquecimento solar térmico. Todos os outros fatores foram extraídos da análise global de 2012 da OECD (Rutovitz & Harris, 2012a).



tabela 7.1: fatores de emprego

	TEMPO DE CONSTRUÇÃO Anos	CONSTRUÇÃO / INSTALAÇÃO Empregos por ano/MW	FABRICAÇÃO Empregos/MW	OPERAÇÃO & MANUTENÇÃO Empregos/MW	COMBUSTÍVEL – DEMANDA DE ENERGIA PRIMÁRIA Empregos/PJ	
Carvão	5	7.7	3.5	0.1	22.8	Nota 1
Gás natural	2	1.7	1.0	0.1	21.9	Nota 2
Nuclear	10	19.6	1.3	1.1	0.0009*	Nota 3
Biomassa	2	14.0	2.9	1.5	81	Nota 4
Hidrelétricas	4	6.0	1.5	0.6		Note 5
Pequenas centrais hidrelétricas	2	31.1	5.5	1.6		Nota 6
Eólicas <i>onshore</i>	2	7.7	3.3	0.6		Nota 7
Eólicas <i>offshore</i>	4	7.1	10.7	0.2		Nota 7
Solar fotovoltaica	1	10.9	6.9	0.3		Nota 8
Geotérmica	2	6.8	3.9	0.4		Nota 9
Energia solar concentrada (CSP)	2	8.9	4.0	0.5		Nota 10
Oceânica	2	9.0	1.0	0.3		Nota 11
Geotérmica - aquecimento	3.0 empregos/MW (construção e fabricação)					Nota 12
Aquecimento solar	7.4 empregos /MW (construção e fabricação)					Nota 13
Cogeração	Tecnologias de cogeração usam o fator para cada fonte, acrescentadas por um fator de 1,5 para operação & manutenção					
Óleo e diesel	Usam o fator de empregos para gás natural					

\* Empregos por GWh

**Notas sobre fatores de empregos**

- Carvão: construção civil, indústria e fatores de O&M obtidos pelo modelo JEDI (National Renewable Energy Laboratory, 2011a).
- Petróleo, gás e diesel: fatores de instalação e produção obtidos pelo modelo JEDI (National Renewable Energy Laboratory, 2011b). O fator de O&M é uma média entre o número do relatório de 2010 (Rutovitz & Usher, 2010), o modelo JEDI, um estudo norte-americano (National Commission on Energy Policy, 2009) e pesquisas da ISF (Rutovitz & Harris, 2012a). O fator de combustível por PJ é a média ponderada de empregos de produção de gás de EUA, Canadá e Rússia, derivados de informações norte-americanas e canadenses (America's Natural Gas Alliance 2008; IHS Global Insight Canada Ltd 2009; Zubov 2012).
- Nuclear: Fatores de O&M e construção são derivados de dados locais (Eletronuclear, Eletronuclear 2009). O complexo de Angra tem 2.308 funcionários para a capacidade instalada de 2.007 MW das duas usinas, enquanto a empresa estima uma média de 5.000 trabalhadores para a construção dos 1.405 MW de Angra 3, durante 5 anos e meio. O fator de fabricação é a média dos dois relatórios do Reino Unido (relatados em Rutovitz & Harris, 2012b). O fator de combustível foi obtido pela ISF em 2009 (Rutovitz & Atherton, 2009).
- Bioenergia: o emprego resultante da produção de combustíveis por PJ de energia primária é derivado dos 37 mil empregos contabilizados e da produção de 28,5 milhões de toneladas no setor da biomassa (Abib, 2012). Este é convertido para 456 PJ, utilizando um fator de 16 GJ por tonelada. Fatores de emprego para construção civil, fabricação e O&M utilizam os valores médios de vários estudos europeus e americanos (Kjaer, 2006; Thornley, 2006; Thornley et al., 2008; Tourkolias & Mirasgedis, 2011; Moreno & López, 2008; Thornley et al., 2009).
- Hidrelétricas: o fator de O&M foi obtido de um total de 32 GW de capacidade instalada. As três empresas empregam pouco mais de 19 mil pessoas (Chesf, 2013; Cesp, 2012; Itaipu Binacional, 2013). Uma vez que apenas o número de empregados em períodos de pico das construções está disponível, fatores da OECD foram usados para as áreas de construção civil e fabricação (Navigant Consulting, 2009).
- Pequenas centrais hidrelétricas: o fator de O&M baseia-se em estudo de empregos de PCHs (Tiago Filho et al., 2008.). O fator de construção provém de dois projetos: um estudo prospectivo de uma usina de 25 MW em Paracambi, e uma usina de 45 MW na Guatemala (PCH Paracambi, 2010; Conselho Executivo de MDL, 2005). Os fatores de fabricação resultaram da média dos valores de um

- estudo canadense (Pembina Insitute, 2004), do modelo JEDI e de um estudo americano (Navigant Consulting, 2009), com números referentes a grandes e pequenas hidrelétricas.
- Eólica: os fatores para a energia eólica *onshore* foram extraídos de uma dissertação de mestrado da Universidade de São Paulo (Simas, 2012). Eólica *offshore* utiliza fatores da OECD, de um relatório alemão (Price Waterhouse Coopers, 2012).
- Solar fotovoltaica: o fator de empregos por instalação é a média de cinco estimativas na Alemanha e nos EUA, enquanto a fabricação é extraída do modelo JEDI, de um estudo grego (Tourkolias & Mirasgedis, 2011), um relatório coreano (Korea Energy Management Corporation, Kemco & New and Renewable Energy Center, 2012), e a pesquisa da ISF para o Japão (Rutovitz & Ison 2011).
- Geotérmica: o fator de construção e instalação e de O&M é derivado de um estudo realizado por Sinclair Knight Merz (2005). Os fatores de O&M são médias ponderadas dos dados de emprego relatados por treze usinas, totalizando 1.050 MW nos EUA, Canadá, Grécia e Austrália (alguns deles hipotéticos). O fator de fabricação é derivado de um estudo americano (Geothermal Energy Association, 2010).
- Energia solar térmica: dados da OECD de construção e O&M foram obtidos a partir de uma média ponderada de 19 usinas, totalizando 3.223 MW, nos EUA, Espanha e Austrália (Rutovitz & Harris, 2012a). O fator de fabricação foi obtido por meio do Conselho Europeu de Energias Renováveis (2008).
- Energia oceânica: o fator de construção utilizado neste estudo é uma projeção conjunta de energia de ondas e marés derivado de dados de energia eólica *offshore* (Batten & Bahaj, 2007). Um estudo da tecnologia Wave Dragon forneceu o fator de O&M.
- Bombas geotérmicas e de calor: um fator global foi usado para postos de trabalho por MW instalados, do relatório anual da EIA (USA Energy Information Administration, 2010), ajustado para incluir a instalação usando dados da WaterFurnace (WaterFurnace, 2009).
- Aquecimento térmico solar: utilizou-se um fator global para empregos por MW instalado, o que pode subestimar o total de postos de trabalho, pela ausência de números O&M. O valor global é proveniente do relatório do programa de aquecimento e refrigeração da IEA (International Energy Agency Solar Heating and Cooling Program, 2011).

**7.5 fatores regionais de ajuste**

A maior parte dos fatores de emprego disponíveis vem de países ou regiões da OECD e demanda ajustes para diferentes estágios de desenvolvimento econômico. Em termos gerais, quanto mais baixo o custo de trabalho de um país, maior será o número de trabalhadores necessários para produzir cada unidade de produto, seja este de fabricação, construção ou agricultura. Isso porque, quando os custos de trabalho são baixos, o trabalho é relativamente acessível em comparação à mecanização da produção. Baixos custos médios de trabalho estão intimamente associados a baixo PIB per capita.

Isso significa que as mudanças dos níveis de produção em um determinado setor da economia são mais suscetíveis a impactos sobre empregos em países de menor PIB per capita. Idealmente, os fatores de emprego seriam derivados de todas as tecnologias que utilizam dados locais.

Para esta projeção, foram utilizados multiplicadores regionais com base na relação entre a produtividade do trabalho no Brasil e da OECD de 3,3 em 2010, 2,9 em 2015 e 2,5 em 2030. A produtividade média do trabalho em toda a economia, excluindo a agricultura, é derivada do banco de dados dos Indicadores-Chave do Mercado de Trabalho (KILM)<sup>36</sup>. A variação projetada do PIB per capita, derivada do crescimento do PIB e os números de crescimento populacional do World Energy Outlook<sup>37</sup>, é utilizada para ajustar esses multiplicadores ao longo do tempo.

Os multiplicadores baseados em produtividade do trabalho são um pouco mais elevados do que os multiplicadores regionais derivados para a América Latina, 2,9, 2,7 e 2,4 respectivamente<sup>38</sup>.

Esses multiplicadores são comparados com a proporção de fatores nacionais reais da OECD da tabela 2. O valor médio da razão é 2 – valor conservador, que decresce em linha com os multiplicadores da produtividade do trabalho. Os fatores de ajuste regionais finais são, portanto, 2 em 2010, 1,8 em 2020 e 1,5 em 2030.

tabela 7.2: empregos: comparação de fatores nacionais e fatores dos países da OECD

	BRASIL Empregos/MW	OECD Empregos/MW	MÉDIA
O&M nuclear *	1.1	0.3	3.3
O&M hidrelétricas de grande porte*	0.6	0.3	2.1
O&M PCHs * **	1.6	2.4	0.7
O&M Eólica **	0.6	0.2	2.8
Construção nuclear ***	19.6	13.7	1.4
Construção PCHs * ***	31.1	15.0	2.1
Construção eólica **	7.7	2.5	3.1
Fabricação eólica **	3.3	6.1	0.5
<b>Fator médio</b>			<b>2</b>

**observações sobre fatores locais:**

- \*Dados atuais de empregos para usinas existentes
- \*\*Estudo local baseado em custos projetados
- \*\*\*Projeção de empresa

**7.6 comércio de carvão, gás natural e energias renováveis**

Supõe-se que toda a fabricação de tecnologias de energia, com exceção de eólica e solar fotovoltaica, ocorre no Brasil, e 50% da manufatura de tecnologias ocorre no exterior.

A proporção de carvão e gás produzido no Brasil é mostrada na tabela 7.3 para os dois cenários. A proporção de gás gerado localmente é calculada a partir da sua produção projetada no World Energy Outlook<sup>39</sup>, comparada ao consumo de gás nos dois cenários.

A proporção de carvão produzido localmente é calculada comparando a geração de carvão projetado para seu consumo nos dois cenários. Assume-se que a produção de carvão crescerá 1% ao ano, entre 2001 e 2011<sup>40</sup>.

tabela 7.3: proporção de combustíveis produzidos no Brasil

	2010	CENÁRIO DE REFERÊNCIA			CENÁRIO TRIEVOLUÇÃO ENERGÉTICA		
		2015	2020	2030	2015	2020	2030
Carvão	14%	13%	13%	12%	14%	15%	22%
Gás natural	56%	67%	83%	92%	62%	61%	77%

**7.7 ajuste de curvas de aprendizado – fator de declínio**

Fatores de emprego são ajustados de modo a considerar a redução de empregos em função da capacidade instalada com o amadurecimento de tecnologias e técnicas de produção. As curvas de aprendizado assumidas têm efeito significativo no resultado da análise e são fornecidas na tabela 7.4, na página seguinte. Essas taxas de declínio são calculadas diretamente a partir dados de custos usados na modelagem do [R]evolução Energética para o Brasil.

**referência**

- 36 ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO TRABALHO, 2011.
- 37 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2011.
- 38 RUTOVITZ & HARRIS, 2012A.
- 39 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2011.
- 40 TAXA DERIVADA DA BP, 2012.

**tabela 7.4: fator de declínio para custos de tecnologias**

DECLÍNIO ANUAL DE FATOR DE EMPREGOS			
	2010-15	2015-2020	2020-30
Carvão	0.3%	0.3%	0.5%
Gás natural	0.5%	0.5%	1.0%
Óleo combustível	0.4%	0.4%	0.8%
Diesel	0.0%	0.0%	0.0%
Nuclear	0.0%	0.0%	0.0%
Biomassa	1.6%	1.1%	0.7%
Hidrelétricas	-0.6%	-0.6%	-0.9%
Pequenas centrais hidrelétricas	-0.6%	-0.6%	-0.9%
Eólicas onshore	3.6%	2.8%	0.2%
Eólicas offshore	3.1%	7.2%	4.5%
Solar fotovoltaica	8.0%	4.4%	4.2%
Geotérmicas	3.5%	5.4%	7.3%
Energia solar concentrada (CSP)	5.6%	5.1%	2.8%
Oceânica	4.8%	6.5%	7.0%
Carvão (cogeração)	0.3%	0.3%	0.5%
Gas CHP	0.9%	0.9%	1.0%
Oil CHP	0.4%	0.4%	0.8%
Biomass CHP	2.0%	2.2%	2.2%
Geotérmica	2.6%	3.2%	4.5%
Aquecimento geotérmico	0.0%	0.2%	0.9%
Aquecimento térmico solar	0.0%	0.9%	1.8%

**referências bibliográficas**

ABIB, 2012. Brazil Status Report 2012: Biomass, bioenergy and renewable energy, America's Natural Gas Alliance, 2008. Natural Gas: Working for America.

Batten, W.M.J. & Bahaj, A.S., 2007. An assessment of growth scenarios and implications for ocean energy industries in Europe. In Seventh European Wave and Tidal Energy Conference. Porto, Portugal.

BP, 2012. BP Statistical Review of World Energy: June 2012.

CDM Executive Board, 2005. Guatemala: Las Vacas Hydroelectric Project,

CESP, 2012. Relatório de Sustentabilidade 2012.

CHESF, 2013. Gestão de Recursos Hídricos. Available at: [www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf\\_portal/paginas/sistema\\_chesf/sistema\\_chesf\\_bacias/container\\_bacias](http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_bacias/container_bacias) [Accessed June 19, 2013].

Electrobras Electronuclear, 2009. Relatório de Sustentabilidade 2009,

European Renewable Energy Council, 2008. Renewable energy technology roadmap. 20% 2020,

Filho, G.L.T. et al., 2008. Impactos sócio-econômicos das pequenas centrais hidrelétricas inseridas no programa de incentivo as fontes alternativas de energia (Proinfa). Revista Brasileira de Energia, 14(1), pp.145-166.

Geothermal Energy Association, 2010. Green Jobs Through Geothermal Energy,

GSPR Brazil, 2008. The National Commitment to Improve Labor Conditions in the Sugarcane Activity,

IHS Global Insight (Canada) Ltd, 2009. The Contributions of the Natural Gas Industry to the Canadian National and Provincial Economies,

International Energy Agency, 2007. World Energy Outlook 2007, Paris: OECD/IEA.

International Energy Agency, 2011. World Energy Outlook 2011, Paris: OECD/IEA.

International Energy Agency Solar Heating and Cooling Program, 2011. Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to Energy Supply 2009,

International Labour Organization, 2011. Key Indicators of the Labour Market (KILM), 7th edition.

ITAIPIU BINACIONAL, 2013. Human Resources - Number of employees. Available at: [www.itaipu.gov.br/en/human-resources/number-employees](http://www.itaipu.gov.br/en/human-resources/number-employees) [Accessed June 19, 2013].

Kjaer, T., 2006. Socio-economic and regional benefits. Employment assessment. Regenergy,

Korea Energy Management Corporation (KEMCO) & New and Renewable Energy Center (NREC), 2012. Overview of new and renewable energy in Korea 2012,

Moreno, B. & López, A.J., 2008. The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(3), pp.732-751.

National Commission on Energy Policy, 2009. Task Force on America's Future Energy Jobs,

National Renewable Energy Laboratory, 2011a. Jobs and Economic Development Model (JEDI) - Coal model: Release Number: C1.11.1.

National Renewable Energy Laboratory, 2011b. Jobs and Economic Development Model (JEDI) - Gas model: Release Number: NG1.11.01.

National Renewable Energy Laboratory, 2011c. Jobs and Economic Development Model (JEDI) - Marine and Hydrokinetic model: Release Number: MH1.11.01.

National Renewable Energy Laboratory, 2010. Jobs and Economic Development Model (JEDI) - Photovoltaics model: Release Number: PV10.17.11.

Navigant Consulting, 2009. Job Creation Opportunities in Hydropower,

PCH Paracambi, 2010. Started works on the PCH Paracambi. Available at: <http://www.pchparacambi.com.br/o-empendedor/a-obra/comecaram-as-obras-da-pch-em-paracambi> [Accessed June 20, 2013].

Pembina Insitute, 2004. Canadian renewable electricity development : employment Impacts,

Price Waterhouse Coopers, 2012. Volle Kraft aus Hochseewind,

Rutovitz, J. & Atherton, A., 2009. Energy Sector Jobs to 2030: A global analysis. , Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.

Rutovitz, J. & Harris, S., 2012a. Calculating Global Energy Sector Jobs: 2012 methodology. , Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.

Rutovitz, J. & Harris, S., 2012b. Chapter 7 in "The advanced energy [R]evolution. A sustainable energy outlook for South Korea" , Prepared for Greenpeace International and European Renewable Energy Council by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.

Rutovitz, J. & Ison, N., 2011. Chapter 2 in "The advanced energy [R]evolution. A sustainable energy outlook for Japan." 2nd ed. C. Aubrey & C. Chisholm, eds., Prepared for Greenpeace International and European Renewable Energy Council by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.

Rutovitz, J. & Usher, J., 2010. Methodology for Calculating Energy Sector Jobs, Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.

Simas, M.S., 2012. Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada,

Sinclair Knight Merz, 2005. Review of current and future personnel capability requirements of the NZ geothermal industry.

Soerensen, H.C., 2008. Co-ordination action on ocean energy, Work Session 5 Environmental, Economics, Development Policy and Promotion of Opportunities. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).

Thornley, P. et al., 2009. Integrated assessment of bioelectricity technology options. Energy Policy, 37(3), pp.890-903.

Thornley, P., 2006. Life Cycle Assessment of Bioenergy Systems,

Thornley, P., Rogers, J. & Huang, Y., 2008. Quantification of employment from biomass power plants. Renewable Energy, 33(8), pp.1922-1927.

Tourkolias, C. & Mirasgedis, S., 2011. Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(6), pp.2876-2886.

USA Energy Information Administration, 2010. Solar Thermal Collector Manufacturing Activities 2009,

WaterFurnace, 2009. Renewable energy is poised to contribute to economic recovery and long-term energy goals (press release).

Zubov, A.N., 2012. Personal communication, 29-5-2012.

**7.8 geração de empregos no setor de eletricidade**

O número de empregos criados no setor de eletricidade são mais altos no cenário [R]evolução Energética do que no cenário de referência no final do horizonte de projeção, em 2030.

O número de empregos, de 456 mil em 2010, continua estável até 2015, com leve vantagem para o cenário de referência. Nesse ano, o cenário de referência apresenta 463 mil empregos, 10 mil a mais que no cenário [R]evolução Energética.

De 2015 em diante, o crescimento do cenário [R]evolução Energética contribui para o aumento desse índice em 9% (40 mil empregos) em relação a 2010 e um crescimento de 30% (137 mil) em 2030. A elevação do número de empregos no cenário de referência é mais modesta, de 2% (11 mil) entre 2010 e 2020 e 14% (63 mil) em 2030.

Em 2020, haverá cerca de 497 mil empregos no cenário [R]evolução Energética, 29 mil a mais que no cenário de referência. Em 2030, o número de empregos no cenário [R]evolução Energética chega a 594 mil, enquanto no cenário de referência atingem-se 520 mil postos de trabalho.

A tabela 7.5 mostra a alteração da criação de empregos em ambos os cenários para cada fonte energética entre 2010 e 2030. O crescimento de empregos é de 14% no cenário de referência. No cenário [R]evolução Energética, os empregos crescem 30% até 2030. As fontes renováveis representam 91% dos empregos em 2030, com as maiores participações vindas da biomassa (52%), seguida do aquecimento solar (8%) e da energia eólica (6%).

**tabela 7.5: geração de empregos por fonte em ambos os cenários**

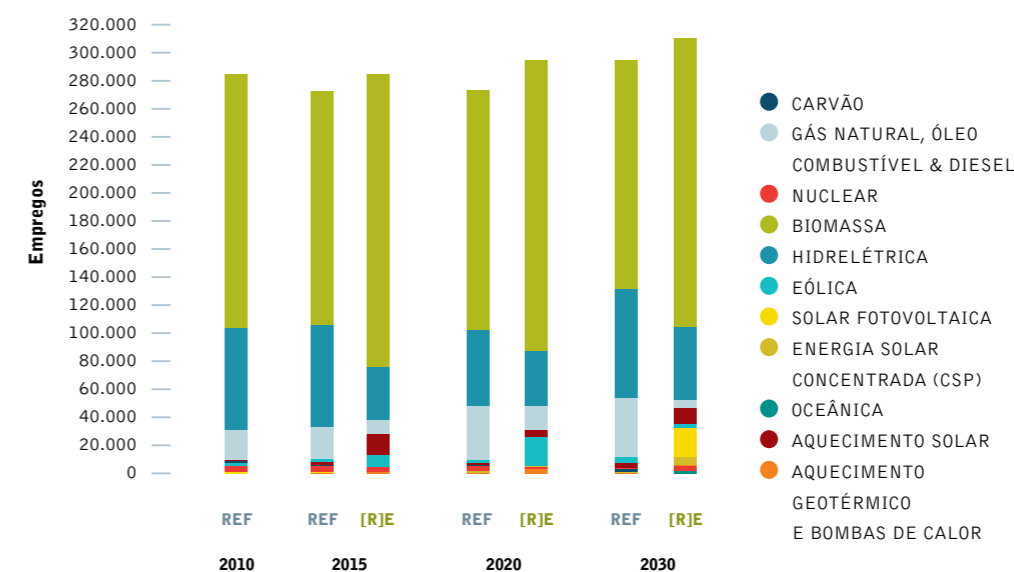






imagem USINA DE COGERAÇÃO QUE UTILIZA CAVACO DE MADEIRA COMO COMBUSTÍVEL EM ITACOATIARA, AMAZONAS

cenário de referência

tabela 8.1: geração de eletricidade

TWh/a	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Usinas</b>	<b>465</b>	<b>657</b>	<b>832</b>	<b>1.049</b>	<b>1.263</b>
- Carvão	0,4	2	5	6	7
- Gás natural	29	55	86	178	294
- Óleo combustível	2	3	3	3	3
- Diesel	6	3	3	3	3
- Nuclear	15	27	27	43	58
- Biomassa	8	9	11	18	26
- Hidrelétrica	403	527	636	706	741
- Eólica	2	30	57	80	104
- das quais offshore	0	0	1	3	9
- Solar fotovoltaica	0	0,7	2	5	14
- Solar concentrada (CSP)	0	0	2	6	10
- Energia oceânica	0	0	0	1	3
<b>Cogeração</b>	<b>50</b>	<b>74</b>	<b>89</b>	<b>94</b>	<b>99</b>
- Carvão	7	12	13	11	11
- Gás natural	12	15	17	19	20
- Óleo combustível	8	15	16	14	14
- Biomassa & resíduos	24	32	44	50	55
<b>Geração Total</b>	<b>516</b>	<b>730</b>	<b>921</b>	<b>1.143</b>	<b>1.362</b>
- Fossil	64	105	142	234	351
- Carvão	7	14	18	17	18
- Gás natural	41	70	103	197	314
- Óleo combustível	10	18	19	17	17
- Diesel	6	3	3	3	3
- Nuclear	15	27	27	43	58
- Renováveis	437	599	752	866	952
- Hidrelétrica	403	527	636	706	741
- Eólica	2	30	57	80	104
- Solar fotovoltaica	0	1	2	5	14
- Biomassa	31	41	55	68	81
- Solar concentrada (CSP)	0	0	2	6	10
- Energia Oceânica	0	0	0	1	3
Importação	36	40	30	20	30
Exportação	1	5	6	9	11
Perdas de distribuição	86	116	143	168	188
Eletricidade para autoconsumo	27	29	33	38	46
Eletricidade para produção de hidrogênio	0	0	0	0	0
<b>Consumo final de eletricidade</b>	<b>438</b>	<b>620</b>	<b>769</b>	<b>948</b>	<b>1.147</b>
Energia renovável fluuante (fotovoltaica, eólica, oceânica)	2	31	59	86	121
Participação de energia renovável fluuante	0,4%	4,2%	6,4%	7,5%	8,9%
<b>Participação renovável</b>	<b>84,7%</b>	<b>82,0%</b>	<b>81,7%</b>	<b>75,8%</b>	<b>69,9%</b>

tabela 8.2: fornecimento de calor

PJ/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Calor de cogeração</b>	<b>64</b>	<b>151</b>	<b>256</b>	<b>290</b>	<b>325</b>
- Combustíveis fósseis	35	86	129	134	142
- Biomassa	29	66	127	156	182
<b>Calor direto</b>	<b>3.304</b>	<b>4.001</b>	<b>4.572</b>	<b>5.152</b>	<b>5.717</b>
- Combustíveis fósseis	1.482	1.892	2.206	2.477	2.752
- Biomassa	1.507	1.708	1.887	2.123	2.340
- Coletores solares	15	38	60	82	105
- Bombas de calor <sup>1</sup>	0	2	3	5	7
- Eletricidade <sup>2</sup>	299	362	415	465	514
- Hidrogênio	0	0	0	0	0
<b>Fornecimento total de calor</b>	<b>3.368</b>	<b>4.152</b>	<b>4.828</b>	<b>5.442</b>	<b>6.042</b>
- Combustíveis fósseis	1.518	1.977	2.336	2.611	2.894
- Biomassa	1.536	1.774	2.014	2.279	2.522
- Coletores solares	15	38	60	82	105
- Bombas de calor <sup>1</sup>	0	0	0	0	0
- Eletricidade <sup>2</sup>	0	2	3	5	7
- Hidrogênio	299	362	415	465	514
<b>Participação renovável</b>	<b>53,6%</b>	<b>50,8%</b>	<b>50,0%</b>	<b>50,0%</b>	<b>49,5%</b>

1 - CALOR DE ENERGIA DO AMBIENTE E USO DE ELETRICIDADE  
2 - CALOR DE AQUECIMENTO ELÉTRICO DIRETO

tabela 8.3: emissões de CO<sub>2</sub>

Milhões de toneladas/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Usinas termelétricas</b>	<b>20</b>	<b>31</b>	<b>46</b>	<b>86</b>	<b>134</b>
- Carvão	0	2	5	6	7
- Gás natural	13	25	38	76	123
- Óleo combustível	2	2	2	2	2
- Diesel	4	2	2	2	2
<b>Centrais a cogeração</b>	<b>21</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>37</b>
- Carvão	8	13	14	12	11
- Gás natural	7	9	11	13	15
- Óleo combustível	6	11	12	11	10
<b>Intensidade de CO<sub>2</sub> (g/kWh)</b>					
- Geração de eletricidade de fontes fósseis	628	615	584	520	485
- Geração de eletricidade total	78	88	90	106	125
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> por setor</b>	<b>358</b>	<b>506</b>	<b>570</b>	<b>656</b>	<b>777</b>
- Aumento em % em comparação a 1990 (172,37 milhões de toneladas)	208%	294%	331%	381%	451%
- Indústria <sup>1</sup>	103	140	159	173	188
- Outros setores <sup>1</sup>	41	50	57	63	70
- Transportes	170	254	273	297	343
- Geração de eletricidade <sup>2</sup>	20	31	46	86	134
- Outras conversões <sup>2</sup>	24	31	34	37	42
População (milhões)	194,9	210,4	220,5	224,4	222,8
<b>Emissões de CO<sub>2</sub> per capita (t/capita)</b>	<b>1,8</b>	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,9</b>	<b>3,5</b>

1 - INCLUINDO COGERAÇÃO 2 - INCLUINDO COGERAÇÃO 3 - REFINARIAS, TRANSFORMAÇÃO DE CARVÃO, TRANSPORTE DE GÁS NATURAL

tabela 8.4: capacidade instalada

GW	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Usinas</b>	<b>100,2</b>	<b>152,7</b>	<b>195,3</b>	<b>249,6</b>	<b>313,2</b>
- Carvão	0,2	0,4	0,9	1,3	1,9
- Gás natural	7,5	13,0	21,4	40,5	75,3
- Óleo combustível	0,3	3,0	3,0	3,0	3,0
- Diesel	1,2	2,0	2,5	3,0	3,0
- Nuclear	2,0	3,4	3,4	5,4	7,4
- Biomassa	1,0	1,3	1,6	4,0	6,0
- Hidrelétrica	87,0	114,2	136,5	151,5	160,5
- Eólica	0,9	15,0	23,9	35,3	44,1
- das quais offshore	0,0	0,0	0,2	1,0	3,0
- Solar fotovoltaica	0,0	0,4	1,1	3,0	8,0
- Solar concentrada (CSP)	0,0	0,0	0,9	2,3	3,0
- Energia Oceânica	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0
<b>Cogeração</b>	<b>8,4</b>	<b>21,6</b>	<b>27,8</b>	<b>30,0</b>	<b>32,8</b>
- Carvão	1,6	3,7	5,1	4,8	4,6
- Gás natural	1,6	3,0	3,0	3,5	3,6
- Óleo combustível	1,6	5,8	6,8	7,0	7,0
- Biomassa & resíduos	3,5	9,1	12,9	14,7	17,6
<b>Capacidade Instalada Total</b>	<b>108,6</b>	<b>174,4</b>	<b>223,1</b>	<b>279,5</b>	<b>346,0</b>
- Fossil	14,1	30,9	42,7	63,1	98,4
- Carvão	1,8	4,1	6,0	6,1	6,5
- Gás natural	9,1	16,0	24,4	44,0	78,9
- Óleo combustível	2,0	8,8	9,8	10,0	10,0
- Diesel	1,2	2,0	2,5	3,0	3,0
- Nuclear	2,0	3,4	3,4	5,4	7,4
- Renováveis	92,4	140,1	177,0	211,0	240,2
- Hidrelétrica	87,0	114,2	136,5	151,5	160,5
- Eólica	0,9	15,0	23,9	35,3	44,1
- Solar fotovoltaica	0,0	0,4	1,1	3,0	8,0
- Biomassa	4,5	10,4	14,6	18,7	23,6
- Solar concentrada (CSP)	0,0	0,0	0,9	2,3	3,0
- Energia Oceânica	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0
Energia renovável fluuante (fotovoltaica, eólica, oceânica)	0,9	15	25,1	38,6	53,1
participação de energia renovável fluuante	0,9%	8,8%	11,2%	13,8%	15,3%
<b>Participação renovável</b>	<b>85,1%</b>	<b>80,3%</b>	<b>79,3%</b>	<b>75,5%</b>	<b>69,4%</b>

tabela 8.5: demanda de energia primária

PJ/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Total</b>	<b>11.347</b>	<b>14.828</b>	<b>17.335</b>	<b>20.100</b>	<b>23.056</b>
- Fósseis	6.003	8.236	9.237	10.668	12.554
- Carvão	638	781	835	853	878
- Gás natural	973	1.404	1.832	2.787	3.869
- Petróleo	4.392	6.051	6.571	7.028	7.806
- Nuclear	158	295	295	469	638
- Renováveis	5.186	6.298	7.803	8.963	9.865
- Hidrelétricas	1.452	1.898	2.290	2.542	2.668
- Eólica	8	108	205	288	374
- Solar	15	40	85	151	242
- Biomassa	3.711	4.251	5.220	5.975	6.565
- Geotérmica	0	1	2	4	5
- Energia Oceânica	0	0	0	4	9
Importação líquida de eletricidade	125	126	86	40	68
Total incluindo importação dos quais, uso não energético	11472	14954	17422	20140	23125
- dos quais, uso não energético	709	889	999	1074	1134
Total renovável incluindo importação	5312	6427	7894	9011	9945
<b>Participação renovável</b>	<b>46,3%</b>	<b>43,0%</b>	<b>45,3%</b>	<b>44,7%</b>	<b>43,0%</b>

tabela 8.6: demanda final de energia

PJ/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Total (incluindo uso não energético)</b>	<b>8.882</b>	<b>11.810</b>	<b>13.845</b>	<b>15.884</b>	<b>18.172</b>
Uso energético total	8.173	10.921	12.846	14.811	17.039
<b>Transportes</b>	<b>2.930</b>	<b>4.226</b>	<b>4.948</b>	<b>5.645</b>	<b>6.528</b>
- Derivados de petróleo	2.247	3.395	3.654	3.979	4.601
- Gás Natural	89	89	89	89	89
- Biocombustíveis	589	735	1.192	1.558	1.815
- Eletricidade	6	7	12	19	23
- Eletricidade de fontes renováveis	5	6	10	14	16
- Hidrogênio	0	0	0	0	0
<b>Participação renovável em transportes</b>	<b>20,3%</b>	<b>17,5%</b>	<b>24,3%</b>	<b>27,9%</b>	<b>28,0%</b>
<b>Indústria</b>	<b>3.389</b>	<b>4.222</b>	<b>4.931</b>	<b>5.649</b>	<b>6.416</b>
- Eletricidade	732	951	1.147	1.380	1.664
- Eletricidade de fontes renováveis	620	779	937	1.045	1.163
- Aquecimento distrital	64	151	256	290	325
- Carvão	214	301	336	373	405
- Derivados de petróleo	496	607	703	745	808
- Gás Natural	449	571	675	805	930
- Solar	0	0	0	0	0
- Biomassa	1.433	1.642	1.814	2.055	2.284
- Geotérmica	0	0	0	0	0
- Hidrogênio	0	0	0	0	0
<b>Participação renovável na indústria</b>	<b>60,6%</b>	<b>57,3%</b>	<b>55,8%</b>	<b>54,9%</b>	<b>53,7%</b>
<b>Outros Setores</b>	<b>1.854</b>	<b>2.473</b>	<b>2.968</b>	<b>3.518</b>	<b>4.095</b>
- Eletricidade	838	1.275	1.611	2.013	2.442
- Eletricidade de fontes renováveis	710	1.045	1.316	1.525	1.707
- Carvão	0	0	0	0	0
- Derivados de petróleo	540	659	746	821	897
- Gás natural	21	30	40	53	63
- Solar	15	38	60	82	105
- Biomassa	439	469	508	546	583
- Geotérmica	0	1	2	4	5
- Hidrogênio	0	0	0	0	0
<b>Participação renovável em outros setores</b>	<b>62,8%</b>	<b>62,8%</b>	<b>63,6%</b>	<b>61,3%</b>	<b>58,6%</b>
Total fontes renováveis	3812	4716	5839	6829	7679
<b>Participação fontes renováveis</b>	<b>46,6%</b>	<b>43,2%</b>	<b>45,5%</b>		



# cenário revolução energética

**tabela 8.7: geração de eletricidade**

TWh/a	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Usinas</b>	<b>465</b>	<b>633</b>	<b>795</b>	<b>1.008</b>	<b>1.226</b>
- Carvão	0,4	0,5	0	0	0
- Gás natural	29	102	117	91	81
- Óleo combustível	2	3	1	1	0
- Diesel	15	2	1	0	0
- Nuclear	8	16	11	0	0
- Biomassa	15	16	16	19	22
- Hidrelétrica	403	461	494	523	525
- Eólica	2	32	103	184	279
- das quais <i>offshore</i>	0	0	5	25	67
- Solar fotovoltaica	0	5	41	120	178
- Solar concentrada (CSP)	0	0	11	65	130
- Energia oceânica	0	0	1	5	11
<b>Cogeração</b>	<b>50</b>	<b>74</b>	<b>89</b>	<b>94</b>	<b>99</b>
- Carvão	7	8	6	0	0
- Gás natural	12	14	18	20	21
- Óleo combustível	8	11	6	3	0
- Biomassa & resíduos	24	41	59	70	73
- Hidrogênio	0	0	0,4	2	5
<b>Geração Total</b>	<b>516</b>	<b>707</b>	<b>884</b>	<b>1.102</b>	<b>1.325</b>
- Fossil	64	140	148	104	86
- Carvão	7	8	6	0	0
- Gás natural	41	116	135	100	86
- Óleo combustível	10	13	7	4	0
- Diesel	6	2	1	0	0
- Nuclear	15	16	11	0	0
- Hidrogênio	0	0	0	13	21
- Renováveis	437	551	725	986	1.218
- Hidrelétrica	403	461	494	523	525
- Eólica	2	32	103	184	279
- Solar fotovoltaica	0	5	41	120	178
- Biomassa	31	53	75	89	95
- Solar concentrada (CSP)	0	0	11	65	130
- Energia oceânica	0	0	1	5	11
Importação	36	40	30	32	32
Exportação	1	5	6	9	11
Perdas de distribuição	86	114	136	151	154
Eletricidade para autoconsumo	27	29	30	30	31
Eletricidade para produção de hidrogênio	0	0	7	68	139
<b>Consumo final de eletricidade</b>	<b>438</b>	<b>600</b>	<b>736</b>	<b>876</b>	<b>1.023</b>
Energia renovável fluuante (fotovoltaica, eólica, oceânica)	2	37	145	309	468
Participação de energia renovável fluuante	0,4%	5,2%	16,4%	28%	35,3%
<b>Participação renovável Eficiência energética (comparado ao cenário de referência)</b>	<b>84,7%</b>	<b>78%</b>	<b>82%</b>	<b>89,4%</b>	<b>91,9%</b>
	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>54</b>	<b>116</b>	<b>205</b>

**tabela 8.8: fornecimento de calor**

PJ/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Calor de cogeração</b>	<b>64</b>	<b>151</b>	<b>257</b>	<b>298</b>	<b>343</b>
- Combustíveis fósseis	35	67	84	64	57
- Biomassa	29	85	170	218	242
- Hidrogênio	0	0	3	16	44
<b>Calor direto</b>	<b>3.304</b>	<b>3.805</b>	<b>4.088</b>	<b>4.170</b>	<b>4.214</b>
- Combustíveis fósseis	1.482	1.720	1.686	1.298	750
- Biomassa	1.507	1.662	1.776	1.901	2.110
- Coletores solares	15	77	216	373	498
- Bombas de calor <sup>1</sup>	0	15	70	164	271
- Eletricidade <sup>2</sup>	299	331	327	369	423
- Hidrogênio	0	0	13	66	162
<b>Fornecimento total de calor</b>	<b>3.368</b>	<b>3.956</b>	<b>4.345</b>	<b>4.468</b>	<b>4.558</b>
- Combustíveis fósseis	1.518	1.786	1.770	1.362	807
- Biomassa	1.536	1.747	1.946	2.119	2.353
- Coletores solares	15	77	216	373	498
- Bombas de calor <sup>1</sup>	0	15	70	164	271
- Eletricidade <sup>2</sup>	299	331	327	369	423
- Hidrogênio	0	0	16	82	206
<b>Participação renovável Eficiência energética (comparado ao cenário de referência)</b>	<b>53,6%</b>	<b>53,0%</b>	<b>57,9%</b>	<b>68,6%</b>	<b>81,3%</b>
	<b>0</b>	<b>196</b>	<b>483</b>	<b>974</b>	<b>1.485</b>

1 - CALOR DE ENERGIA DO AMBIENTE E USO DE ELETRICIDADE  
2 - CALOR DE AQUECIMENTO ELÉTRICO DIRETO

**tabela 8.9: emissões de CO2**

Milhões de toneladas/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Usinas termelétricas</b>	<b>20</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>36</b>	<b>29</b>
- Carvão	0	0	0	0	0
- Gás natural	13	46	51	35	29
- Óleo combustível	2	2	1	1	0
- Diesel	4	1	1	0	0
<b>Centrais a cogeração</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>10</b>
- Carvão	8	9	6	0	0
- Gás natural	7	9	11	11	10
- Óleo combustível	6	8	5	2	0
<b>Intensidade de CO2 (g/kWh)</b>					
- Geração de eletricidade de fontes fósseis	628	534	534	472	458
- Geração de eletricidade total	78	106	106	45	30
<b>Emissões de CO2 por setor</b>	<b>358</b>	<b>512</b>	<b>489</b>	<b>406</b>	<b>312</b>
- Aumento em % em comparação a 1990 (172,37 milhões de toneladas)	208%	297%	284%	236%	181%
- Indústria	103	126	117	82	48
- Outros setores	41	40	36	28	17
- Transportes	170	242	240	229	201
- Geração de eletricidade	20	49	52	36	29
- Outras conversões <sup>1</sup>	24	56	44	32	18
População (milhões)	194,9	210,4	220,5	224,4	222,8
<b>Emissões de CO2 per capita (t/capita)</b>	<b>1,8</b>	<b>2,4</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>

1 - AQUECIMENTO DISTRITAL, REFINARIAS, TRANSFORMAÇÃO DE CARVÃO E TRANSPORTE DE GÁS NATURAL

**tabela 8.10: capacidade instalada**

GW	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Usinas</b>	<b>100,2</b>	<b>148,5</b>	<b>210,9</b>	<b>313,1</b>	<b>395,5</b>
- Carvão	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
- Gás natural	7,5	24,2	29,1	24,0	22,5
- Óleo combustível	0,3	0,5	0,1	0,2	0,0
- Diesel	1,2	1,2	0,8	0,4	0,0
- Nuclear	2,0	2,0	1,4	0,0	0,0
- Biomassa	1,0	1,7	2,3	4,1	5,1
- Hidrelétrica	87,0	100,0	106,0	112,3	113,8
- Eólica	0,9	16,0	42,7	78,0	110,3
- das quais <i>offshore</i>	0,0	0,0	1,4	7,4	18,7
- Solar fotovoltaica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Solar concentrada (CSP)	0,0	0,0	4,5	24,0	39,4
- Energia oceânica	0,0	0,0	0,4	1,9	4,2
<b>Cogeração</b>	<b>8,4</b>	<b>20,9</b>	<b>25,8</b>	<b>25,6</b>	<b>27,9</b>
- Carvão	1,6	2,5	2,3	0,0	0,0
- Gás natural	1,6	2,5	3,3	3,6	3,8
- Óleo combustível	1,6	4,1	2,7	1,2	0,0
- Biomassa & resíduos	3,5	11,8	17,4	20,5	23,4
<b>Capacidade Instalada Total</b>	<b>108,6</b>	<b>169,4</b>	<b>236,7</b>	<b>338,7</b>	<b>423,4</b>
- Fossil	14,1	35,0	38,4	26,7	22,2
- Carvão	1,8	2,7	2,3	0,0	0,0
- Gás natural	9,1	26,6	32,4	24,9	22,1
- Óleo combustível	2,0	4,6	2,9	1,3	0,0
- Diesel	1,2	1,2	0,8	0,4	0,0
- Nuclear	2,0	2,0	1,4	0,0	0,0
- Hidrogênio (células a combustível e térmicas)	0,0	0,0	0,1	3,0	4,8
- Renováveis	92,4	132,3	196,8	309,1	396,4
- Hidrelétrica	87,0	100,0	106,0	112,3	113,8
- Eólica	0,9	16,0	42,7	78,0	110,3
- Solar fotovoltaica	0,0	2,8	23,6	68,3	100,2
- Biomassa	4,5	13,5	19,7	24,6	28,5
- Solar concentrada (CSP)	0,0	0,0	4,5	24,0	39,4
- Energia Oceânica	0,0	0,0	0,4	1,9	4,2
Energia renovável fluuante (fotovoltaica, eólica, oceânica)	0,9	18,8	66,7	148,1	214,7
Participação de energia renovável fluuante	0,9%	11,1%	28,2%	43,7%	50,7%
<b>Participação renovável</b>	<b>85,1%</b>	<b>78,1%</b>	<b>83,2%</b>	<b>91,3%</b>	<b>93,6%</b>

**tabela 8.11: demanda de energia primária**

PJ/ano	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Total</b>	<b>11.347</b>	<b>14.485</b>	<b>16.212</b>	<b>16.709</b>	<b>16.929</b>
- Fósseis	6.003	8.101	8.009	6.844	5.552
- Carvão	638	672	463	231	177
- Gás natural	973	1.860	2.171	1.849	1.483
- Petróleo	4.392	5.570	5.375	4.764	3.892
- Nuclear	158	174	121	0	0
- Renováveis	5.186	6.210	8.081	9.866	11.378
- Hidrelétricas	1.452	1.661	1.779	1.885	1.892
- Eólica	8	115	370	661	1.004
- Solar	15	95	461	1.390	2.308
- Biomassa	3.711	4.328	5.419	5.791	5.930
- Geotérmica	0	11	50	120	203
- Energia oceânica	0	0	4	18	40
Importação líquida de eletricidade	125	126	86	83	76
Total incluindo importação	11.472	14.611	16.298	16.792	17.005
- dos quais, uso não energético	709	879	949	994	1.014
Total renovável incluindo importação	5.312	6.311	8.159	9.944	11.452
<b>Participação renovável Eficiência energética (comparado ao cenário de referência)</b>	<b>46,3%</b>	<b>43,2%</b>	<b>50,1%</b>	<b>59,2%</b>	<b>67,3%</b>
	<b>0</b>	<b>343</b>	<b>1.124</b>	<b>3.391</b>	<b>6.127</b>

**tabela 8.12: demanda final de energia**

PJ/ano	2010	2020	2030	2040	2050
Total (incluindo uso não energético)	8.882	11.350	12.770	13.428	13.617
Uso energético total	8.175	10.471	11.821	12.434	12.603
Transportes	2.930	4.076	4.648	4.837	4.620
- Derivados de petróleo	2.247	3.226	3.210	3.058	2.689
- Gás Natural	89	86	80	71	58
- Biocombustíveis	589	745	1.274	1.523	1.539
- Eletricidade	6	20	84	180	315
- Eletricidade de fontes renováveis	5	15	69	161	290
- Hidrogênio	0	0	0	4	18
<b>Participação renovável em Transportes</b>	<b>20,3%</b>	<b>18,6%</b>	<b>28,9%</b>	<b>34,9%</b>	<b>39,9%</b>
Indústria	3.389	4.125	4.588	4.777	4.983
- Eletricidade	732	934	1.110	1.298	1.503
- Eletricidade de fontes renováveis	620	728	910	1.160	1.381
- Aquecimento distrital	64	151	257	298	343
- Carvão	214	274	169	98	47
- Derivados de petróleo	496	552	546	343	151
- Gás Natural	449	586	671	609	389
- Solar	0	5	59	151	239
- Biomassa	1.433	1.613	1.731	1.848	2.018
- Geotérmica	0	9	31	66	127
- Hidrogênio	0	0	14	68	167
<b>Participação renovável na Indústria</b>	<b>60,6%</b>	<b>57,1%</b>	<b>59,8%</b>	<b>68,8%</b>	<b>78,6%</b>
Outros Setores	1.854	2.270	2.586	2.821	3.000
- Eletricidade	838	1.207	1.455	1.676	1.865
- Eletricidade de fontes renováveis	710	941	1.192	1.499	1.715
- Carvão	0	0	0	0	0
- Derivados de petróleo	540	522	467	348	193
- Gás natural	21	26	33	39	42
- Solar	15	71	157	222	259
- Biomassa	439	443	456	482</	



# οικουμενική

## energetica

A CAMINHO DO DESENVOLVIMENTO LIMPO

### GREENPEACE

O **Greenpeace** é uma organização global e independente que promove campanhas para defender o meio ambiente e a paz, inspirando as pessoas a mudarem atitudes e comportamentos. Nós investigamos, expomos e confrontamos os responsáveis por danos ambientais. Também defendemos soluções ambientalmente seguras e socialmente justas, que ofereçam esperança para esta e para as futuras gerações e inspiramos pessoas a se tornarem responsáveis pelo planeta.

[www.greenpeace.org.br](http://www.greenpeace.org.br)

### GWEC

CONSELHO INTERNACIONAL DE ENERGIA EÓLICA

O **GWEC** representa todo o setor de energia eólica: seus membros se espalham por mais de 1,5 mil companhias, organizações e instituições de 70 países, incluindo manufatura, desenvolvimento, fornecimento, pesquisa, associações nacionais de energia eólica, distribuidoras e empresas financeiras.

[www.gwec.net](http://www.gwec.net)



**MISTO**  
Papel produzido a partir  
de fontes responsáveis  
**FSC® C100700**