

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ANO  
XV  
2014

3

# Cadernos Adenauer

# EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

EDITOR RESPONSÁVEL  
Felix Dane

CONSELHO EDITORIAL  
Estevão de Rezende Martins  
Fátima Anastasia  
Humberto Dantas  
José Álvaro Moisés  
José Mario Brasiliense Carneiro  
Lúcia Avelar  
Silvana Krause

COORDENAÇÃO EDITORIAL  
Reinaldo J. Themoteo

REVISÃO  
Reinaldo J. Themoteo

CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO  
Cacau Mendes

IMPRESSÃO  
Oficina de Livros

---

ISSN 1519-0951

Cadernos Adenauer xv (2014), nº3

*Eficiência energética*

Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, janeiro 2015.

ISBN 978-85-7504-190-1

---

*As opiniões externadas nesta publicação são  
de exclusiva responsabilidade de seus autores.*

Todos os direitos desta edição reservados à

FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER  
Representação no Brasil: Rua Guilhermina Guinle, 163 · Botafogo  
Rio de Janeiro · RJ · 22270-060  
Tel.: 0055-21-2220-5441 · Telefax: 0055-21-2220-5448  
adenauer-brasil@kas.de · www.kas.de/brasil  
Impresso no Brasil

## Sumário

### 7 Apresentação

#### MATRIZES ENERGÉTICAS

- 11 Energia renovável com baixa emissão de carbono  
JOSÉ EUSTÁQUIO DINIZ ALVES
- 29 Expansão da Matriz Hidrelétrica no Brasil:  
um desafio de Governança  
ALEXANDRE DO NASCIMENTO SOUZA · PEDRO ROBERTO JACOBI
- 45 Energia Nuclear no Brasil  
JOAQUIM FRANCISCO DE CARVALHO
- 57 O Desenvolvimento da Indústria de Energia Eólica no Brasil:  
aspectos de inserção, consolidação e sustentabilidade  
ELBIA SILVA GANNOUM
- 73 Energia solar no Brasil: se não for agora, quando será?  
ELOY F. CASAGRANDE JUNIOR
- 95 Eletricidade solar no Brasil  
RICARDO RÜTHER
- 107 Eficiência Energética  
GILBERTO M. JANNUZZI

#### POLÍTICA ENERGÉTICA

- 121 A Política Energética do Brasil  
ALTINO VENTURA FILHO
- 145 Planejamento para as demandas futuras de energia no Brasil  
MAURICIO T. TOLMASQUIM · AMILCAR G. GUERREIRO



## Apresentação

■ Aumentar a geração de energia elétrica de modo a suprir a crescente demanda, assim como diversificar as matrizes energéticas: estes são alguns dos principais problemas que o Brasil enfrenta, no setor energético. Seja na compatibilização entre oferta e demanda de energia, na redução de impactos ambientais entre outras possibilidades, a eficiência energética é recurso da maior importância. Por isso esta edição da série Cadernos Adenauer é dedicada ao tema eficiência energética, com o objetivo de discutir sobre matrizes energéticas, política energética e os desafios inerentes, entre outras questões que encontram-se presentes nos artigos que compõem esta publicação. Os capítulos foram organizados em duas seções: a primeira parte tem sete capítulos sobre as matrizes energéticas brasileiras. Na segunda parte dois capítulos abordam a política energética do Brasil.

No primeiro capítulo José Eustáquio Diniz Alves discute sobre a necessidade de se adotar fontes de energias renováveis e reduzir o uso de combustíveis fósseis. São analisados diversos fatores que mostram o quão urgente é empreender esforços em prol da redução e gradual substituição do uso de combustíveis fósseis na geração de energia a partir de fontes renováveis, de baixa emissão de carbono.

Alexandre do Nascimento Souza e Pedro Roberto Jacobi analisam a expansão da matriz hidrelétrica no contexto do planejamento do setor elétrico até o ano de 2030. Este capítulo também apresenta os potenciais conflitos que podem surgir em função da construção de hidrelétricas na região amazônica. Além dos conflitos, são apresentados os avanços no tratamento dado às questões ambientais que surgem por ocasião da construção das hidrelétricas. As práticas de governança são apresentadas como meio que pode contribuir para a geração de energia necessária ao atendimento às demandas, sem negligenciar as questões socioambientais.

Joaquim Francisco de Carvalho traz um panorama sobre a energia nuclear no Brasil. Apresentando um histórico sobre a energia nuclear no Brasil, o autor discorre sobre o desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil e o papel desempenhado pela Agência Internacional de Energia Nuclear neste processo. Neste capítulo também é mostrada a possibilidade de assegurar a energia que atenda à demanda nacional recorrendo exclusivamente a fontes renováveis.

Energia eólica é o tema do capítulo da autoria de Elbia Silva Gannoum. A autora apresenta um histórico da indústria de energia eólica do Brasil, do PROINFA à competitividade, analisando os diversos elementos que possibilitam compreender esta trajetória, bem como a conjuntura atual da matriz eólica brasileira e os desafios que devem ser enfrentados na sua expansão.

Eloy F. Casagrande Jr apresenta a energia solar como matriz energética de imenso potencial, que precisa ser melhor aproveitada. São apresentados dados sobre a irradiação solar no Brasil, os tipos e sistemas fotovoltaicos e dois projetos bem-sucedidos na área: um deles é a Casa Eficiente, projeto desenvolvido em Florianópolis, fruto de uma parceria entre Eletrosul, EletroBras/PROCEL e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); o outro é o Escritório Verde, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UFTPR).

Ricardo Rütther apresenta as diversas aplicações dos sistemas fotovoltaicos mostrando os tipos de instalação, projetos de aplicação e também traz informações e indica fontes de pesquisa sobre instalação de painéis solares. Por último são analisados projetos de usinas fotovoltaicas no Brasil.

Gilberto M. Jannuzzi enfoca em seu artigo o conceito de eficiência energética, explicando em que consiste, apresentando as categorias de eficiência energética, seu potencial e diversos aspectos acerca de como a eficiência energética pode contribuir para o Brasil, no atendimento às demandas de energia.

Altino Ventura Filho apresenta as diretrizes do Ministério de Minas e Energia, no âmbito da expansão do Sistema Energético Nacional. O autor analisa diversos dados, entre eles os comparativos entre as matrizes de oferta de energia e de energia elétrica do Brasil e do mundo, bem como a evolução do contexto energético no Brasil e no mundo entre 1980 e 2013. Neste capítulo também são apresentadas perspectivas de evolução do sistema energético, englobando as diversas matrizes energéticas, tanto em relação ao Plano Decenal 2013/2023 quanto numa perspectiva mais ampla.

Maurício T. Tolmasquim e Amílcar G. Guerreiro analisam diversos tópicos fundamentais do planejamento energético brasileiro, lançando mão de conceitos como eficiência energética e expansão da oferta de energia, investigando as diversas matrizes energéticas.

Desejamos a todas e todos uma boa leitura, com a expectativa de poder contribuir nas discussões sobre o tema.

REINALDO J. THEMOTEO

*Coordenador Editorial da Fundação Konrad Adenauer no Brasil*

# MATRIZES ENERGÉTICAS



# Energia renovável com baixa emissão de carbono

JOSÉ EUSTÁQUIO DINIZ ALVES

## I. INTRODUÇÃO

“Assim como a Idade da Pedra não acabou por falta de pedras, a Era do Petróleo chegará ao fim, não por falta de óleo”.

(Sheikh Ahmed-Zaki Yamani, 2000)

■ A energia extrassomática é a chave para se entender a história dos últimos 240 anos. O ano de 1776 – data da Independência dos Estados Unidos da América e do lançamento do livro “A Riqueza das Nações” de Adam Smith – marca também o início da entrada em operação da máquina a vapor, aperfeiçoada por James Watt. O carvão mineral (hulha, linhito e antracito) foi o insumo energético da máquina que impulsionou a 1ª Revolução Industrial. O petróleo, que começou a ser explorado comercialmente por Edwin L. Drake, em 1859, na Pensilvânia, foi a energia que movimentou o motor a combustão interna, insumo essencial da 2ª Revolução Industrial. Assim, a oferta e a demanda de carvão, petróleo e gás, que adquiriu proporções gigantescas no século XX, afetaram não só a arquitetura social, mas até mesmo o mundo natural, modificando a química da atmosfera.

O desenvolvimento da sociedade urbana-industrial coincidiu com o período de maior prosperidade da história humana. Entre o ano 1 da Era Cristã e o ano de 1776 a economia mundial cresceu 5,5 vezes, porém o crescimento entre 1776 e 2014 foi de 120 vezes, segundo dados de Angus Maddison (2009) e do Fundo Monetário Internacional (FMI, 2014). Em quase 18 séculos, o crescimento da renda per capita foi de apenas 1,27 vez (27%). Em 238 anos (1776-2014) o aumento da renda per capita foi superior a 13 vezes. Um cidadão médio da atualidade recebe em um mês o que um indivíduo médio, antes da Revolução Industrial, levava mais de um ano para receber.

O uso generalizado dos combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás) foi fundamental para o desenvolvimento econômico e social da humanidade. Segundo Abramovay (2011); “A eficiência energética do petróleo é, até hoje, inigualável: três colheres contêm o equivalente à energia média de oito horas de trabalho humano. O crescimento demográfico e econômico do século 20 teria sido impossível sem esse escravo barato” (p. 1).

Todavia, a queima dos combustíveis fósseis provoca a emissão de CO<sub>2</sub>, o que contribui para o efeito estufa e a aceleração do aquecimento global. Segundo a Agência de Pesquisa Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA), órgão da Agência Espacial norte-americana (NASA), a média conjunta da temperatura do solo e da superfície do oceano ao redor do globo em outubro de 2014 ficou cerca de 0,74° Centígrafos acima da média do século XX (NOAA, 2014). Foi o mês de outubro mais quente desde o início da manutenção de registros regulares que começaram em 1880, e significa que a temperatura atual é uma das mais altas do Holoceno (últimos 12 mil anos), podendo gerar mudanças climáticas imprevisíveis.

As mudanças climáticas podem ser catastróficas, o que torna urgente a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Se todas as reservas de petróleo forem extraídas (mesmo que a elevados custos de produção) a temperatura global média do Planeta chegará a um patamar em que consequências poderão ser mais caras do que os benefícios gerados pela energia fóssil.

Desta forma, o abandono do predomínio dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial é uma ação necessária e inadiável. Desta forma, o mundo necessita avançar na produção de energias renováveis, mais limpas e com baixa emissão de carbono. Caso contrário, a sociedade urbana-industrial pode entrar em colapso.

## 2. REDUZIR A PEGADA ECOLÓGICA E MITIGAR AS EMISSÕES

■ O avanço da civilização foi excepcional nos últimos 240 anos. Mas a humanidade passou a consumir mais recursos naturais do que a capacidade regenerativa do Planeta. A Footprint Network (2014) utiliza duas medidas para se avaliar o impacto humano sobre o meio ambiente e a disponibilidade de “capital natural” do mundo. A Pegada Ecológica é um indicador que serve para avaliar o impacto do ser humano sobre a biosfera e a Biocapacidade é um indicador que avalia o montante de terra e água, biologicamente produtivo, para prover bens e serviços

do ecossistema à demanda humana por consumo, sendo equivalente à capacidade regenerativa da natureza.

A pegada ecológica per capita do mundo, em 1961, era de 2,4 hectares globais (gha) e a biocapacidade per capita era de 3,7 gha. Para uma população de 3,1 bilhões de habitantes, o impacto global do ser humano era de 7,2 bilhões de gha, representando 63% dos 11,5 bilhões de hectares globais disponíveis naquele momento. Portanto, havia um superávit ou reserva ecológica não utilizada no mundo.

A reserva ecológica foi sendo reduzida na medida em que cresciam a população e a economia. Em 1975, a pegada ecológica per capita ficou em 2,8 gha para uma biocapacidade de 2,9 gha. Como a população mundial chegou a 4,1 bilhões de habitantes, o impacto antrópico ficou em 11,2 gha para uma biocapacidade total de 11,6, representando um pequeno superávit ambiental de 3,3%. Mas na segunda metade da década de 1970 toda a reserva ambiental já havia sido consumida e o superávit ecológico se transformou em déficit. Em 1980, a pegada ecológica per capita se manteve nos mesmos 2,8 gha, mas houve redução da biocapacidade para 2,6 gha. Para um população de 4,4 bilhões de habitantes, o impacto global do ser humano foi de 12,3 bilhões de gha, atingindo 105,8% dos 11,5 bilhões de hectares globais da biocapacidade, indicando o início do déficit ecológico global.

Em 2010, a pegada ecológica per capita foi de 2,6 gha. Mas com o acelerado crescimento da população mundial que chegou a 6,95 bilhões de habitantes, o impacto global atingiu 18,1 bilhões de hectares globais (gha). Mas como a biocapacidade per capita caiu para 1,7 gha, o mundo possuía apenas 12 bilhões de hectares globais de terras e águas bioprodutivas. isto significou um déficit ecológico global de 50% em 2010. Ou dito de outra forma, a humanidade estava gastando em 1 ano o que a capacidade regenerativa da natureza só repunha em um ano e meio. Evidentemente, esta sobrecarga é insustentável, pois o déficit ambiental só aumenta.

A humanidade só tem conseguido manter funcionando seu modelo de produção e consumo devido: 1) ao sobreuso das riquezas naturais, como a biodiversidade das florestas, as fontes de água limpa, os estoques de peixes, etc. 2) ao uso da herança acumulada no passado e que estava estocada nas reservas de combustíveis fósseis criadas a milhões de anos pela decomposição de material orgânico.

Segundo Tverberg (2012) a disponibilidade de energia por habitante aumentou pouco mais de 4 vezes entre 1820 e 2010. Somente nas últimas décadas, o consumo total de energia no mundo passou de cerca de 4 bilhões de toneladas de óleo equivalente, em 1965, para pouco mais de 12 bilhões em 2013, um cresci-

mento de 3 vezes, enquanto a população mundial dobrou de tamanho no mesmo período. A energia fóssil (petróleo, carvão e gás) responde por mais de 80% do consumo mundial. Cresceu a disponibilidade de energia extrassomática per capita, o que possibilitou o aumento da renda per capita e uma elevação do padrão médio de vida humana.

Porém, o uso e o abuso de toda esta herança energética fóssil deixou um rastro de poluição na terra, na água e no ar. A queima dos hidrocarbonetos emite gases de efeito estufa (GEE), como o CO<sub>2</sub>, que provocam o aquecimento global. Em 2014, a concentração GEE ultrapassou 400 partes por milhão (ppm), o nível mais elevado dos últimos 800 mil anos (IPCC, 2014). Em consequência, a temperatura média na superfície da Terra e dos oceanos aumentou 0,85°C entre 1880 e 2012. Os degelos elevaram o nível do mar em 20 cm, desde 1900. Os cenários para as mudanças climáticas no século XXI são dramáticos se as emissões de GEE continuarem no ritmo atual.

O secretário-geral da ONU, Ban Ki-moon e o diretor do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) da ONU, Rajendra Pachauri, apresentaram, em 01/11/2014, o mais recente relatório sobre mudança climática, alertando que os danos causados por este processo poderão ser irreversíveis, embora ainda haja formas de evitá-los. Eles reafirmam, com base em evidências empíricas, que a influência humana no sistema climático é clara e quanto maiores forem os impactos antrópicos, maiores serão os riscos de consequências graves, amplas e irreversíveis. Nenhuma parte do mundo ficará intocada. O relatório do IPCC (2014) afirma que a mudança climática já aumentou o risco de ondas de calor severas e outros eventos extremos. O Brasil tem sofrido vários desastres climáticos nos últimos anos e a crise hídrica é apenas um exemplo. O relatório também alerta que o pior está por vir, incluindo escassez de alimentos e conflitos sociais violentos.

De acordo com os cenários do IPCC (2014), a Terra caminha atualmente para um aumento de cerca de 4° C (quatro graus Celsius) até 2100 na comparação com nível da era pré-industrial, o que pode levar a uma alta de 55 cm do nível do mar, somente no século XXI. Tudo isto, caso não evitado, provocará grandes secas, inundações, acidificação dos oceanos e extinção de muitas espécies, além de fome, populações deslocadas e conflitos inter e intra países.

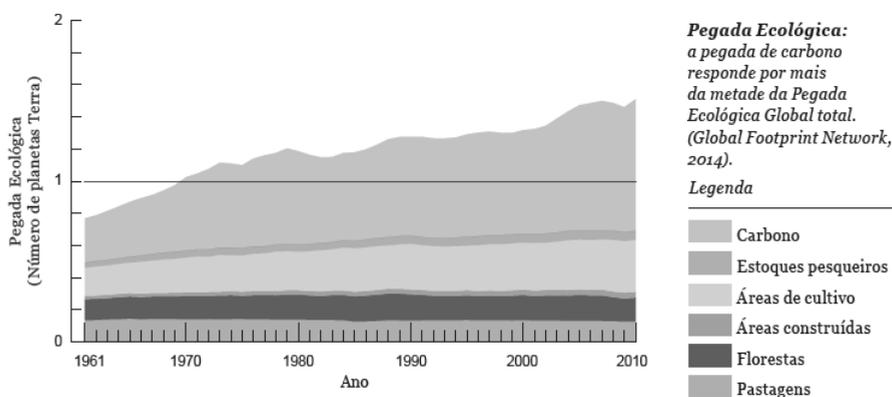
Para o IPCC (2014), o uso de energias renováveis, o aumento da eficiência energética e o estabelecimento de outras medidas destinadas a limitar as emissões custaria muito menos que enfrentar as consequências do aquecimento global. Os custos para mudar a matriz energética são mais baixos do que os gastos mundiais

com a conta a pagar decorrente dos desastres climáticos. Adiar a resposta aumentaria consideravelmente a fatura para as gerações futuras.

Ainda segundo o IPCC (2014), para efetivar o objetivo de limitar a elevação da temperatura global média a 2°C, até 2100, conforme o acordado na Conferência de Copenhague em 2009, a quantidade de energia fóssil a ser queimada pelas atividades antrópicas não pode ultrapassar o que corresponde à emissão de algo entre 900 e 1.000 gigatoneladas de Gases de Efeito Estufa entre 2010 e 2050. Portanto, a economia internacional precisa superar a era dos combustíveis fósseis e avançar na produção de energia renovável e de baixo carbono. Assim como a idade da pedra não acabou por falta de pedras, a Era do petróleo pode ser superada pela Era das energias renováveis, antes mesmo de se retirar as últimas jazidas do subsolo.

Desta forma, a civilização urbano-industrial precisa reduzir a Pegada Ecológica e cortar as emissões de gases de efeito estufa. O gráfico 1 mostra que a Pegada de Carbono responde por mais da metade da Pegada Ecológica Global. Portanto, a superação da dependência econômica aos combustíveis fósseis será fundamental para a redução do déficit ambiental e para o controle do aquecimento global.

GRÁFICO 1. Os componentes da Pegada Ecológica



Fonte: WWF Relatório Planeta Vivo 2014, Sumário pág. 10. [http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/especiais/relatorio\\_planeta\\_vivo](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/relatorio_planeta_vivo)

A mudança da matriz energética requer o investimento na diversificação das fontes potenciais e passa necessariamente pela utilização da energia natural proveniente do sol e das correntes de ar. A mitologia grega já representava Éolo como o

deus dos ventos e Hélio como a representação do Sol. O Sol irradia durante 365 dias o equivalente a 10 mil vezes a energia consumida anualmente pela população mundial. O potencial dos ventos também é imenso. Estas duas fontes podem ser as grandes alternativas para consolidar as energias renováveis do planeta e mitigar o aquecimento global.

## ENERGIAS RENOVÁVEIS E DE BAIXO CARBONO: SOLAR E EÓLICA

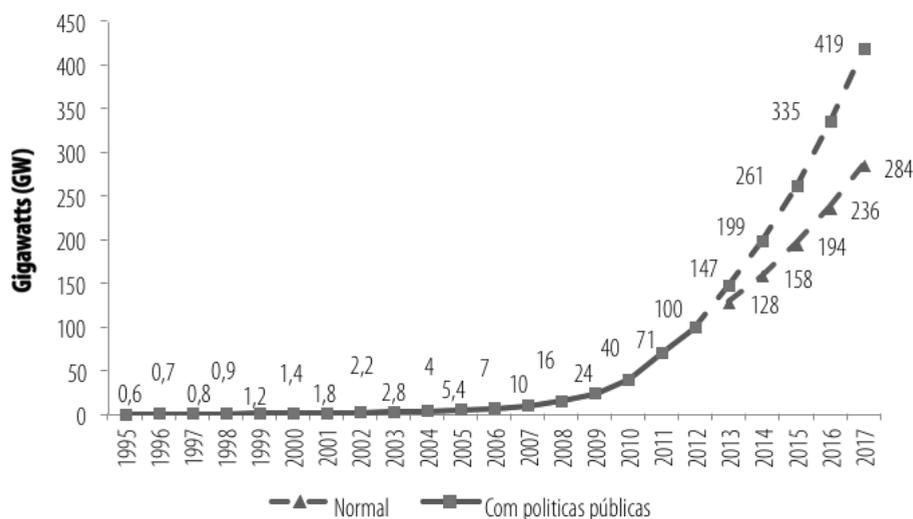
■ O sol e o vento são fontes de produção energética cada vez mais utilizadas, mas sofrem com a intermitência na geração e no fornecimento e não estão livres de problemas ambientais. Contudo, não há como fugir do desafio de substituir a queima dos combustíveis fósseis por estas fontes renováveis, possibilitando a redução da pegada ecológica e a diminuição dos efeitos indesejáveis das mudanças climáticas.

A Energia Solar Concentrada (Concentrated Solar Power – CSP – na sigla em inglês) utiliza espelhos para concentrar a luz do sol sobre encanamentos ou torres para produzir vapor em seu interior, que por sua vez movimenta turbinas que produzem eletricidade. Para manter a usina em funcionamento durante a noite ou em dias nublados, utiliza-se o calor excedente produzido durante o dia por meio do armazenado de um líquido especial em tanques apropriados. As usinas termossolares (CSP) podem ser construídas em áreas desérticas, evitando a utilização de áreas produtivas urbanas ou rurais.

Mas a forma de produção de eletricidade que mais cresce no mundo atualmente é a energia solar fotovoltaica (Photovoltaics – PV). Como mostra o gráfico 2, a capacidade global de produção de energia solar fotovoltaica aumentou mais de 200 vezes, de 1995 a 2013, passando de 0,6 gigawatts (GW) para mais de 120 GW, sendo um crescimento exponencial impressionante, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês).

Os cenários até 2017 indicam uma continuidade do crescimento exponencial e variam segundo a estimativa que segue o crescimento normal dos últimos anos ou a estimativa com apoio das políticas públicas. No cenário habitual (Business-as-usual) a capacidade instalada chegaria a 284 GW em 2017 (isto seria o equivalente a energia produzida por 20 usinas de Itaipu). No cenário com apoio do poder público (Policy-driven) a capacidade instalada poderia chegar a 419 GW (equivalente a 30 usinas de Itaipu).

GRÁFICO 2. Capacidade global de geração de energia solar, 1995-2017



Fonte: IEA. International Energy Outlook 2013.

Segundo relatório da Bloomberg New Energy Finance (BNEF) o preço de uma célula de energia fotovoltaica custava US\$ 76,67 por watt em 1977 e caiu para US\$ 0,74 por watt em 2013, devendo chegar a US\$ 0,64 por watt em 2014. Com preço competitivo e abaixo do preço do carvão mineral, a perspectiva é que o crescimento exponencial da energia solar continue ou até se acelere. A BNEF estima que a capacidade instalada de energia fotovoltaica em 2013 foi de 36,7 GW (o maior crescimento anual de todos os tempos), conforme citado por Alves (21/02/2014).

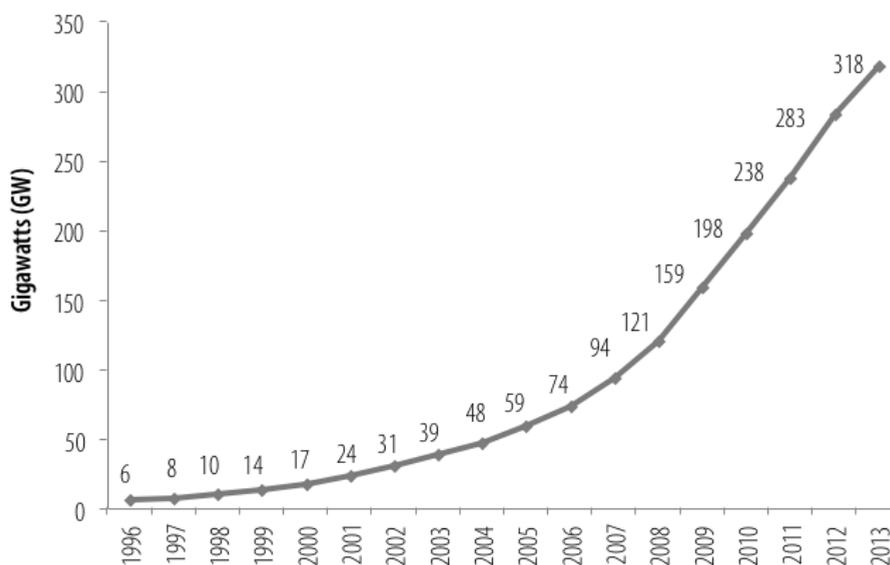
A outra fonte de energia renovável de grande crescimento se dá pelo aproveitamento do potencial da energia eólica que ocorre pela conversão da força dos ventos em eletricidade, por meio da utilização de aerogeradores de diversas capacidades de geração de energia. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA), a energia eólica responde atualmente por 2,5% da participação na matriz elétrica mundial.

Segundo o Conselho Global de Energia Eólica (Global Wind Energy Council – GWEC, 2014), a capacidade instalada de energia eólica era de 6,1 Gigawatts (GW) em 1996 e atingiu pouco mais de 318 GW em 2013 (isto equivale a mais de 22 usinas de Itaipu). Um crescimento de quase 52 vezes em 15 anos,

conforme mostra o gráfico 3. A melhoria recente em tecnologias de energia eólica, bem como a mudança de contexto global, em busca de fontes mais limpas, explicam o cenário mais positivo para o setor no longo prazo.

Contudo, ocorreu uma queda de 10 GW nas instalações de 2013 em comparação ao ano anterior, embora a capacidade global tenha crescido 12,5%. Segundo o GWEC, foram instalados 35,47 GW em 2013, abaixo dos 45,17 GW de 2012. O pior desempenho se deveu às incertezas políticas dos Estados Unidos, que tem dado mais incentivos ao gás de xisto e às areias betuminosas, do que a energia renovável.

GRÁFICO 3. Capacidade global instalada de energia eólica: 1996-2013



Fonte: Global Wind Energy Council – GWEC, 2014

A China instalou sozinha 16 GW em 2013 (mais do que uma usina de Belo Monte) e deverá superar a Europa e os Estados Unidos na produção de energia eólica, entre 2020 e 2025. O aproveitamento do potencial eólico no mundo deverá poupar emissões de gases efeito estufa de até 4,8 bilhões de toneladas por ano até 2050. Porém, diversos obstáculos podem retardar esse processo, como a disputa política no Congresso americano é um fator limitador.

Outra vantagem das energias renováveis é que a produção em pequena escala pode ser viável para as famílias, comunidades e empresas, democratizando

a produção. Mas, para tanto, será fundamental que os governos promovam ou facilitem a construção de redes inteligentes de energia (smart grids), que são uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica, mais segura e inteligente, que integra e possibilita ações a todos os usuários a ela conectados.

Nestas redes, o fluxo de energia elétrica e de informações se dá de forma bidirecional. Assim, a energia tradicionalmente gerada, transmitida e distribuída de forma radial a partir de instalações das concessionárias poderá, também, ser gerada e integrada às redes elétricas a partir de unidades consumidoras. Cria-se, então, a figura do “prosumidor”, aquele que é produtor e consumidor, que produz e que fornece energia à rede.

O crescimento da produção de energia eólica e solar, mesmo não sendo uma panaceia para todos os desafios energéticos, pode contribuir para mitigar as dificuldades advindas de um possível “Pico de Hubbert” e o agravamento do aquecimento global, podendo ser uma maneira de promover um outro tipo de modelo econômico, mais integrado ao meio ambiente, com menos emissão de CO<sub>2</sub> e que respeite a biodiversidade. Neste ritmo, o mundo teria muita energia limpa até 2040 e o clima se beneficiaria drasticamente pela redução dos gases de efeito estufa provocados pela queima de combustíveis fósseis.

## CRESCIMENTO EXPONENCIAL E 100 % ENERGIAS RENOVÁVEIS

■ A participação da energia solar e eólica na matriz energética internacional, embora tenha crescido de maneira expressiva como vimos, ainda é pequena. O cientista Ray Kurzweil (2011), entusiasta do potencial das energias renováveis, argumenta que o crescimento da energia solar tem se dado de forma exponencial, partindo de quase zero em 2000 para 16 gigawatts (GW) em 2008 e cerca de 100 GW em 2012. Extrapolando estas tendências, Kurzweil considera que é possível manter a tendência de dobrar a capacidade produtiva fotovoltaica a cada dois anos, o que significa multiplicar por mil vezes, em 20 anos. Em palestra na Universidade de Berkeley, Ray Kurzweil (que trabalha atualmente na Google) disse: “Nesse ritmo vamos atender 100% das nossas necessidades de energia em 20 anos”.

Contudo, este otimismo de Kurzweil não é compartilhado por outros especialistas. Os dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2014) confirmam que realmente a produção de energia fotovoltaica mundial cresceu de forma exponencial até 2013. Porém, as projeções mostram que o ritmo vai se desacelerar nos próximos anos e deve chegar a 308 GW em 2018, o que é um grande crescimento,

mas não deve manter o ritmo de dobrar a cada dois anos. Em termos absolutos a produção continua aumentando, mas em termos relativos o ritmo se reduz.

Dados da Administração de Informação de Energia dos Estados Unidos (EIA – U.S. Energy Information Administration) em seu International Energy Outlook 2013 projeta que o consumo mundial do conjunto das energias renováveis, em 2040, será de 15% da matriz energética, que, infelizmente, continuará sendo dominada pelos combustíveis fósseis (EIA, 2013).

Portanto, o otimismo de Kurzweil não é compartilhado pelas agências de energia. Segundo a IEA (2014), a capacidade de energia renovável mundial deverá passar de 1.465 GW (sendo 1.071 de hidreletricidade), em 2011, para 2.351 GW (sendo 1.330 de hidreletricidade) em 2018. Considerando apenas as energias eólica, solar, geotérmica e ondas a produção deve passar de 319 GW em 2011 para 896 GW em 2018.

Tem sido grande o crescimento das fontes renováveis, mas insuficiente para mudar significativamente a matriz energética e para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Outra questão é que a maior parte da produção de painéis fotovoltaicos e de turbinas eólicas tem se concentrado na China o que provoca uma dependência dos demais países do mundo ao lobby chinês.

Como visto, os combustíveis fósseis são uma fonte de energia não renovável e, necessariamente, vão se esgotar algum dia. Quanto mais cedo o mundo eliminar a dependência dos combustíveis fósseis, melhor. Cresce a consciência de que é preciso construir uma sociedade livre do petróleo, carvão e gás. Para tanto, a alternativa é ter 100% de energia renovável e com baixa emissão de carbono, construída com o menor impacto ambiental possível.

O preço da energia eólica e solar tem caído tanto que já atingiu a paridade com outras formas de energia fóssil e brevemente poderá ter vantagem significativa. A perspectiva é que o preço do petróleo suba nas próximas décadas enquanto acontece o contrário com o preço das renováveis. Com vantagem nos preços, cresce a possibilidade de o mundo ter 100% de energia renovável no futuro, como mostrou Alves (26/03/2014).

Países como a Alemanha e a Dinamarca estão se movendo no sentido de obter 100% de energia renovável e, até certo ponto, buscam fazer isto de forma descentralizada e fortalecendo o desenvolvimento local e o empoderamento das pessoas e das comunidades. Na Alemanha, a implantação de energias renováveis já resultou em mais de 380 mil postos de trabalho e isto tem ocorrido de forma descentralizada. Quanto maior é a cadeia de criação de valor nos municípios, mais receitas fiscais são obtidas e menos custos para os consumidores.

Outro exemplo de produção de energia controlada pela comunidade vem da Dinamarca. A ilha de Samsø iniciou os esforços para se tornar auto suficiente em termos energéticos, em 1997, dependendo apenas das energias renováveis. Hoje está perto de o conseguir e os habitantes não só cobrem as suas próprias necessidades energéticas como vendem energia à rede pública. Embora tenha havido alguma resistência inicial por parte da população, majoritariamente dedicada à agricultura, hoje os habitantes de Samsø são entusiastas da causa das energias renováveis, dispondo em nível doméstico de painéis fotovoltaicos ou pequenos aerogeradores que não só suprem as suas necessidades como ainda lhes dão lucro através da venda do excesso de energia produzido.

Samsø dispõe de 11 cataventos que podem fornecer a energia eléctrica necessária a toda a ilha, a par de quatro estações de biomassa e 2500m<sup>2</sup> de colectores solares que cobrem 70% dos gastos associados ao aquecimento. A estes há ainda que adicionar os aerogeradores situados 3,5 km da costa. A ilha de Samsø continua ligada à rede eléctrica da Dinamarca, mas a energia que chega à ilha é muito menor do que a energia que sai, sendo que o valor da exportação de energia superou o das batatas.

Mesmo países pequenos podem atingir 100% de renováveis, desde que haja vontade política e apoio internacional. A pequena Cabo Verde tem buscado apoio Europeu para atingir os 100% de utilização de energias renováveis. Para tanto conta com o apoio da União Europeia via Comunidade Económica dos Estados da África Ocidental – CEDEAO – que considera a energia eólica e solar uma grande prioridade. A Índia tem avançado com projetos de mini-redes de energia solar fotovoltaica, buscando incluir 300 milhões de pessoas que não tem acesso à eletricidade.

Para o caso latinoamericano, a Costa Rica é um exemplo de país que sempre teve uma tradição democrática e que tem uma política de desenvolvimento sustentável avançada, pois dissolveu o exército e não possui Forças Armadas (apenas uma guarda nacional de segurança) e já planejou ser o primeiro país das Américas “Carbono-neutro” até 2030.

A produção em pequena escala e descentralizada deve ser combinada com a construção de redes inteligentes de energia (smart grids). Nestas redes, o fluxo de energia ocorre nos dois sentidos e o superávit de uma casa, por exemplo, pode ser vendido para outras casas ou estabelecimentos, possibilitando o desenvolvimento do fenómeno do “prosumidor”, aquele que é produtor e consumidor ao mesmo tempo.

Mas o país que tem mais investido nas energias renováveis e em redes inteligentes é a China. O “Império do Meio” já compreendeu que o mundo está

passando por um “ponto de inflexão” e que é preciso superar a dependência da queima de carbono e investir em um novo ciclo de desenvolvimento sustentável alternativo para superar a era do petróleo, gás e do carvão. Compreendeu também que existem mais oportunidade do que estrangimentos neste novo ciclo de mudança de paradigma, pois se trata não somente de criação de empregos verdes e da saúde ambiental, mas também, na lógica de um regime autoritário, de uma questão de “segurança energética”. Os planos do governo para a segunda década do século XXI são marcados pela busca da expansão da energia solar e eólica e pela maior eficiência energética e menor emissão de carbono. Como na China as pessoas têm dificuldades para respirar devido à poluição, ou se faz uma grande transformação na matriz energética, ou haverá o aprofundamento da degradação ambiental e um crescimento das doenças humanas (Alves, 26/03/2014).

A China já é líder na construção de painéis fotovoltaicos e em turbinas eólicas. Com suas altas taxas de investimento e com seus mais de três trilhões de dólares de reservas internacionais, o país tem recurso suficiente para investir em novas tecnologias e no domínio do mercado mundial. Assim, não é de se surpreender que a China tenha duplicado, a cada ano, a sua capacidade instalada de geração de energia renovável. Não é somente uma questão de disputa pela liderança mundial, mas principalmente pela necessidade estratégica e geopolítica, assim como da urgência diante da alta poluição do ar (fenômeno chamado de “arpocalipse”). Sem mudar o atual modelo energético e de produção, não só a China, como o mundo todo, sofrerá as consequências do aquecimento global e das mudanças climáticas extremas.

Descarbonizar a economia e produzir energia limpa e renovável é uma necessidade que não pode ser procrastinada, pois a emissão de CO<sub>2</sub> é o principal componente da pegada ecológica. Mas não são apenas os governos que buscam investir em energias limpas. Companhias como Google e Apple fazem planos para se tornarem totalmente “verdes” e utilizarem 100% de energia renovável no mais breve espaço de tempo. Estas empresas buscam não só a independência energética e lucros crescentes, mas também cuidam de transmitir uma imagem moderna e amiga do meio ambiente.

Já o Brasil está muito atrasado na produção da energia do futuro. Apesar de projetos como o de energia eólica na Chapada do Araripe, no Piauí, o país não tem conseguido acompanhar o ritmo da produção internacional de energias alternativas. Ao invés de investir no pré-sal, no gás de xisto, nos caças supersônicos e em aposentadorias milionárias para uma minoria de privilegiados, o Brasil poderia incentivar o investimento na produção de energia limpa e utilizar

o enorme potencial que o país possui em termos de vento e sol para descarbonizar nossa economia e avançar na democratização e na descentralização da utilização das forças energéticas que a natureza nos deu de forma abundante. Com o esforço correto, o Brasil tem tudo para avançar rumo à meta 100% energia renovável.

Evidentemente, a produção de qualquer tipo de energia possui custos elevados e tem efeitos nocivos para o meio ambiente. Portanto, investir em energia eólica e solar não é uma panaceia para resolver todos os problemas do modelo de produção e consumo que aumenta a pegada ecológica. O mundo precisa se livrar dos combustíveis fósseis, mas também precisa caminhar rumo ao decrescimento demoeconômico com redução da pegada antrópica. Como afirmou Herman Daly, “Precisamos decrescer até chegar a uma escala sustentável que, então, procuramos manter num estado estacionário. O decrescimento, assim como o crescimento, não pode ser um processo permanente” (Daily, 2011). A energia renovável pode ajudar na busca de um rumo mais sustentável.

Neste sentido, o acordo sino-americano assinado em Pequim, em 11 de novembro de 2014, pelos presidentes Barack Obama e Xi Jinping, é uma notícia auspiciosa no sentido de tentar evitar uma catástrofe climática. Os Estados Unidos (EUA) se comprometem a diminuir suas emissões entre 26% e 27% até 2025, em relação aos níveis de 2005, ampliando a proposta de redução proposta anteriormente. A China se comprometeu a começar a redução de emissões a partir de 2030 – podendo, inclusive, antecipar esta data – e ter 20% de energia limpa em sua matriz energética no mesmo ano. Xi Jinping, presidente chinês, afirmou que o país irá instalar até 1.000 GW (gigawatt) de energias limpas até 2030.

De modo geral, o acerto EUA-China foi comemorado pelos ambientalistas. Segundo Joe Romm (2014), do site Think Progress, o novo acordo climático histórico entre EUA-China pode mudar a trajetória das emissões globais de carbono, aumentando muito as chances de um acordo global na COP-21, em Paris, em 2015. O acordo poderá diminuir, cumulativamente, cerca de 640 bilhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> do ar neste século. Quando se adiciona a recente decisão da União Europeia (EU em inglês) de reduzir até 2030 as emissões totais em 40% abaixo dos níveis de 1990, tem-se o compromisso dos países que representam mais da metade de todas as emissões globais, o que, por sua vez, coloca pressão sobre todos os demais países.

O compromisso chinês de investir na geração de eletricidade livre de emissões de carbono também é uma virada de jogo. Isto permitirá o crescimento exponencial das energias renováveis (como solar e eólica) nas próximas décadas e o avanço do processo de descarbonização. O acordo EUA-China também aumenta

a chance de haver uma boa negociação para substituir o Protocolo de Kyoto, viabilizando um caminho de menor emissões que podem estabilizar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e manter o aquecimento global perto de 2° C, durante o século XXI. Mas o caminho para a estabilização efetiva dos níveis de concentração de CO<sub>2</sub> é longo e requererá muito esforço.

## DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

■ O relatório do IPCC (2014) afirma que aquecimento global decorre das atividades humanas sobre o sistema climático e os danos causados por este processo poderão ser irreversíveis, embora ainda haja algum tempo para evitá-los. Segundo o documento, o uso indiscriminado dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) deve ser evitado se o mundo quiser prevenir uma mudança climática calamitosa.

O relatório diz que as emissões mundiais de gases que provocam o efeito estufa devem ser reduzidas de 40 a 70% entre 2010 e 2050 e desaparecer até 2100. Para tanto, o uso das energias renováveis (solar, eólica, hidrelétrica, geotérmica, etc.) deverá subir da atual fatia de 30% para 80% na matriz energética mundial até 2050. Os combustíveis renováveis deverão preencher 100% da demanda até o final do século XXI.

O futuro da humanidade e a riqueza da biodiversidade dependem da superação do uso generalizado dos combustíveis fósseis e da redução da pegada ecológica (fortemente influenciada pela emissão de CO<sub>2</sub>). Porém, a produção de energias renováveis não está isenta de críticas.

Em relação às Usinas Hidrelétricas, os principais custos socioambientais são: 1) deslocamento forçado de pessoas em decorrência da inundação de suas terras e locais de moradia; 2) inutilização de áreas produtivas da agricultura; 3) destruição de florestas, espécies endêmicas e ecossistemas; 4) alteração do regime hídrico dos rios e interrupção do livre fluxo da água e da vida fluvial; 5) mesmo que em menor nível, o lago das hidrelétricas não deixam de emitir gases de efeito estufa.

Artigo de Tverberg (2014), “Ten Reasons Intermittent Renewables (Wind and Solar PV) are a Problem”, relaciona dez problemas que dificultam a superação dos combustíveis fósseis e a mudança da matriz energética mundial para fontes renováveis.

São os seguintes: 1) As energias renováveis são intermitentes e é duvidoso que possam reduzir as emissões de dióxido de carbono de maneira significativa; 2) as energias eólica e solar podem produzir eletricidade, mas não podem substituir

o petróleo para outros fins; 3) o custo das energias renováveis não eliminará os problemas de escassez e de exclusão; 4) mesmo o vento sendo “renovável”, a depreciação do equipamento, pode impedir a operação das turbinas eólicas por mais de 12 a 15 anos; 5) o peso das energias eólica e solar na matriz energética mundial é ainda muito pequeno; 6) ambas, as turbinas eólicas e energia solar fotovoltaica, usam minerais de terras raras, principalmente da China, e subprodutos perigosos e radioativos; 7) as energias renováveis, por serem intermitentes, podem colocar em risco a capacidade da rede elétrica de fornecer uma fonte elétrica estável para os consumidores; 8) adicionar mais vento e energia solar tende a prejudicar as finanças públicas, pois os subsídios tendem a reduzir a receita governamental; 9) o principal gargalo da atualidade são as dívidas e a insuficiência de investimentos e a energia renovável tende a agravar estes problemas; 10) as energias eólica e solar estão longe de cumprir as promessas feitas em nome delas.

Portanto, o caminho para mitigar a atual crise ambiental e o aquecimento global não está livre de obstáculos e armadilhas. Renovar a matriz energética é uma tarefa que requer a superação de muitos desafios. Promover um salto científico e tecnológico é, sem dúvida, uma necessidade, mas a tecnologia não deve ser vista como uma panaceia passível de resolver todos os problemas do desenvolvimento. Se a tecnologia for usada apenas para aumentar a eficiência econômica e incentivar o consumo, pode-se cair no Paradoxo de Jevons (ou efeito bumerangue), que é uma expressão usada para descrever o fato de que o aperfeiçoamento tecnológico, ao aumentar a eficiência com a qual se usa um recurso ou se produz um bem econômico, tende a aumentar a demanda desse recurso (Alves, 2014).

Desta forma, podemos perceber que os avanços tecnológicos podem ser um grande instrumento de libertação e bem-estar, mas também podem se tornar fontes de exploração e alienação, especialmente quando reforçam o monopólio da ciência e tecnologia nas mãos de poucos atores econômicos. Aumentos na eficiência energética e produtiva só contribuem para o avanço do processo civilizatório quando estiverem a serviço do conjunto da população, dos demais seres vivos do Planeta e da melhoria da qualidade de vida da Terra.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), em seu relatório *World Energy Outlook* (2014), a indústria dos combustíveis fósseis recebe 550 bilhões de dólares por ano em subsídios, o que prejudica o investimento em formas mais limpas de energia. O Petróleo, carvão e gás recebem mais de quatro vezes os 120 bilhões de dólares pagos em incentivos para as energias renováveis, incluindo energia eólica, solar e biocombustíveis. Nos dizeres de Fatih Birol, economista-chefe da IEA, os grandes subsídios dos combustíveis fósseis em todo o mundo

significam que o mundo está optando pela poluição e pela utilização da energia de forma ineficiente.

Não resta dúvidas de que a economia internacional precisa reduzir significativamente os subsídios e a dependência dos combustíveis fósseis e aumentar o peso das energias renováveis no conjunto da produção energética, a despeito das dificuldades que precisam ser superadas. Para tanto é preciso que as diversas nações criem políticas públicas para incentivar a utilização das energias renováveis e que haja incentivo para que o mercado, as famílias e as comunidades invistam na mudança da matriz energética. Também é preciso construir redes de transmissão inteligentes para controlar a sazonalidade da produção de energia eólica e solar, aumentar a eficiência energética e adaptar a produção à demanda.

Portanto, os investimentos em energia eólica e solar devem vir acompanhados de uma mudança no modelo de produção e consumo que degrada a natureza e aumenta a pegada ecológica. O mundo precisa se livrar dos combustíveis fósseis, mas também precisa caminhar rumo ao decrescimento das atividades antrópicas, renovando o estilo de desenvolvimento consumista que tem colocado tantas pressões sobre o meio ambiente e a biodiversidade. Como colocado em artigo recente (Alves, 03/10/2014): “Somos a primeira geração a sentir o impacto da mudança climática e a última geração que pode fazer alguma coisa para evitar um desastre ecológico global”.

---

JOSÉ EUSTÁQUIO DINIZ ALVES · Doutor em demografia e professor titular do mestrado e doutorado em População, Território e Estatísticas Públicas da Escola Nacional de Ciências Estatísticas – ENCE/IBGE. E-mail: jed\_alves@yahoo.com.br

## REFERÊNCIAS:

- ABRAMOVAY, Ricardo. Desafios da economia verde. Folha de São Paulo, 27/06/2011. <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniaofz2706201107.htm>
- ALVES, JED. Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demo-Econômico, Diamantina. UFVJM, *Revista Espinhaço*, v. 3, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.cantancantos.com.br/revista/index.php/espinhaco/article/view/331/280>
- ALVES, JED. Esquenta a produção global de energia solar, Ecodebate, RJ, 21/02/2014. <http://www.ecodebate.com.br/2014/02/21/esquenta-a-producao-global-de-energia-solar-artigo-jose-eustaquio-diniz-alves/>
- ALVES, JED. 100% Energia Renovável, Ecodebate, RJ, 26/03/2014. <http://www.ecodebate.com.br/2014/03/26/100-energia-renovavel-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>
- ALVES, JED. Decrescimento das atividades antrópicas, Ecodebate, RJ, 03/10/2014. <http://www.ecodebate.com.br/2014/10/03/decrescimento-das-atividades-antropicas-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>
- DALY, Herman. Guru da economia ecológica defende decrescimento, IHU, São Leopoldo, 2011. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/noticias/46669-guru-da-economia-ecologica-defende-decrescimento>
- Ecological Footprint Network (dados de 2010). Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>
- EIA, Short-Term Energy Outlook (STEO), November 2013. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/steo/archives/nov13.pdf>
- GWEC. Global Wind Energy Council, 2014. Disponível em: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PRstats-2013\\_EN.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PRstats-2013_EN.pdf)
- FMI. World Economic Outlook, outubro de 2013. Disponível em: <http://www.imf.org/external/datamapper/index.php>
- KURZWEIL, Ray. Solar Will Power the World in 16 Years. by Max Miller. 17/03/2011, 2011. Disponível em: <http://bigthink.com/think-tank/ray-kurzweil-solar-will-power-the-world-in-16-years>
- IEA. World Energy Outlook 2014, Paris, 12/11/2014 [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO\\_2014\\_ES\\_English\\_WEB.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO_2014_ES_English_WEB.pdf)
- IPCC. Fifth Assessment Synthesis Report. Climate Change 2014, 01/11/2014 [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_LONGERREPORT.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_LONGERREPORT.pdf)
- MADDISON, Angus. Historical Statistics of the World Economy, site do autor, 2010. Disponível em: <http://www.ggd.net/maddison/oriindex.htm>
- NOAA. NCDRC Releases October 2014 Global Climate Report, 2014. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/news/ncdc-releases-october-2014-global-climate-report>

ROMM, Joe. Why The U.S.-China CO<sub>2</sub> Deal Is An Energy, Climate, And Political Gamechanger, site Think Progress, 12/11/2014 <http://thinkprogress.org/climate/2014/11/12/3591354/us-china-energy-climate-gamechanger/>

TVERBERG, Gail. Ten Reasons Intermittent Renewables (Wind and Solar PV) are a Problem, 21/01/2014. Disponível em: <http://ourfiniteworld.com/2014/01/21/ten-reasons-intermittent-renewables-wind-and-solar-pv-are-a-problem/#more-38749>

WWF. Planeta Vivo Relatório 2014 (sumário em português), Switzerland, 30/09/2014, Disponível em: [http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/especiais/relatorio\\_planeta\\_vivo/](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/relatorio_planeta_vivo/)

## Expansão da Matriz Hidrelétrica no Brasil: um desafio de Governança

ALEXANDRE DO NASCIMENTO SOUZA  
PEDRO ROBERTO JACOBI

### INTRODUÇÃO

■ A presença de hidrelétricas na matriz elétrica brasileira ganhou impulso a partir dos anos 1970, quando o país viveu sob a égide de uma ditadura militar. Entre os anos de 1974 e 2004 a potência instalada em usinas hidrelétricas cresceu mais de 400%, passou de 13.274 MW para 69.000 MW (Brasil, 2007).

A expansão dos empreendimentos hidrelétricos nos últimos 30 anos do século XX, se por um lado garantiu o suprimento de eletricidade necessária à industrialização e urbanização do Brasil, teve como contrapartida empreendimentos polêmicos e que não se justificam do ponto de vista dos impactos gerados e da quantidade de energia que produzem. As hidrelétricas de Balbina e Tucuruí são questionadas internacionalmente em função dos impactos socioambientais gerados (WCD, 2000; Milaré, 2004).

As duas hidrelétricas também são síntese de um comportamento que via no interesse de Estado a justificativa para a falta de discussão com outros setores alheios ao setor elétrico. A visão que orientou o planejamento militar para a expansão da hidroeletricidade no Brasil desabrigou e empobreceu milhares de ribeirinhos, agricultores familiares e trabalhadores da terra, que deslegitimados de seus direitos e desprovidos de canais democráticos para reivindicar a reparação de seus modos de vida, organizaram-se em torno do movimento dos atingidos por barragem<sup>1</sup> (Sigaud, 1986; Castro, 1988, Bermann, 1993; Vainer, 2007).

1 O Movimento dos Atingidos por Barragens existe nacionalmente desde 1980. “A história dos atingidos por barragens no Brasil tem sido marcada pela resistência na terra, luta pela natureza preservada e pela construção de um projeto popular para o Brasil que contemple uma nova

O processo de democratização da sociedade brasileira também incidiu sobre o setor elétrico, no entanto, os problemas relacionados aos impactos socioambientais, a reparação e mitigação dos mesmos, pouco mudou e parte dos avanços no discurso do setor elétrico retroagiram (Vainer, 2003; Banco Mundial, 2008).

A consolidação da democracia na Constituição Cidadã de 1988<sup>2</sup> e a criação de inúmeros canais de participação social (Dagnino, 1994; Avritzer, 2002; Dagnino, 2002; Tatagiba, 2002), assim como a legitimação do Ministério Público como defensor do meio ambiente e dos interesses difusos ampliou o debate e ofereceu instrumentos concretos para a manifestação dos conflitos relacionados a geração hidrelétrica no Brasil (Constituição, 1988; Souza, 2009).

O Brasil tem cerca de 78.000 MW de potência instalada em suas hidrelétricas. O Plano Nacional de Energia (Brasil, 2007) trabalha com a perspectiva de cerca de 250.000 MW instalados na matriz elétrica em 2030. Espera-se que a bacia do Rio Amazonas produza 77% do planejado para ser incorporado ao sistema elétrico. Embora 62% do potencial tenha alguma restrição socioambiental.

Populações atingidas, ONGs, Ministério Público e acadêmicos tem apontado problemas nos Estudos de Impacto Ambiental de UHEs, acusam falta de diálogo e de política compensatória justa para os atingidos, além de desrespeito às interações simbólicas entre o ser humano e o espaço, etc (Sánchez, 2006; Switkes, 2008; Magalhães&Hernandez, 2009).

Os novos projetos da Amazônia incorporaram preocupações socioambientais inexistentes nos empreendimentos anteriores. Os empreendimentos do Rio Madeira (Jirau e Santo Antônio) prevêem menor volume de água acumulada do que previsto anteriormente para os períodos de menor vazão do rio. Em Belo Monte, para conseguir melhor viabilidade ambiental, o governo abriu mão da utilização de outros aproveitamentos hidrelétricos no Rio Xingú, assim como reviu projetos de plantas hidrelétricas a serem construídas nos Rios Tocantins, Tapajós e Araguaia diminuindo o tamanho dos reservatório, ou tornando-os empreendimentos hidrelétricos a fio d`água, quando não há reservatório para estocar água e toda a produção de hidroeletricidade é feita com o fluxo do rio (Tundisi et al, 2014).

---

Política Energética justa, participativa, democrática e que atenda os anseios das populações atingidas, de forma que estas tenham participação nas decisões sobre o processo de construção de barragens, seu destino e o do meio ambiente” [www.mabnacional.org.br/historia.html](http://www.mabnacional.org.br/historia.html) (Acesso em 13/09/2009).

2 A Constituição de 1988 consolidou a normalidade democrática na sociedade brasileira. Embora até hoje não esteja completamente regulamentada, é um marco no processo de redemocratização, sobretudo porque prevê inúmeros canais de participação social.

Apesar dos esforços governamentais empreendidos a partir de 2004 com o estabelecimento de inúmeros fóruns de discussão com os principais atores sociais envolvidos nos conflitos relacionados à construção de hidrelétricas (Souza, 2009), os processos de licenciamento das três hidrelétricas demonstram que persistem comportamentos antigos do setor elétrico, apontados no relatório da Comissão Mundial de Barragens (WCD, 2000).

Diante do fato de que mesmo depois de o governo brasileiro promover mudanças no processo de planejamento da expansão da matriz hidrelétrica com a criação da Empresa de Pesquisa Energética- EPE (Souza, 2009) e de refazer os projetos das hidrelétricas a serem construídas na Amazônia (Souza & Jacobi, 2013) persiste o ambiente de conflito em torno da produção de energia hidroelétrica. Acreditamos que mecanismos de governança podem se constituir em instrumento valioso para que se possam construir acordos que por um lado diminuam o ambiente conflituoso em torno desta agenda, e por outro, sejam capazes de influenciar no planejamento de novos empreendimentos hidroelétricos tornando-os menos impactantes do ponto de vista socioambiental.

A governança é um termo cada vez mais frequente nas discussões econômicas, nos debates relacionados às questões de Estado e tem sido recorrentemente reivindicada como referência pela sociedade civil desejosa de se fazer ouvir no ambiente de formulação e tomada de decisão em torno de políticas públicas.

Um aspecto importante da governança descrito na literatura aqui revisada, é que da mesma forma que se trata de um termo polissêmico em sentido (Lynn, Heinrich & Hill, 2000; Kooiman, 2003; Rogers & Hall, 2003; Lafferty, 2004; Ivanova, 2005) o é também enquanto produto da interação social, ou seja, não há padrões previamente definidos do que deva ser cada processo de governança, porque cada situação está diretamente associada ao contexto social, econômico, ambiental, político e cultural na qual ocorre (Rogers & Hall, 2003; Kooiman, 2003; Young, 2005 & 2009; Lafferty, 2004).

Os processos de governança se dão menos em função de reivindicações eminentemente políticas no sentido de democratizar o Estado, perspectiva adotada por um sem número de atores sociais no Brasil dos anos 80 e 90 que pressionavam por maior participação social na formulação de políticas públicas tendo em vista influenciar o conteúdo destas para a inclusão de setores até então fora do espectro da tomada de decisão e também pouco beneficiado pelas mesmas (Dagnino, 1994, 2002; Jacobi, 2000; Tatagiba, 2002; Souza 2009; Souza & Jacobi, 2011). Aqui a governança é vista como uma atitude formulada a partir da percepção de que o Estado ao atuar sozinho, sem suficientes canais de escuta e interação com

setores mais amplos da sociedade tem falhado na solução dos problemas que afeta coletividades, como as questões relacionadas à crise ambiental ou mesmo em relação a mediação entre a necessidade de prover a sociedade de maior infraestrutura e as garantias de respeito ao meio ambiente (Rogers & Hall, 2003; Pahl-Wostl et al, 2008; Delma & Young, 2009; Young, 2009; Driessen ET all, 2012).

## HIDRELÉTRICAS NO BRASIL – A NECESSIDADE DA EXPANSÃO X OS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS

■ O Brasil tem cerca de 78.000 MW de potência instalada em suas hidrelétricas. O plano nacional de energia trabalha com a perspectiva de o Brasil ter entre 210.000 e 250.000 MW instalados na matriz elétrica em 2030.

A expansão hidrelétrica prevista para o período é de pouco mais de 95.000 MW. Deste total, o PNE espera que a bacia do Rio Amazonas produza 77% do que está planejado para ser incorporado ao sistema elétrico brasileiro, conforme a tabela 1. Embora esta bacia tenha 77.000 MW de potencial hidrelétrico, 62% tem algum tipo restrição socioambiental<sup>3</sup>.

TABELA 1. Potencial de geração dos recursos hídricos (MW)

	Bacia Amazonas	Bacia Tocantins/Araguaia	Demais	Total
Potencial aproveitado	835	12.198	64.744	77.777
Expansão potencial até 2015	12.153	2.428	5.563	20.244
Expansão potencial 2015-2020	16.943	1.600	5.000	23.543
Expansão potencial 2020-2030	44.200	3.200	5.000	52.400
Total	74.231	19.426	80.307	173.964

Dados extraídos de (Brasil, 2007).

O percentual com restrição de uso do potencial hidrelétrico não significa necessariamente que o mesmo não possa ser utilizado, mas os atuais planejadores do setor elétrico brasileiro esperam que uma bacia que tem cerca de 77.000 MW a aproveitar, contribua com 73.000 MW nos próximos 20 anos. Mesmo sabendo que 47.862 MW têm alguma restrição à sua utilização, conforme a tabela 2.

3 Os impactos socioambientais considerados para a bacia do Amazonas foram: cidades, área populosa, floresta nacional, parque nacional, reserva indígena, área de quilombo, área de proteção ambiental, reserva biológica, reserva de desenvolvimento sustentável, rio virgem, tamanho da área alagada, área de elevado custo de terra, interferência com infraestrutura de significativa expressão econômica-ferrovias, rodovias e etc (Brasil, 2007).

FIGURA 1. Mapa das UHEs planejadas para a Amazônia



Extraído de Tundisi et al, 2014.

TABELA 2. Bacia do Amazonas.

Caracterização do potencial hidrelétrico segundo os impactos ambientais (MW)

<b>Impacto</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Sem impacto significativo	29.196	37,9
Reserva indígena	34.158	44,3
Parque nacional	9.330	12,1
Quilombo	2.883	3,7
Reserva de desenvolvimento sustentável	968	1,3
Floresta nacional	420	0,5
Área de preservação ambiental (APA)	53	0,1
Reserva biológica	50	0,1
Demais impactos (*)		< 0,5

Dados extraídos de Brasil, 2007.

De acordo com os dados extraídos do PNE 2030 e expostos nas tabelas anteriores, a expansão da matriz hidrelétrica brasileira tem grande potencial de acirramento dos conflitos, pois a bacia do Rio Amazonas, além das restrições, fruto da legislação ambiental, tem grande potencial de mobilizar ONGs nacionais e internacionais, além da oposição dos grupos indígenas, uma vez que 44% do potencial da bacia a ser aproveitado está localizado em suas terras.

A percepção das dificuldades de se construir grandes empreendimentos hidrelétricos na Amazônia tem levado o governo brasileiro a rever os projetos já planejados, na perspectiva de torná-los menos impactantes (Tundisi et al, 2014).

Os projetos das hidrelétricas do Rio Madeira foram revistos e terão menor volume de regularização da vazão. O aproveitamento do Rio Xingú que previa mais de uma central hidrelétrica anteriormente foi revisado e no estudo de impacto ambiental apresentado para o processo de licenciamento ambiental, o governo brasileiro se comprometeu a abrir mão dos demais projetos hidrelétricos previstos para o rio (Souza & Jacobi, 2013).

Ao abrir mão de parte do potencial hidrelétrico para que os projetos tenham maior viabilidade socioambiental, os planejadores da expansão do setor esperam compensar a perda com a inclusão de mais termelétricas e outras fontes- Eólica, PCH e Biomassa na matriz elétrica (Tundisi et al, 2014; Brasil, 2007). A previsão é de que em 2030 as hidrelétricas respondam por 78% da matriz elétrica, contra 85% em 2008 (Brasil, 2007).

#### HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA: JIRAU, SANTO ANTÔNIO E BELO MONTE

■ Apesar dos esforços do governo brasileiro em rever os projetos hidrelétricos do Rio Madeira e Belo Monte, a observação dos processos de licenciamento da hidrelétrica de Jirau, no Rio Madeira e da hidrelétrica de Belo Monte no Rio Xingú demonstram que ainda persistem muitos comportamentos que datam de quatro décadas atrás.

Algumas das críticas que se fazem aos projetos e a forma como foram apresentados à sociedade têm muita semelhança com problemas identificados pelo relatório da Comissão Mundial de Barragens (WCD, 2000).

Os dois projetos do Rio Madeira foram retomados pelo governo do presidente Lula e sofreram modificações técnicas para diminuir os impactos socioambientais. Em função dessa orientação, os empreendimentos preveem menor volume de água acumulada do que anteriormente previsto para os períodos de menor vazão do rio.

No caso da UHE Belo Monte, para conseguir melhor viabilidade ambiental, o governo se comprometeu no âmbito dos estudos de impacto ambiental a abrir mão da utilização de outros possíveis aproveitamentos inventariados.

No entanto, a mudança do eixo da barragem proposta pelos estudos ambientais em Jirau depois de aprovado pelo órgão ambiental; e o conflituoso licenciamento ambiental da hidrelétrica de Belo Monte, suscitam dúvidas quanto ao alcance da melhoria no trato das questões socioambientais que se esperava quando da criação da EPE.

O aproveitamento hidrelétrico de Jirau só foi a leilão depois de emitida a licença prévia a partir dos estudos socioambientais coordenados pela EPE. Contudo, o consórcio vencedor da licitação mudou a localização do eixo da barragem em 7 KM. A situação sugere dois tipos de reflexão:

- I. Os estudos contratados pela EPE não são bons e a alternativa locacional não foi a mais adequada;
- II. Os estudos contratados pela EPE e que orientaram o edital eram bons e corretos, no entanto o consórcio liderado pelo grupo franco-belga Suez, seguiu uma lógica muito presente no setor elétrico de orientar a localização dos empreendimentos apenas por critérios econômicos.

A mudança da localização do empreendimento jogou dúvidas sobre a competência da EPE na coordenação dos estudos de impacto que no caso das usinas do Rio Madeira foram realizados por um consórcio entre a Construtora Norberto Odebrecht e uma estatal brasileira do setor elétrico, Furnas.

Antes mesmo das mudanças feitas no projeto pelo consórcio vencedor da licitação, os estudos ambientais das hidrelétricas do Rio Madeira apresentados para obtenção da licença prévia, receberam parecer contrário da equipe de analistas do IBAMA<sup>4</sup>. Durante o trâmite do processo de licenciamento, o órgão de licenciamento ficou sob forte pressão política, que culminou com a reformulação administrativa do órgão e demissão do diretor de licenciamento da instituição (Switkes, 2008).

Os estudos ambientais do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte foram coordenados pela estatal Eletronorte<sup>5</sup>, que contratou algumas das maiores cons-

4 O licenciamento ambiental no Brasil pode ser feito nas esferas federal, estadual e municipal. Os grandes projetos hidrelétricos normalmente são licenciados na esfera federal pelo IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente).

5 A Eletronorte foi a empresa responsável pelo planejamento das hidrelétricas de Tucuruí e Balbina, ambas questionadas em função dos impactos ambientais causados.

trutoras do país, Andrade Gutierrez, Camargo Corrêa e Norberto Odebrecht<sup>6</sup> para a elaboração do EIA.

Os estudos socioambientais apresentados aos órgãos de licenciamento foram contestados por especialistas, ambientalistas e comunidades indígenas. O processo legal do licenciamento também sofreu contestações, uma vez que as audiências públicas foram realizadas sem que se garantisse a participação de todas as comunidades atingidas, o que motivou a realização de outras plenárias.

Um grupo de 38 especialistas brasileiros entre autores e colaboradores das mais diversas disciplinas: ciências sociais, biologia, zoologia, energia, economia, saúde pública, elaborou um estudo crítico do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte (Magalhães & Hernandez, 2009).

O trabalho intitulado “Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte” levantou uma série de questionamentos em relação ao trabalho entregue pela estatal Eletronorte para conseguir a licença ambiental.

De acordo com o painel, o EIA da hidrelétrica de Belo Monte repete uma série de falhas comuns a inúmeros estudos de impacto ambiental de hidrelétricas construídas no passado: subdimensionamento das populações atingidas, que pode ser o dobro do que apresenta o estudo; invisibilidade das especificidades socioculturais dos diversos grupos sociais; subdimensionamento do público que se deslocará para a região em função do empreendimento; negligência das perdas imateriais e dos impactos sobre os modos de vida das populações, etc.

Do ponto de vista dos impactos sociais, o painel de especialistas defende que os estudos apresentados pela Eletronorte não são seguros, pois desconhecem bibliografia importante sobre a Amazônia, e falta de clareza dos critérios metodológicos que nortearam os estudos.

## UMA VISÃO GERAL DO QUE SEJA GOVERNANÇA

■ Tem aumentado a crença de que a formulação e execução de políticas públicas relevantes que dialogam com um amplo conjunto de interesses e perspectivas não devem ser formuladas por um único ator social sozinho. O contexto da formulação e implementação destas envolvem múltiplos atores em diferentes níveis, principalmente aqueles que serão alcançados pelas decisões tomadas. O conteúdo, propósitos, instrumentos e metas definidores de políticas públicas realizadas

---

6 As três construtoras estão entre as cinco maiores empresas de construção civil do país.

por atores sociais e instituições são chamados de governança (Pahl-Wostl et al., 2008; Driessen et al., 2012).

Para Delmas & Young (2009) a governança é uma função social centrada no esforço de levar a sociedade ou grupos sociais de uma situação coletivamente indesejada para uma realidade socialmente desejada. Uma perspectiva funcionalista, na qual o sentido da governança ganha um objetivo claro de proporcionar uma mudança no cenário socioambiental. Esta é apresentada como um ato coletivo que envolve diferentes grupos sociais e com interesses e conhecimentos variados. Os processos podem acontecer sob a perspectiva do mercado, da sociedade civil e mesmo governamental ou conter elementos e atores dos três setores. As ações têm o sentido de envolver partes interessadas para tomada de posição frente a alguma situação.

Um regime de governança é um processo político que envolve barganha e compromisso, vencedores e vencidos, ambiguidade e incerteza. Neste sentido, a governança trata de como os recursos e responsabilidades serão distribuídos para que determinadas funções e operações sejam realizadas em acordo com as prioridades e metas definidas pelo conjunto dos atores sociais que participam do processo de tomada de decisão. As decisões que ocorrem no âmbito de um processo de governança são expressão das crenças dominantes no processo que pode expressar a força de determinados grupos ou os acordos possíveis em um determinado momento. Por isso há uma tendência constante no processo de disputa em torno da tomada de decisão e muitas vezes de questionamento dos seus resultados, o que implica que o processo tenha mecanismos para equilibrar distorções referentes ao poder de cada um dos atores no processo, de maneira a tornar o sistema como um todo o mais equânime possível na definição das metas e prioridades a serem alcançadas tendo em vista o interesse comum em detrimento do particular (Lynn, Heinrich & Hill, 2000; Young, 2009).

## CONCLUSÃO

■ Nos últimos 15 anos o Estado brasileiro criou inúmeras leis ambientais para regular as relações entre ambiente e sociedade<sup>7</sup> e todas convergem para o que a literatura na área de ciências ambientais tem caracterizado como governança

7 Para ficar em alguns exemplos: Lei Florestal Brasileira, Lei nº 12.651/2012; Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/10; Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), Lei nº 12.187/2009; Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas, Decreto 5.758/2006;

ambiental; ou seja, participação social e descentralização no processo de tomada de decisão com o envolvimento das partes interessadas e ou daqueles que serão afetados pela decisão tomada (Jacobi, 2005).

A expansão da matriz hidrelétrica no Brasil vem ao longo das décadas sendo objeto de conflitos tanto no que diz respeito aos processos de licenciamento e até mesmo em relação a conveniência ou não da adoção das hidrelétricas como estratégia para aumentar a oferta de eletricidade no Brasil (Souza, 2009). O planejamento energético, no que diz respeito à expansão da hidrelétricas tem sido um ambiente conflituoso no qual, não raro, durante os processos de licenciamento surgem questionamentos diversos sobre a necessidade do país de construir mais hidrelétricas, da localização destas, ou mesmo da qualidade dos Estudos de Impacto Ambiental que dão sustentação à tomada de decisão nos processos de licenciamento ambiental. Some-se a isto o fato de que a crescente regulação observada na área ambiental adiciona cada vez mais complexidade à interface entre o meio ambiente e processos produtivos diversos que se utilizam dos recursos naturais; uma vez que quanto maior o arcabouço legal regulatório mais restrições são adicionadas à utilização dos recursos naturais, assim como busca-se prevenir e mitigar os impactos advindos dos processos produtivos que passam a se orientar por padrões mais rígidos de observância das questões socioambientais.

A assunção da governança sob a perspectiva funcionalista implica em considerá-la um ato de ação coletiva. Ou seja, um ato caracterizado pelo desejo daqueles que participam do processo de migrar de uma situação que a todos cria desconforto, discordância, ou não responde às necessidades para uma situação almejada. Neste sentido, a governança tem a função de construir uma solução para um problema que aflige a todos e que todos têm interesse em resolver. Os processos de governança colaboram para estabelecer um sistema de direitos e regras claras no qual mercado e sociedade podem funcionar de maneira mais estável. A ação coletiva em torno de questões de interesse comum aliada a cultura, tecnologia e à demografia pode se constituir em vetor de mudança social orientada a um cenário desejado coletivamente (Young, 2009). A governança tal como é apresentada por Pahl-Wostl et al. (2008) pressupõe a percepção de que os governos não são mais a única fonte de tomada de decisão, a sociedade e principalmente partes afetadas e interessadas ganham oportunidade concreta de participar da construção da tomada de decisão. O grupo formado por diferentes

---

Zoneamento Econômico e Ecológico (ZEE), Lei nº 4.297/2002; Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/97.

setores do governo, da sociedade (instituições formais e informais) em rede buscam solucionar uma questão que afeta a todos. Espera-se que a troca de ideias, percepções e conhecimento estimulados no processo de interação comunicacional possam construir um processo de tomada de decisão que reflita a contribuição de todos os participantes, legitimando as decisões e criando cumplicidade de todos os envolvidos para a execução e custos sociais requeridos pelo processo (Renn & Schweizer, 2009).

Os problemas ligados à expansão da matriz hidrelétrica são muitos e envolve um conjunto diversificado de atores governamentais, econômicos e da sociedade civil (Souza, 2009; Banco Mundial, 2008). Os conflitos ocorrem em uma perspectiva que crítica o modelo de desenvolvimento do país, na medida em que privilegia a reprodução do grande capital em detrimento dos interesses locais onde são instaladas as usinas hidrelétricas. Criticam também a instalação de indústrias que fazem uso intensivo da eletricidade para a exportação de produtos primários como celulose, placas de alumínio e minério de ferro. Assim como reivindicam o direito das populações indígenas, ribeirinhas e quilombolas de usufruto de suas terras (Souza, 2009). Há ainda a perspectiva ambientalista crítica aos impactos causados ao meio ambiente muitas vezes sem que se leve em consideração a riqueza ecossistêmica das localidades alagadas.

Concomitantemente há críticas generalizadas à forma como os empreendimentos são decididos e planejados, com a utilização de Estudos de Impacto Ambiental falhos e omissos. Os processos de licenciamento ambiental das hidrelétricas são constantemente criticados seja pela pouca capacidade dos órgãos licenciadores de acompanhar todo o processo, sobretudo no acompanhamento das medidas compensatórias; pela forte presença do Ministério Público que de acordo com a crítica muitas vezes intervém em matérias que caberiam aos organismos técnicos. Existe também um desconforto por parte da sociedade civil tanto em relação ao fato de que cabe aos empreendedores os custos relativos aos Estudos de Impacto Ambiental, como da realização das audiências públicas, que segundo a crítica confere a quem paga controle sobre o processo (Souza, 2009; Banco Mundial 2008; Zhouri, 2005; Ministério Público, 2004).

O histórico de conflitos relacionados à expansão da matriz hidrelétrica no Brasil e ao conjunto de atores sociais que interagem com esta matéria constitui cenário propício para que se utilizem mecanismos de governança com a criação de espaços de discussão na qual os diversos atores sociais envolvidos com o debate possam explicitar suas posições e construir acordos que levem em conta toda a complexidade do debate. Entre os anos de 2003 e 2007 o governo federal criou

canais de escuta com o MAB<sup>8</sup>, FBOMS<sup>9</sup>, ABDIB<sup>10</sup> (Souza, 2009) nos quais as entidades foram estimuladas a explicitar seu posicionamento a respeito da matriz hidrelétrica e apontar possíveis soluções para os problemas apontados. No entanto não se avançou em torno da criação de uma discussão que envolvesse a todos os interessados conjuntamente. Mecanismos de governança seriam uma oportunidade para que os diversos interesses possam encontrar um caminho a partir do qual a sociedade tenha o suprimento de energia garantido, a atividade econômica e empresarial possa ser exercida com um nível de segurança, a proteção ao meio ambiente seja um fator importante dos projetos e as populações atingidas tenham seus direitos respeitados.

Acreditamos que práticas de governança, neste contexto, podem por um lado criar espaços de diálogo e conformação de acordos capazes de aglutinar os diferentes interesses e pontos de vista, e por outro, incentivar práticas de planejamento participativo nas quais visões e interesses divergentes conseguem dialogar em torno de um interesse comum: o suprimento de eletricidade para a sociedade brasileira com respeito às questões socioambientais. Ou seja, construir acordos capazes de subsidiar a criação de políticas públicas que levem em conta e busquem integrar as necessidades e os planejamentos setoriais do meio ambiente e do setor energético com atenção à manutenção dos serviços ecossistêmicos da água, à hidrologia e os impactos sociais, econômicos e ambientais da expansão de hidrelétricas na Amazônia brasileira, assim como, o estabelecimento de canais de diálogo e acordo com os demais países localizados na bacia amazônica, uma vez que o Peru, Equador e Bolívia também planejam construir hidrelétricas e o conjunto de todos os empreendimentos tendem a impactar sinergicamente todo o ecossistema.

ALEXANDRE DO NASCIMENTO SOUZA · Cientista Social e Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM/IEE) da Universidade de São Paulo. Visiting Scholar at Colorado University. Pesquisador do Grupo Temático Governança Ambiental do INCLINE. Pesquisador do GovAmb/USP. alenascimento@usp.br

PEDRO ROBERTO JACOBI · Professor Titular da Faculdade de Educação e do Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM/IEE) da Universidade de São Paulo. Coordenador de Grupo Temático Governança Ambiental do INCLINE. Coordenador de GovAmb/USP. Pesquisador IA CNPq. Editor de Ambiente e Sociedade. prjacobi@usp.br

8 Movimento dos Atingidos por Barragens.

9 Fórum Brasileiro de ONGs e Movimentos Sociais.

10 Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base.

## BIBLIOGRAFIA

BANCO MUNDIAL – *Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição para o Debate*. Volume I: Relatório Síntese, 2008.

BERMANN, C. *Estudos Avançados* 59, São Paulo, vol. 21-nº 59, Janeiro/abril 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030 / *Ministério de Minas e Energia*; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. – Brasília : MME : EPE, 2007.

CASTRO, E. V. de. Hidrelétricas do Xingu: o Estado Contra as Sociedades Indígenas, In: SANTOS, L. de O., ANDRADE, L. M. M. *As Hidrelétricas do Xingu e os Povos Indígenas*. São Paulo: Comissão Pró-Índio, 1988.

*CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL*. Brasília: Congresso Nacional, 1988.

DAGNINO, E. Os movimentos sociais e a emergência de uma nova noção de cidadania. In: DAGNINO, Evelina (org.). *Anos 90 Política e Sociedade no Brasil*. São Paulo: Brasiliense, 1994.

\_\_\_\_\_. Sociedade Civil, Espaços Públicos e Construção Democrática no Brasil: Limites e Possibilidades. In: Dagnino, Evelina (org). *Sociedade Civil e Espaços Públicos no Brasil*. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

DELMAS, M. A. & Young, O. R. Introduction: new perspectives on governance for sustainable development. In DELMAS, Magali A. & YOUNG, Oran R. *Governance for the Environment. New perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009, p. 3-11.

DRIESSEN, P. P. J. et al.. Towards a Conceptual Framework for The Study of Shifts in Modes of Environmental Governance – Experiences From The Netherlands. *Environmental Policy and Governance* 22, 2012, p. 143–160, DOI: 10.1002/eet.1580.

IVANOVA, M.. Environment: The path of global Environmental Governance – Form and Function in Historical Perspective. In: AYRE, Georgina and CALLWAY, Rosalie. *Governance for Sustainable Development: a foundation for the future*. London: Earthscan, 2005, p. 45-72.

JACOBI, P.R. Governança institucional de problemas ambientais. *Política e Sociedade*. Florianópolis Número 7, p. 119-137, outubro de 2005, ,

\_\_\_\_\_. *Políticas Sociais e Ampliação da Cidadania*. Rio de Janeiro: FGV, 2000.

KOOIMAN, J. *Governing as governance*. London: Sage Publications, 2003.

LAFFERTY, W. M. Introduction: form and function in governance for sustainable development. In: LAFFERTY, William M. (ed) *Governance for sustainable development: the challenge of adapting form to function*. Northampton: Edward Elgar publishing Limited, 2004, p. 1-31.

LYNN, L. E.; Heinrich, Carolyn J. and Hill, Carolyn J. Studying governance and public management: why? How? In: HEINRICH, Carolyn J and LYNN, Laurence E. *Governance and Performance: new perspectives*. Washington D.C.: Georgetown University Press, 2000, p. 1-33.

MAGALHÃES, S.M.S.B. & HERNANDEZ, F.M. (orgs.) *Painel de Especialistas: Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*. Belém, 2009.

MILARÉ, E. *Direito do Ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário*. São Paulo, Editora Revista dos Tribunais, 2004.

MINISTERIO PÚBLICO FEDERAL. *Deficiências em Estudos de Impacto Ambiental: Síntese de uma Experiência*, Brasília, Escola Superior do Ministério Público da União, Maio 2004.

PAHL-WOSTL, C. et al.. Governance and the global water system: a theoretical exploration. *Global Governance* 14, p. 419-435, 2008.

RENN, O. & SCHWEIZER, P.-J.. Inclusive Risk Governance: Concepts and Application to Environmental Policy Making. *Environmental Policy and Governance* 19, 2009, p. 174-185 DOI: 10.1002/eet.507

ROGERS, P.; HALL, A. Effective Water Governance. *Global Water Partnership*. Sweden: Elanders Novum, 2003.

Sigaud, L. Efeitos sociais de Grandes Projetos hidrelétricos, *comunicação nº 9* – Museu Nacional, 1986.

SOUZA, A do N. *Licenciamento Ambiental no Brasil sob a perspectiva da modernização ecológica*. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Ciência Ambiental, Universidade of São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-02112010-233044/>>. 2014-04-27.

SOUZA, A. do N.; JACOBI, P. R. Hidrelétricas na Amazônia: entre uma nova esfera pública e a modernização ecológica. In: RIBEIRO, Wagner Costa (org). *Conflitos e cooperação pela água na América Latina*. São Paulo: Annablume, PPGH, 2013.

SOUZA, A. do N.; JACOBI, P. R. Licenciamento Ambiental no Brasil: A Perspectiva da Modernização Ecológica. In: JACOBI, Pedro Roberto. (Org.). *Sustentabilidade socioambiental: diversidade e cooperação*. São Paulo: Annablume, 2011, v. p. 163-198.

SWITKES, G. Aguas Turvas: Alertas sobre as consequencias de barrar o maior afluente do Amazonas. Patricia Bonilha, editora – São Paulo: International Rivers, 2008.

TATAGIBA, L. Os Conselhos Gestores e a democratização das políticas públicas no Brasil. In: DAGNINO, E. (org). *Sociedade Civil e Espaços Públicos no Brasil*. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

TUNDISI, J.G., et al., How many more dams in the Amazon? *Energy Policy*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.013>

VAINER, C. B. *O conceito de Atingido: Uma revisão do debate e diretrizes*. Rio de Janeiro, IPPUR/UFRJ, 2003.

\_\_\_\_\_. Recursos hidráulicos: questões sociais e ambientais. In: *Estudos Avançados* 59. Universidade de São Paulo. Instituto de Estudos Avançados. Vol. 21, nº 59. Jan/Abril 2007.

YOUNG, O. R. Why is there no unified theory of environmental governance?. Dauvergne, Peter. *Handbook of Global environmental politics*. Cheltenham, UK – Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2005. P. 170- 184.

YOUNG, O. R. Governance for sustainable development in a world of rising interdependences. In: DELMAS, Magali A. & YOUNG, Oran R. *Governance for the Environment. New perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009, 12-40.

ZHOURI, A., LACHEFSKI, K, PEREIRA, D. B. (orgs). *A insustentável leveza da política ambiental*. Belo Horizonte: Ed. Autêntica, 2005.



# Energia Nuclear no Brasil

JOAQUIM FRANCISCO DE CARVALHO

## INTRODUÇÃO

■ Em 1955 o governo brasileiro tomou a decisão de instalar um reator nuclear em São Paulo e o professor Marcelo Damy de Souza Santos foi encarregado de presidir a comissão que coordenou o projeto brasileiro.

Em 1956, o Conselho Nacional de Pesquisas, em comum acordo com o Conselho Universitário da Universidade de São Paulo, designou o próprio Damy para criar o Instituto de Energia Atômica (IEA), ligado à Universidade de São Paulo (USP).

Foi então instalado no IEA (atual IPEN) um reator de pesquisa, voltado para a produção de radiofármacos, sob a orientação dos professores Marcelo Damy, Fausto Walter Lima, Alcídio Abrão e outros.

Nascia assim o programa de radiofármacos do IPEN, que hoje responde pela produção de boa parte das fontes e radiofármacos para hospitais e clínicas radiológicas de norte a sul do país.

Ainda não se pensava em implantar reatores de potência no Brasil, pois já se previa a existência de um enorme potencial hidrelétrico nas regiões Centro-Sul e Sul, que começava a ser inventariado por engenheiros da Cemig, com assistência técnica do consórcio canadense-americano Canambra Engineering Consultants.

Entretanto, alguns professores e pesquisadores da USP já demonstravam interesse nos programas de treinamento voltados para as usinas de potência, oferecidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

## OS REATORES DE POTÊNCIA

■ Pode-se dizer que a primeira iniciativa concreta de se implantarem reatores de potência no país foi tomada no Instituto de Pesquisas Radiológicas, que tinha sido criado em 1953 na Universidade Federal de Minas Gerais, onde se formou em 1965 o chamado Grupo do Tório, no âmbito da cooperação técnica França-Brasil. O objetivo daquela iniciativa foi o de desenvolver tecnologia para a elaboração do projeto conceitual de um reator de potência baseado no ciclo do tório.

Em 1971 o governo – muito influenciado pelo poderoso *lobby* da indústria norte-americana – resolveu estruturar um programa nuclear efetivamente voltado para a geração de energia elétrica e decidiu implantar uma usina de 750 MW no município de Angra dos Reis, criando para isso a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear.

Esta foi a origem da central de Angra I, que foi projetada pela empresa americana Westinghouse e implantada por empreiteiras brasileiras do setor de construção pesada e montagem eletromecânica, associadas a firmas congêneres americanas e com tecnologia destas – tudo sob a orientação e supervisão da própria Westinghouse, que também forneceu o sistema nuclear de geração de vapor, além da maioria dos componentes eletromecânicos dos demais sistemas da usina, em particular o conjunto turbo-gerador.

Em 1975 foi extinta a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, que tinha sido criada para construir Angra I e continuar um programa nuclear voltado para o setor elétrico. Em seu lugar criou-se a Nuclebrás (Empresas Nucleares Brasileiras), entrando em cena a empresa alemã KWU/Siemens. Nasceu assim o chamado Programa Nuclear Brasil-Alemanha, que se transformou em ponto de honra para o governo do general Ernesto Geisel e seu ministro Shigeaki Ueki, com o embaixador Paulo Nogueira Batista na presidência da Nuclebrás.

A vantagem da proposta da KWU sobre a da Westinghouse foi o compromisso assumido pelos alemães de transferir – juntamente com o projeto e os componentes das primeiras usinas a serem implantadas no Brasil – toda a tecnologia do ciclo de combustível nuclear, inclusive a do enriquecimento e, principalmente, a do reprocessamento.

Oficialmente, não se sabe se houve algum interesse das Forças Armadas por esse projeto, nem se isso foi decisivo para a concretização do Acordo Nuclear com a Alemanha.

Nessa época a Eletrobrás trabalhava na elaboração do inventário do potencial hidrelétrico brasileiro, estendendo-o por todo o país.

Até então era consenso no setor elétrico que, em médio prazo, o Brasil precisaria complementar a geração hidrelétrica mediante a instalação de parques nucleares.

Entretanto, na medida em que a Eletrobrás avançava na elaboração do inventário hidrelétrico, começava-se a perceber que um programa de geração eletronuclear seria inadequado, não apenas pelos elevados custos, mas também por motivos estratégicos, pois um tal programa desviaria recursos que seriam aplicados de maneira muito mais favorável ao Brasil se fossem destinados ao desenvolvimento das fontes renováveis de energia, que mais cedo ou mais tarde, constituirão a principal fonte de energia elétrica do mundo, uma vez que as centrais nucleares e as termelétricas convencionais dependem de fontes primárias de energia que não são renováveis, ou seja, um dia vão se esgotar, queiramos ou não.

Nos dias de hoje, em função do maior conhecimento a respeito dos potenciais hidráulico, eólico e fotovoltaico, e das possibilidades de se interligarem os parques eólicos ao sistema hidrelétrico, estamos ainda mais convencidos de que o Brasil poderá ser um dos primeiros grandes países do mundo dotado de um sistema elétrico inteiramente sustentável.

Do ponto de vista institucional, o setor nuclear brasileiro é manifestamente fraco e influenciável pelo *lobby* nuclear. Ainda mais porque não existe no Brasil uma entidade de fato independente, para supervisionar e controlar as atividades nucleares e isto representa um altíssimo risco para a população.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear deveria exercer esta função, mas ela não tem poderes para controlar as atividades da Eletronuclear – muito menos para embargar a construção de uma central nuclear, mesmo que esta possa colocar a população em risco.

O acidente de Fukushima mostrou como uma situação como esta pode ser perigosa.

De fato, o risco de acidente nuclear é muito pequeno, mas não existe obra de engenharia perfeita. Acidentes das proporções do de Fukushima podem sobrevir por motivos imprevisíveis, como ocorreu, por exemplo, em Harrisburg (Three Mile Island) e Chernobyl, onde não houve nenhum terremoto ou tsunami. E acidentes nucleares apenas começam no local e no momento em que ocorrem, depois vão se propagando de forma devastadora sobre extensas regiões, ao longo

do tempo, comprometendo a saúde da população por dezenas de anos, como até hoje está acontecendo em consequência do acidente de Chernobyl, sobre vastas região da Ucrânia e da Bielorrússia.

O que ocorreu em Fukushima foi que a agência japonesa equivalente à nossa Comissão Nacional de Energia Nuclear, que é a Agência Japonesa de Segurança Nuclear, é vinculada ao Ministério da Economia, cuja política era sujeita ao forte *lobby* da indústria nuclear. Além disso, a referida agência é muito influenciada pela Tepco, empresa que contratou a construção da usina de Fukushima e era a sua proprietária.

No caso brasileiro, a Comissão Nacional de Energia Nuclear – que é vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia – é muito influenciada pela Eletronuclear, do Ministério de Minas e Energia, que se tem mostrado vulnerável ao *lobby* nuclear.

Este *lobby* exibe o seu poder na estruturação do financiamento para a construção de Angra III. Ao ter negada a garantia Hermes para o financiamento de bancos europeus, a Eletronuclear voltou-se para a Caixa Econômica Federal, cuja razão de ser é o apoio a programas de interesse direto das pequenas e médias empresas e, evidentemente, dos extratos sociais de baixa renda, nos setores da agricultura familiar e habitacional.

No Brasil a construção de usinas eletronucleares representaria uma aplicação equivocada de recursos públicos, que trariam maiores benefícios para o país se fossem destinados a programas que efetivamente contribuíssem para melhorar a qualidade de vida de nossa população, que em grande parte vive na penúria.

No que diz respeito aos profissionais que se especializaram em engenharia nuclear e foram treinados para trabalhar nas usinas de potência, são, em sua maioria, engenheiros mecânicos e eletrotécnicos. Caso o governo finalmente resolva desativar o programa de geração eletronuclear, esses profissionais decerto encontrarão mercado de trabalho no setor privado, em empresas industriais dos setores de construção mecânica, eletroeletrônico, construção pesada, etc.

Os poucos físicos que estão na mesma situação poderão seguir suas carreiras em estabelecimentos industriais que utilizem radioisótopos para controle de qualidade e de produção; clínicas médicas e radiológicas. Aqueles que preferirem o setor público encontrarão seus caminhos em instituições de pesquisa tais como o Ipen (ex-IEA), o CENA/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo) e diversas universidades que desenvolvem atividades de pesquisa nuclear.

## ORIGEM DA AIEA E SEU PAPEL NO DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR NO BRASIL

■ Por iniciativa dos Estados Unidos, sob a presidência do general Eisenhower, foi lançado em 1953 o programa Átomos para a Paz, visando a aproveitar em atividades pacíficas a tecnologia que tinha sido desenvolvida no Projeto Manhattan, para a produção da bomba atômica.

Nesse contexto foi proposta a instituição de uma agência vinculada à ONU, para cooperar com os países membros na formação de técnicos e na estruturação de centros de pesquisa voltados para a energia nuclear.

Assim, em 1956 a ONU criou a Agência Internacional de Energia Atômica, com o objetivo de cooperar com os países membros em aplicações civis da energia nuclear (por exemplo, atividades biomédicas, aplicações industriais e agrícolas e produção de energia elétrica).

Na realidade, a AIEA teve, também, uma forte motivação estratégica, relacionada à política dos Estados Unidos de equipar seus aliados na Europa Ocidental para fazer frente a possíveis ameaças da União Soviética, naquela época de *guerra fria*.

Entretanto, deve-se enfatizar que é de fundamental importância a atuação da AIEA como controladora das atividades nucleares nos países signatários do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares.

Igualmente importante é sua participação em programas voltados para a utilização de radioisótopos nos países em desenvolvimento, nos setores agrícola, biomédico e industrial. Os programas de cooperação técnico-científica da AIEA têm sido de grande importância para o desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil.

No tocante ao setor energético, a AIEA é excessivamente otimista, seja no que diz respeito à competitividade da fissão nuclear como fonte para a geração elétrica; seja em relação à segurança das usinas nucleares; seja ainda quanto à viabilidade dos reatores “Fast Breeders”, que garantiriam a perenidade das reservas de materiais físséis.

Sobre a segurança das usinas, aquela agência chegou a afirmar que “... num reator RBMK, como o de Chernobyl, um colapso do sistema de refrigeração primária seria praticamente impossível...”. Esta afirmação está no Boletim da AIEA, Vol. 25, nº 2, p.51. Poucos meses depois, um colapso na refrigeração primária provocou naquela usina o acidente mais grave até então causado pela indústria nucle-

ar. Além disso, constata-se uma grande divergência entre os dados epidemiológicos levantados por eminentes pesquisadores ucranianos e bielorrussos, referentes às fatalidades direta ou indiretamente provocadas pelo acidente – e os números divulgados pela AIEA, que tendem a minimizar a gravidade daquele acidente.

De resto, em sua origem, a AIEA foi muito bem recebida e mesmo incentivada por algumas poderosas corporações de setores como os de equipamentos elétricos, construção mecânica e caldeiraria pesada, que já descortinavam um promissor mercado para a exportação de usinas nucleares “turn key” ou de tecnologia e componentes para a implantação de usinas nucleares.

Vem daí o empenho da AIEA na promoção de exportações da indústria nuclear dos países desenvolvidos, para países que tenham capacidade econômica para construir essas usinas – mesmo que estes disponham de fontes primárias renováveis mais baratas e menos problemáticas do que a fissão nuclear.

#### APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO

■ Ao lado de requisitos técnicos, econômicos e ambientais, o aproveitamento do potencial hidrelétrico deve respeitar o direito dos habitantes das regiões a serem alagadas, cabendo ao governo a responsabilidade de acomodar as populações ribeirinhas, mediante a execução de programas de reassentamento planejados em cooperação com as lideranças locais.

Esta é uma *conditio sine qua non* para a construção de reservatórios de acumulação na Amazônia, sem os quais a curva de armazenamento de energia será cruzada pela curva de aversão ao risco de escassez – e o sistema elétrico brasileiro entrará em colapso.

No entanto, determinados segmentos da sociedade têm a percepção de que a geração hidrelétrica é invariavelmente deletéria, por causar a “artificialização das bacias hidrográficas” e a degradação da qualidade de vida das populações locais.

Devido a essa percepção equivocada, o Brasil corre o risco de ser obrigado a imitar países que, não dispondo de vantagens como as brasileiras, têm que apelar para as ambientalmente deletérias usinas termelétricas convencionais e/ou para as centrais nucleares, expondo suas populações ao risco de acidentes catastróficos, como os que por muito pouco não aconteceram há 33 anos em Three Mile Island e há 29 anos em Saint-Laurent-des-Eaux – e de fato aconteceram há 26 anos em Chernobyl e há 3 anos em Fukushima.

Na verdade, os reservatórios hidrelétricos podem ser aproveitados para múltiplas finalidades, tais como regularização de vazões, transporte fluvial, irrigação

de grandes áreas visando à produção agrícola, pesca interior, turismo ecológico, etc. Todos esses usos requerem a proteção das nascentes e a preservação das matas ciliares, sendo, portanto, ambientalmente benéficos – ao contrário do que supõem os adversários emocionais dos reservatórios hidrelétricos.

Um notável exemplo de uso múltiplo de bacia hidrográfica é o da usina hidrelétrica de Três Marias, originalmente projetada apenas como reservatório de regularização, para irrigar 100 mil hectares do Projeto Jaíba, em Minas Gerais. Esse reservatório (que cobre uma área maior do que o dobro da Baía da Guanabara) é responsável pelo desenvolvimento da outrora paupérrima região nordeste de Minas. A geração hidrelétrica foi apenas uma decorrência de sua construção.

Outro exemplo é o da hidrelétrica de Sobradinho, que permitiu o desenvolvimento do maior polo de fruticultura irrigada do Brasil (Veiga Pereira *et al.*, 2012).

Ainda outros exemplos são algumas hidrelétricas da Light e da Cesp, cujos reservatórios regularizam a vazão da bacia do rio Paraíba do Sul e permitem a captação de água para a região metropolitana do Rio de Janeiro e algumas cidades do trecho paulista daquela bacia.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, o potencial hidrelétrico brasileiro passível de ser técnica e economicamente aproveitado nas atuais condições de tecnologia é de 250 GW, dos quais 83 GW já estão em aproveitamento (EPE, 2012).

Dos 167 GW que ainda poderiam ser aproveitados, cerca de 108 GW situam-se na Amazônia e 59 GW nas demais regiões do país.

Admitamos que, por motivos sociais, 20% do potencial amazônico permaneçam intocados. Admitamos também que, devido às mudanças climáticas, reduza-se a energia natural afluyente, assegurada pelo fluxo dos rios da região. Aqui, o maior impacto do desmatamento na Amazônia deverá ser sobre a bacia do rio Xingu, onde a descarga poderá diminuir de 11% a 17% em relação ao cenário com a floresta preservada. (Stickler, 2014)

Tomando-se o caso mais desfavorável (vazão reduzida em 17%) restariam 72 MW a serem instalados na Amazônia. Suponhamos, ainda que, por motivos ambientais, 10% do potencial das demais regiões fiquem intocados.

Sobraria, então, um potencial da ordem de 53 GW, fora da região amazônica.

Assim, em adição aos 83 GW já em aproveitamento, ainda poderiam ser construídas hidrelétricas totalizando uma capacidade da ordem de 125 GW, de modo que o parque hidrelétrico brasileiro, como um todo, poderá ter uma capacidade total de 208 GW.

A fim de assegurar que a energia armazenada seja suficiente para suprir o sistema durante as estações secas, o volume global dos reservatórios brasileiros

deverá duplicar, tornando indispensável a implantação dos grandes reservatórios já inventariados e ambientalmente passíveis de serem aproveitados, em particular na Amazônia.

Neste caso, a área alagada seria inferior a 1% da área daquela região (incluindo-se a área normalmente já ocupada pelos rios, nas estações chuvosas). Parece claro que tal impacto pode ser assimilado em pouco tempo pelo ecossistema regional.

Assinale-se que, por comprometerem a vazão dos rios, as alterações causadas por desmatamentos inviabilizariam as próprias hidrelétricas (Carvalho, 2012). Por isso, os empresários e concessionário de usinas hidrelétricas devem ser os maiores interessados na preservação do ecossistema amazônico e, ao atribuir concessões para a exploração de usinas hidrelétricas na região, o governo deve adotar a política de obrigar contratualmente (sob pena de multas e cassação das concessões) os concessionários a manterem guardas florestais, com a atribuição de fiscalizar e proteger as nascentes, matas ciliares e outros ecossistemas sensíveis, situados na região de influência dos reservatórios.

## O POTENCIAL EÓLICO

■ Em 2001, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Eletrobrás/Cepel) realizou um inventário do potencial eólico brasileiro, estimando-o em 143,5 GW para turbinas encontradas no mercado, instaladas em torres de 50 metros.

Estudos mais recentes mostram que, com o desenvolvimento de turbinas mais eficientes e torres mais altas, o potencial pode superar 215 GW.

As perspectivas de se inventariar um potencial ainda maior são muito auspiciosas, com os ganhos de escala e aprendizado, resultantes do desenvolvimento tecnológico e da nacionalização da cadeia produtiva eólica (Ricosti, Sauer, 2012).

Acresce que as mudanças climáticas deverão causar um impacto bastante positivo sobre o potencial eólico (Schäffer, 2011).

Naturalmente, a implantação de parques eólicos deve ser planejada por forma a evitar que interfiram nas rotas de migração da fauna alada, ou provoquem impactos acústicos acima de limites toleráveis, em regiões habitadas.

## UM SISTEMA HIDROEÓLICO

■ Um sistema como brasileiro, que interligue de forma racional e eficiente os parques hidrelétrico, eólico e térmico a biomassa com as capacidades e fatores de capacidade indicados na tabela 1, poderá gerar cerca de 1.238 TWh por ano.

TABELA I. Sistema Elétrico Interligado

Parque gerador	Capacidade (GW)	Fator de capacidade *
Hídrico	208	0,43
Eólico	215	0,22
Térmico a bagaço	15	0,30

\*Conservadoramente, tomamos fatores de capacidade isolados e baixos. No sistema interligado, o f.c. deve superar a média ponderada dos sistemas isolados.

As usinas térmicas a bagaço de cana também seriam interligadas à rede básica. Segundo a União da Agroindústria Canavieira, estas usinas poderão, em conjunto, adicionar à rede uma capacidade de 15 GW (Única, 2.008).

As termoelétricas a gás natural já existentes seriam acionadas (com suprimento flexível de combustível) apenas em períodos hidroelétricos críticos, otimizando a operação do sistema e servindo como seguro para reduzir riscos de racionamento (Carvalho e Sauer, 2012).

\* \* \*

■ Para interligar-se o sistema na forma acima descrita, será necessário realizar grandes investimentos na modernização dos sistemas de transmissão e distribuição, inclusive mediante o emprego de tecnologias avançadas, como as redes inteligentes (*smart grids*), para que o despacho dos parques eólicos seja continuamente associado ao despacho das hidrelétricas, elevando consideravelmente o fator de capacidade do sistema interligado (Carvalho, 2012).

Igualmente necessário é que o planejamento do setor energético seja mais abrangente, siga diretrizes estratégicas bem definidas para o longo prazo e seja normativo, diferentemente dos planos feitos nos dias de hoje, que são influenciados pela conjuntura política, por pressões corporativas e até por interesses mercantis de curto prazo.

E será indispensável que a Empresa de Pesquisa Energética e o Operador Nacional do Sistema sejam formalmente vinculados, a fim de compatibilizar os planejamentos de curto e médio prazos, com a operação do sistema; evitando os desentendimentos que têm colocado em risco o suprimento de energia, embora a afluência mínima dos rios brasileiros, em seu conjunto, não tenha passado por mínimos inferiores a 15% abaixo da afluência média, nos últimos 10 anos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS.

■ Neste artigo não foi quantitativamente considerado o potencial fotovoltaico, o qual – com o desenvolvimento tecnológico nos campos dos semicondutores e das redes inteligentes – poderá desempenhar um papel muito importante no sistema elétrico brasileiro. Já em 2.014, a Alemanha, por exemplo, que é um dos países mais avançados no uso da energia solar direta, tinha, uma capacidade de 38,1 GW em painéis fotovoltaicos, podendo gerar cerca de 31,5 TWh de energia elétrica no ano (Fraunhofer, novembro de 2.014).

No presente artigo também não foi considerado o potencial energético dos mares (energia das ondas, das marés, das correntes marinhas, etc.). Considerando que o Brasil tem mais de 8 mil quilômetros de costa atlântica, presume-se que este potencial seja significativo.

No artigo também não foi tomado em conta o aproveitamento de resíduos urbanos em minicentrals termelétricas que, em conjunto, podem ter um potencial muito grande, dada a magnitude do problema colocado pelo descarte desses resíduos, num país de população urbana superior a 160 milhões de habitantes.

Quanto aos custos da energia elétrica, estes compõem-se de uma parte fixa, correspondente à amortização do capital investido – e de uma parte administrável, composta pelas despesas necessárias ao funcionamento da usina geradora.

A parte fixa abrange as despesas incorridas na implantação da usina (projetos, equipamentos, construção, montagem e testes), e a parte administrável compreende as despesas de operação e manutenção, seguros, salários, encargos trabalhistas, etc. Modicidade tarifária implica racionalização dessas despesas, sendo, portanto, incompatível com pressões corporativas e interesses mercantis de curto prazo.

No caso das usinas nucleares, há também os custos do combustível, do descomissionamento ao fim da vida útil e da administração dos rejeitos radiativos.

Os custos efetivamente praticados devem ser estabelecidos por meio de negociações entre o poder concedente e o investidor, nas quais entram critérios subjetivos tais como “atratividade” para o investidor e “razoabilidade” para os consumidores; daí o imperativo ético de que o processo seja absolutamente transparente.

Calcula-se que, no Brasil, o custo da energia hidrelétrica fique em cerca de R\$ 80/MWh e o da nuclear em R\$ 200/MWh (Carvalho, Sauer, 2009).

Entre ambos vem a energia eólica, que foi negociada por algo em torno de R\$ 140/MWh, em recentes leilões promovidos pela EPE, do Ministério de Minas e Energia.

## CONCLUSÃO

■ À guisa de conclusão, podemos afirmar que um sistema hidroeólico estruturado nas condições brasileiras seria inteiramente sustentável e teria capacidade para cobrir indefinidamente a demanda brasileira por energia elétrica.

De fato, como foi mostrado no item “Um sistema hidroeólico”, graças aos seus imensos potenciais hídrico e eólico, o Brasil poderá estruturar um sistema hidroeólico capaz de gerar, de forma renovável e sustentável, cerca de 1.238 TWh por ano.

Assim, a partir de 2.050, quando, segundo o IBGE, população estará estabilizada em 215 milhões de habitantes, o sistema hidroeólico teria capacidade para oferecer ao país, em caráter permanente, algo em torno de 5.760 kWh por habitante por ano.

Isto significa que, apenas com o aproveitamento de fontes de energia limpas e sustentáveis, o Brasil poderá, em matéria de energia elétrica, equiparar-se a países europeus altamente desenvolvidos.

Por fim, é importante ter em mente que, a partir de um patamar razoável, o bem estar de uma sociedade não depende, necessariamente, do crescimento à *outrance* da produção física, nem de um grande consumo de energia.

Países como a Suíça e a Alemanha, por exemplo, não crescem desmesuradamente e, em termos *per capita*, consomem três vezes menos energia do que os Estados Unidos, no entanto os suíços e alemães desfrutam de uma qualidade de vida superior à dos norte-americanos.

Em outras palavras, o desenvolvimento deve ser buscado através do aprimoramento da educação e da saúde pública, do aperfeiçoamento dos processos de produção e da qualidade dos produtos, da racionalização da infraestrutura de telecomunicações e dos sistemas de transportes e assim por diante – e, naturalmente, do uso racional da energia para essas finalidades (Carvalho, 2011).

Se não for assim, carece de sentido o crescimento a qualquer custo, tão ansiosamente almejado por determinadas correntes de economistas.

---

JOAQUIM FRANCISCO DE CARVALHO · Mestre em engenharia nuclear e doutor em energia pela USP. Foi diretor industrial da Nuclen (atual Eletronuclear).

## REFERÊNCIAS

- CARVALHO, J.F. O espaço da energia nuclear no Brasil, *Estudos Avançados*, v 26, nº 74, p. 293-308, doi:10.1016/j.enpol.2008.12.020, 2012.
- CARVALHO, J.F. SAUER, I.L. Does Brazil need nuclear power plants?, *Energy Policy*, v. 37, p. 1580-1584, 2009.
- CARVALHO, J.F. Measuring economic performance, social progress and sustainability using an index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2011.
- EPE – Balanço Energético Nacional, 2012.
- FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME – ISE, novembro de 2014
- RICOSTI, J.C. SAUER I.L., An Assessment of Wind Power Prospects in the Brazilian Hydrothermal System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 19, p. 742–753 2013.
- SCHÄFFER, R. Vulnerabilidade do Sistema Hidroelétrico Brasileiro às Mudanças Climáticas no Brasil, IV Conferência Regional sobre Mudanças Globais: O Plano Brasileiro para um Futuro Sustentável -Painel Segurança Hídrica, 2011.
- STICKLER, C. M. *et all.* Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales, PNAS Early Edition, [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1215331110](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1215331110)
- ÚNICA – União da Indústria da Cana de Açúcar. A Importância do etanol e da co-geração na atual matriz energética brasileira e os principais desafios, 2008.
- VEIGA PEREIRA, M.; KELMAN, R e CASTRO, T. Energia hidrelétrica e outras fontes renováveis. In: *Opção pela Energia Hidrelétrica e Outras Fontes Renováveis*, Forum Nacional, INAE, 2012.

# O Desenvolvimento da Indústria de Energia Eólica no Brasil: aspectos de inserção, consolidação e sustentabilidade

ELBIA SILVA GANNOUM

## I. APRESENTAÇÃO

■ A energia eólica tem experimentado um exponencial e virtuoso crescimento no Brasil. De 2009 a 2014, nos treze leilões dos quais a fonte participou, foram contratados cerca de 14 GW em novos projetos. Tais projetos elevarão a capacidade eólica instalada no País, em mais de 16 GW até 2019, quantidade 2,8 vezes maior do que a capacidade atual, e atrairá mais de 45 bilhões de Reais em investimentos.

Fatores estruturais somados a uma conjuntura internacional favorável explicam a trajetória virtuosa da energia eólica no Brasil. Esta trajetória teve início com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei 10.762 de 11 de novembro de 2003 e regulamentado pelo Decreto nº 5.025 de 30 de março de 2004. Tal política trouxe o País a um patamar ímpar, em que se contratam, atualmente, energias renováveis não convencionais, sem necessidade de subsídios, como as tarifas *feed-in*, política de investimento em energias renováveis muito utilizada na União Europeia, que consiste na aplicação de tarifas diferenciadas para essas fontes.

O desenvolvimento tecnológico, principal fator de competitividade desta indústria, somado às especificidades dos ventos brasileiros, permitem uma vantagem comparativa única ao Setor Eólico Brasileiro. Soma-se a este cenário, o momento de crise internacional, com forte impacto nos anos 2009 a 2012, em que o Brasil se tornou, junto com a China e Índia, um importante *locus* de inves-

timento para este setor, uma vez que Europa e EUA reduziram e, em alguns casos, cortaram seus investimentos em fontes renováveis subsidiadas.

O objetivo deste artigo é apresentar a recente trajetória da indústria de Energia Eólica do Brasil, seus principais aspectos de inserção, consolidação e perspectivas de sustentabilidade. Desta forma a seção 2 apresenta a trajetória da fonte eólica desde a fase de subsídios (PROINFA) ao Modelo Competitivo; a seção 3 aborda os fatores estruturais e conjunturais que explicam esta trajetória; a seção 4 apresenta o estágio atual da Fonte Eólica no Brasil e a seção 5 apresenta os desafios para a consolidação e sustentabilidade desta fonte no longo prazo.

## 2. SOBRE A TRAJETÓRIA DA FONTE EÓLICA NO BRASIL

■ Iniciado em 2002, o PROINFA colocou em marcha as políticas públicas destinadas a diversificar a matriz energética do país a partir de novas fontes de energia. Foram alocados 3.300 MW de capacidade instalada divididos entre as fontes eólica, biomassa e PCH. Neste período, foram contratados 1.423 MW de projetos de empreendimentos eólicos. A aquisição se fez por meio de contratos de 20 anos firmados com a ELETROBRÁS e preço definido pelo Poder Executivo e corrigidos pelo Índice Geral De Preços Do Mercado (IGP-M), associado a um programa de financiamento do BNDES que determina a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização das peças e componentes eólicos a serem utilizados nestes projetos.

A preços atuais, a fonte eólica foi contratada por pouco mais de R\$ 370,00/MWh, enquanto para as demais fontes (PCH e Biomassa), foram pagos preços em torno de R\$ 200,00/MWh, em contraste com a hidrelétrica convencional que foi contratada com o preço de R\$ 100,00/MWh, naquele período.

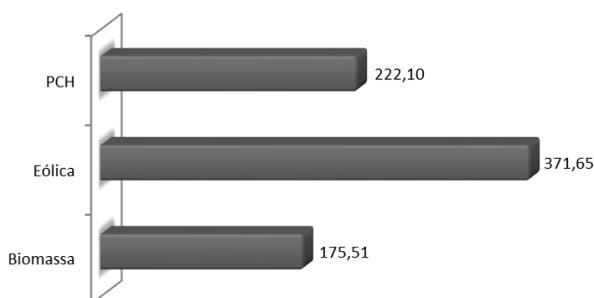
O gráfico a seguir apresenta o valor médio da energia por fonte, divulgado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ao aprovar as quotas de energia e de custeio do PROINFA para 2015.

Essa modalidade de contratação, regida pelo PROINFA, é muito semelhante ao regime de tarifas *feed-in*, utilizado na Europa e na maioria dos países desenvolvidos que programaram uma forte política de renováveis em meados da década de 90.

Entretanto, o recente sucesso da inserção da energia eólica na matriz elétrica no Brasil ocorreu na fase Competitiva. Esta fase vem se sustentando desde o Leilão de Energia de Reserva (LER) de 2009, que foi o primeiro leilão de comercialização de energia voltado exclusivamente para a fonte eólica. Foram contratados por meio do Leilão 1.806 MW de potência eólica. Nos anos subsequentes, de 2010 a 2014, foram realizados mais 12 leilões e foram contratados mais de 12 GW,

tendo sido contratos desde 2009 o total de 14 GW, com a média de contratação de 2,3 GW por ano. Durante este período a fonte eólica vem apresentando uma forte redução nos custos de produção, o que contribuí em grande grau para a manutenção de sua competitividade.

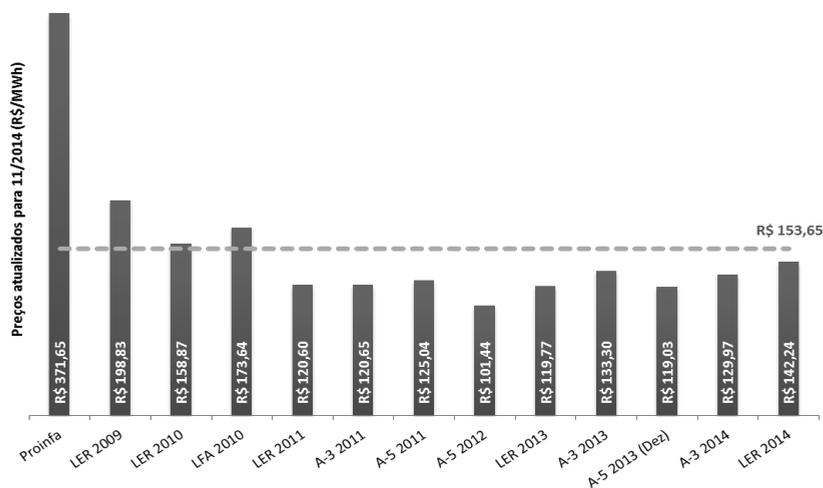
GRÁFICO 1. Valores Médios PROINFA (R\$/MWh)



Fonte: ABEEólica/ANEEL.

O gráfico abaixo mostra o histórico dos preços da fonte eólica no Brasil, desde o PROINFA, com preços atualizados para novembro pelo IGP-M para o PROINFA e pelo Índice Nacional De Preços Ao Consumidor Amplo (IPCA).

GRÁFICO 2. Preços Médios PROINFA e leilões



Fonte: ABEEólica.

A fonte eólica é hoje a segunda fonte de energia mais competitiva do Brasil, ocupam a primeira posição as usinas hidrelétricas de grande porte como é o caso de Belo Monte e as Usinas do Rio Madeira com preços de R\$101,98/MWh, R\$117,17/MWh (UHE Santo Antônio) e R\$103,11 (UHE Jirau)<sup>1</sup>, respectivamente.

Em análise da primeira etapa de implementação do Setor, verificam-se dificuldades práticas que comprometeram o desenvolvimento de alguns projetos, como atrasos na entrada em operação, devido a exigências onerosas e burocráticas para a obtenção e/ou renovação das licenças ambientais; dificuldades e morosidade na obtenção de Declaração de Utilidade Pública para as Linhas de Transmissão; impasses nas negociações para obter o direito ao uso dos bens e direitos afetados pelos projetos, em particular dos terrenos, que em numerosos casos, encontravam-se comprometidos por complexas relações de ocupação com disputas entre proprietários e posseiros que dificultaram a identificação titular da propriedade; além de diversos obstáculos para a conexão às redes.

Destaca-se ainda, um fator preponderante o qual foi posterior objeto de intervenção por parte do Governo: a insuficiente capacidade da indústria nacional em atender a demanda de aerogeradores, no período citado. Devido a estas primeiras experiências, os prazos previstos pelo PROINFA foram prorrogados para alguns empreendimentos atrasados, de forma que o último parque do eólico do Programa entrou em operação em Dezembro de 2011.

Os gargalos relativos à insuficiência de equipamentos foram também objeto de políticas públicas, quando o Governo Federal acertadamente alterou os critérios de habilitação dos projetos nos leilões competitivos de 2009. A partir de então, a potência das máquinas importadas, foram reduzidas de 2 MW para 1,5 MW para os aerogeradores importados. Tal fator foi decisivo para o atendimento à demanda do mercado por bens de capital, e impulsionou a competição na indústria eólica, resultado do forte investimento na indústria nacional.

A execução do PROINFA sinalizou a atratividade para o investimento na indústria Brasileira, trouxe melhor entendimento técnico sobre as plantas e sobre o modo de produção e domínio da tecnologia. Tais investimentos consideraram ainda nesta fase as regras de financiamento para conteúdo nacional, de cerca de 60%, somado a um estruturado modelo de financiamentos e políticas regionais, o que permitiu no médio prazo que a indústria local praticasse preços competitivos.

---

1 Todos os preços foram corrigidos pelo IPCA de novembro de 2014.

Tal resultado, conforme apresentado, conduziu o País a um patamar ímpar, em que se contratam energias renováveis não convencionais, como é o caso da eólica, a preços muito competitivos nos leilões regulados.

No que se refere ao Programa de Financiamento adotado no Brasil, vale destacar que o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES) tem sido preponderante na viabilização dos setores de infraestrutura, cabendo em especial para a indústria de energia eólica, uma vez que nos contratos do PROINFA foi adotado o modelo de *Project Finance* para viabilizar estes financiamentos. Modelo este, que devido o elevado grau de sucesso, foi replicado para os projetos de geração e transmissão de energia no Novo Modelo do Setor Elétrico, implementado em 2004.

As principais vantagens deste modelo às quais vem sendo percebidas pelos consumidores, permitem viabilizar a mobilização de grandes volumes de recursos para investimentos em infraestrutura e reduzir, via diminuição nos custos de capital, o preço de produtos e serviços. Ou seja, é o uso desta modalidade de financiamento que tem viabilizado o avanço da modicidade tarifária em prol dos consumidores, como se tem verificado em praticamente todos os leilões de geração e transmissão de energia, ocorridos desde 2004.

Em decorrência da acertada política de implementação do PROINFA, o Brasil conta atualmente com 10 fábricas de aerogeradores, 9 fábricas de torres, 4 fábricas de pás além de uma cadeia de subcomponentes em pleno desenvolvimento.

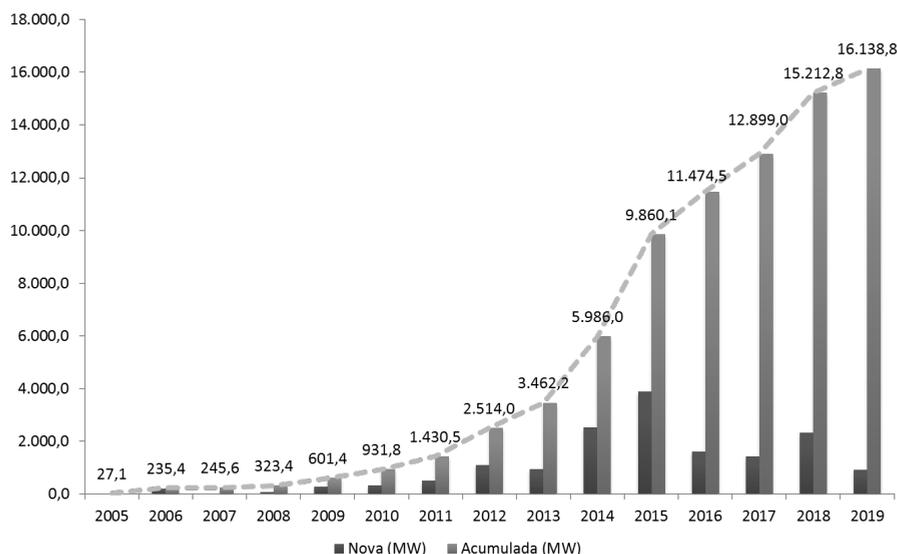
A despeito dos atrasos ocorridos na fase PROINFA, o ritmo de implementação dos parques eólicos e o montante de potência instalada alcançaram intensa dinâmica nos últimos dois anos do programa. Desta forma, ao final de 2011 (final do prazo de entrada em operação dos projetos), dos 1.423 MW contratados, entraram em operação efetiva 54 parques, em 8 unidades federativas com potência total de 1.300 MW, com um atraso médio de 24 meses.

Resultados demonstram, sem dúvida, que o programa foi um sucesso, seja do ponto de vista da implementação efetiva da potência contratada e, principalmente, dos resultados de longo prazo para a indústria. Uma vez que a competitividade desta indústria está francamente atrelada à aplicação de políticas públicas, que permitiu estabelecer fatores estruturais para a redução dos custos e garantir a sustentabilidade de toda uma cadeia produtiva.

A capacidade contratada em leilões, ainda não implementada, somada à capacidade das usinas que já se encontram em operação, leva o Brasil a uma potência instalada de 16,1 GW eólicos até o final de 2019, perfazendo este montante a participação da energia eólica na matriz elétrica em torno de 10%.

A Figura abaixo apresenta a capacidade instalada da fonte eólica até 2019 quando entrarão em operação os últimos projetos já contratados nos leilões.

GRÁFICO 3. Evolução da capacidade instalada



Fonte: ABEEólica.

Cabe destacar que a figura acima apresenta apenas a potência contratada, registra-se que haverá leilões nos anos 2015, 2016 e 2017, e com os quais será contratado novo montante de potência, incrementando a capacidade instalada em cada ano.

Incluindo a contratação realizada na fase PROINFA, o montante total comercializado desde 2009 permite ao mercado eólico construir um cenário de crescimento da cadeia produtiva da indústria de energia eólica e manter sua competitividade.

### 3. FATORES ESTRUTURAIS E CONJUNTURAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA BRASILEIRA

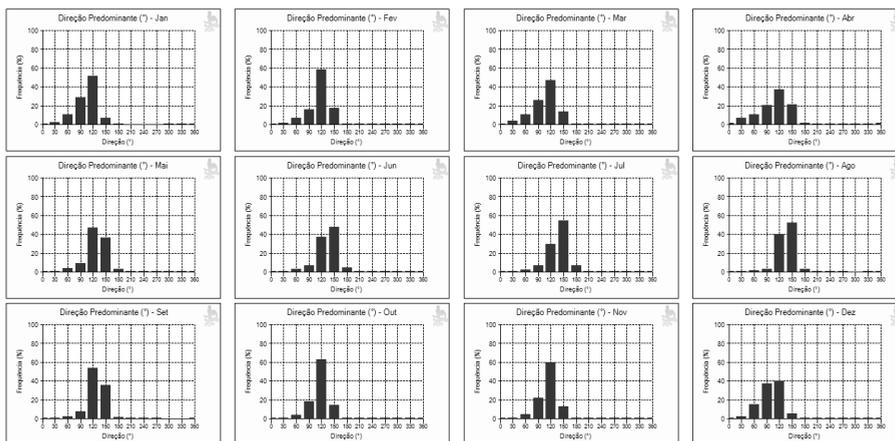
■ O desenvolvimento tecnológico é um dos principais fatores de competitividade desta indústria. O aumento na altura dos aerogeradores, de 50m para 100m, e o aumento no comprimento das pás e no diâmetro dos rotores, somados às

especificidades dos ventos brasileiros, permitem ao Brasil ter uma vantagem competitiva única frente aos demais países.

Soma-se a estas circunstâncias uma conjuntura de crise internacional, com considerável impacto nos anos 2009 a 2012, em que o Brasil se tornou, ao lado da China e Índia, um importante *locus* de investimento para este setor, em decorrência da redução e cortes de investimentos feitos pela Europa e EUA em fontes renováveis subsidiadas.

Para além do cenário econômico nacional e internacional, e do desenvolvimento tecnológico, a excelente qualidade dos ventos brasileiros para a geração de energia elétrica auxiliam para o franco desenvolvimento deste Setor. A Figura abaixo exemplifica uma das principais características dos ventos do nordeste brasileiro. Durante o ano todo o vento permanece na mesma direção e apresenta poucas variações de sentido, fazendo com que o rendimento dos aerogeradores seja ideal, já que as máquinas não precisam alterar seu posicionamento para captar o vento.

FIGURA 1. Direção do Vento no RN em 2013



Fonte: EPE.

A competitividade da indústria eólica pode ser visualizada pela queda do valor médio de investimento (CAPEX total), o qual foi reduzido em quase 50% nos últimos 8 anos. Apenas para exemplificar, o valor inicial de R\$ 6 milhões por MW instalado (PROINFA) foi reduzido para R\$ 3,5 milhões por MW instalado nos leilões de 2011. Tal redução se justifica em grande parte pela revolução tecnológica que a indústria sofreu nos últimos anos e, especialmente, pela massi-

va entrada de fabricantes de aerogeradores no Brasil, principalmente a partir de 2009, quando o número de fabricantes passou de 2 e atingiu 10, em 2014. Com os novos desafios enfrentados pela fonte eólica a partir de 2013, os investimentos rondam os R\$ 4,5 milhões por MW.

Para desenvolver uma indústria forte, consolidada e exportadora, a competição e a inovação tornam-se fatores cruciais. Sobre este aspecto, é importante destacar que a indústria de energia eólica no mundo com tecnologia econômica e viável é demasiadamente recente: somente a partir de meados da década de 90, é que se começou a receber massivos investimentos em tecnologia, conforme quadro seguinte.

FIGURA 2. Evolução histórica mundial da tecnologia eólica



Fonte: EPE.

Um fato curioso é que os recentes investimentos no Brasil têm demonstrado certa redução no preço da energia eólica nos leilões. Diante da redução dos investimentos, no exterior, e com seus estoques cheios, as empresas fabricantes de equipamentos buscaram alternativas, nos promissores mercados dos países em desenvolvimento, e em especial, nos BRIC.

A China poderia ser uma boa alternativa para estes fabricantes, por ser o país com maior mercado mundial crescente de energia eólica. No entanto, este exuberante mercado é essencialmente suprido por fornecedores locais. Assim, os fabricantes de aerogeradores europeus e norte-americanos passaram a concentrar suas vendas em novos mercados, como os da América do Sul.

Dessa forma, o Brasil aparece como o verdadeiro polo de atração de investimentos para os fabricantes de equipamentos, que consideram sua perspectiva de crescimento econômico sustentável, e demanda com elasticidades superiores a 1,3 vezes, o que traduz em um aumento constante na demanda de eletricidade.

A tendência é de continuidade para o crescimento da indústria eólica no Brasil, a qual é atribuída à sinalização por parte do Governo em contratar esta fonte nos leilões regulados e também pela configuração da matriz elétrica futura projetada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com a publicação do Plano Decenal de Energia Elétrica (PDE), para o cenário de 2023, que prevê participação de mais de 11% dessa fonte.

Diante desta perspectiva, registra-se, principalmente a partir de 2009, a instalação de um grande número de fabricantes interessados no mercado brasileiro e uma forte redução nos preços de venda dos insumos eólicos. A estratégia destas empresas se fez com a entrada agressiva no mercado brasileiro, com preços baixos, e com a oferta dos equipamentos em estoque e, mais recentemente, a instalação de unidades fabris no país.

Pelos motivos apresentados, inicialmente houve uma tendência à entrada de equipamentos de tecnologia secundária para atender a demanda por equipamentos a custos mais baixos, não representando, portanto, equipamentos com tecnologia de ponta. Entretanto, a partir dos leilões de 2010 e principalmente dos leilões de 2011, este cenário mudou. Os últimos equipamentos instalados vêm refletindo a tecnologia de ponta dos fabricantes. O Brasil consegue atrair hoje o investimento em aerogeradores de última geração com potência de 3MW, torres com 120 metros de altura e pás com mais de 60 metros de comprimento.

Tais tecnologias se referem à geração de energia eólica *onshore*, uma vez que os parques *offshore* tendem a terem máquinas muito maiores, com potência acima de 6 MW e, atualmente de 9 MW. Entretanto, esta tecnologia ainda é onerosa e não se observa perspectiva em médio prazo do potencial eólico brasileiro *offshore*.

Quanto ao grau de evolução tecnológica dos equipamentos e à estrutura do mercado mundial da indústria eólica, conclui-se que esta se encontra em pleno desenvolvimento no mundo e especialmente no Brasil.

#### 4. ESTÁGIO ATUAL DA FONTE EÓLICA NO BRASIL

■ O ano de 2011 foi marcado pela consolidação da inserção da energia eólica na matriz energética brasileira, considerando a expressiva contratação nos leilões ocorridos naquele ano, 2.905 MW no total.

Tal montante foi muito superior aos 2 GW esperados para que a indústria mantenha, de forma sustentável, sua cadeia produtiva. Além disso, ao atingir, naquele momento, o patamar médio de preços de R\$ 100,00/MWh, a eólica se firmou como a segunda fonte mais competitiva do País. A preços de hoje a energia eólica é comercializada por R\$ 140,00/MWh.

Desde 2009, a indústria vem crescendo a uma taxa média anual de 2,3 GW por ano, de forma que, até o final de 2023, considerando o PROINFA e o que foi contratado até o momento, a fonte alcançará 25 GW de capacidade instalada, o que corresponderá a cerca de 13% da matriz elétrica nacional.

O ano de 2013 pode ser considerado o ano “espetacular de contratação” para a fonte eólica no Brasil, considerando o elevado grau de contratação da fonte no período, 4,7 GW de potência. Além disso, segundo dados da CCEE, dos Leilões de Energia Nova, realizados a partir de 2004, no âmbito do novo modelo do setor elétrico, a energia eólica ocupa o segundo lugar em contratações com 14 GW do total.

Uma indústria com alto grau tecnológico e de inovação que guarda em si grandes complexidades e um potencial de inovação intenso, exige um sinal de investimento de longo prazo adequado. Em termos da economia brasileira, a matéria publicada pelo jornal Folha de São Paulo em dezembro de 2013, aponta que o Setor Eólico foi um dos setores que mais cresceram economicamente em 2013, cerca de 1500%, a despeito do fraco desempenho do país naquele ano.

Este ano de 2014, em que comemoramos 10 anos do Decreto de criação do PROINFA, a fonte já alcança cerca de 6 GW de capacidade instalada com mais 10 GW contratada para os próximos cinco anos. Demonstrando um salto significativo na participação da fonte na matriz elétrica, de 4% atualmente para cerca de 10% em 2019. A capacidade instalada atual possibilita o fornecimento de energia a mais de dez milhões de residências.

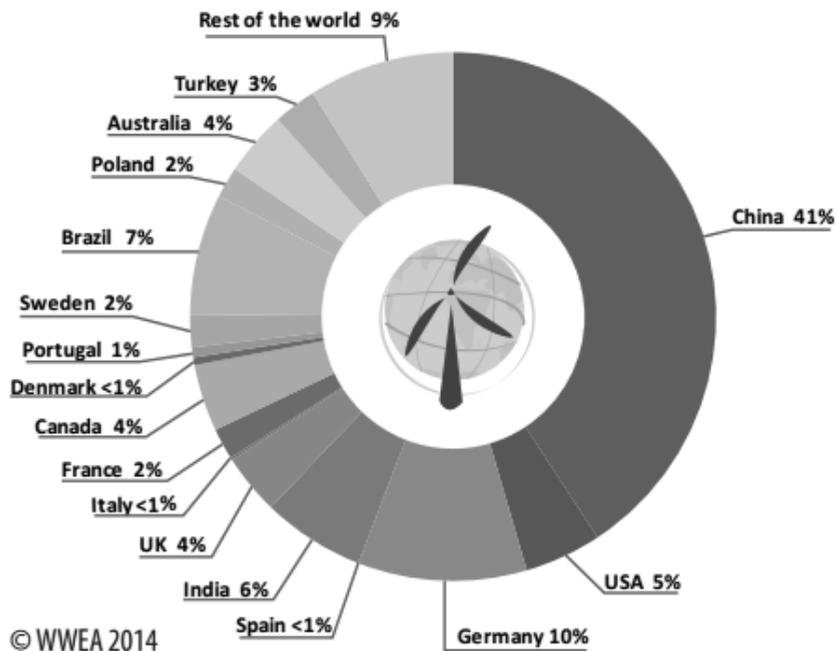
A energia eólica é uma fonte limpa e renovável, que gera empregos e renda para o Brasil. Até o final de 2014 terão sido gerados cerca de 90 mil empregos diretos e indiretos sendo que neste ano foram investidos no setor cerca de R\$ 12 bilhões de reais com previsão de chegar a mais R\$ 50 bilhões até 2019.

Do ponto de vista socioeconômico, a geração de empregos e renda em regiões carentes demonstram um papel relevante das externalidades positivas de-

correntes da geração eólica. O pagamento referente aos arrendamentos é feito diretamente aos proprietários das áreas, representando geração e injeção de renda por, no mínimo, 20 anos em regiões que, em sua maioria, são bastante carentes, com economias estagnadas, inclusive no semiárido brasileiro.

A expressiva expansão eólica brasileira foi destaque no recente estudo realizado pela Associação Mundial de Energia Eólica, que foi publicado no primeiro semestre de 2014. O Brasil se posicionou no terceiro lugar de maior mercado de turbinas eólicas no mundo, o que representa 7% da venda mundial destes equipamentos, conforme gráfico a seguir.

FIGURA 3. Nova Capacidade Instalada HI 2014: 17'613 MW



Fonte: WWEA.

O potencial eólico brasileiro *onshore* é estimado em 350 GW, possuindo alta relevância face à necessidade de aumento da capacidade instalada nacional. Em condições normais de PIB, o País contrata, por ano, cerca de 6 GW de potência nos leilões de energia nova e o potencial eólico disponível deve ser explorado para atender esta demanda.

O Brasil deve saltar neste ano de 2014 da 13<sup>a</sup> posição em termos de capacidade instalada para a 10<sup>a</sup> posição, o que demonstra o cenário virtuoso do setor.

O Climatescope, relatório recente publicado pela Bloomberg New Energy Finance, apresenta o Brasil como o segundo país mais atrativo do mundo em investimentos em energias renováveis.

FIGURA 4. Ranking mundial Climatescope



Fonte: Climatescope.

O estágio atual da fonte apresentado pelos números de uma indústria nascente que alcança com velocidade ímpar um alto grau de maturidade, coloca o Brasil em uma posição privilegiada, em que se contratam fontes renováveis de forma competitiva e ainda se desenvolve uma cadeia produtiva de alto valor agregado e tecnológico.

2 Ao final de 2013, o Brasil foi classificado na 13<sup>a</sup> posição em termos de capacidade instalada, pelo GWEC.

## 5. DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A CONSOLIDAÇÃO E SUSTENTABILIDADE DA FONTE EÓLICA NO BRASIL

■ Diante dos números volumosos desta indústria, é importante notar que o crescimento exponencial de um setor de infraestrutura com tamanha complexidade, traz ao setor muita responsabilidade e muitos desafios.

O setor enfrenta desafios significativos, principalmente a partir do ano de 2012, com destaque para a logística de insumos eólicos e a disponibilidade de transmissão. Soma-se a este cenário de desafios, a revisão das regras no credenciamento dos fabricantes na linha de financiamento Finame, oferecida pelo BNDES, as quais passaram a valer a partir de 2013 e a publicação da Medida Provisória 579 que configuraram momentos sensíveis ao setor.

Atualmente, a grande demanda da indústria é com relação ao planejamento e a expansão do sistema de transmissão que devem ser aperfeiçoados, levando em consideração os grandes potenciais eólicos nas regiões do semiárido brasileiro e no sul do país. Com um planejamento adequado, os leilões de transmissão devem ser realizados com antecedência aos leilões dos parques eólicos, garantindo a capacidade de escoamento da energia e promovendo sua expansão.

Reforça-se ainda a necessidade do desenvolvimento da fonte eólica no Mercado Livre, com vistas a permitir que a indústria e o setor de serviços também tenham acesso a essa fonte limpa, renovável, e competitiva. E, vencendo tais desafios, criam-se algumas das condições necessárias para que o Brasil se torne uma plataforma de exportação de equipamentos eólicos com vistas a atender os países da América Latina, Caribe e África do Sul.

No que se refere aos leilões e as políticas para o setor cabe destacar que dos investimentos em fontes renováveis de energia em termos mundiais, as fontes eólica e solar vem se destacando fortemente nos últimos dez anos, principalmente em termos de evolução tecnológica e custos de produção. Tais fatores permitem um aumento exponencial dos investimentos nessas fontes, o que resulta em forte competição nos preços dos equipamentos.

Diante da grande participação das fontes eólicas nos leilões de energia no mercado brasileiro e os recentes resultados de preços, cerca de R\$ 136,00 por MWh na média dos leilões realizados em 2014, uma série de questões vêm sendo levantadas a respeito do modelo de contratação brasileiro, essencialmente os leilões para atender o mercado regulado, e questiona-se se esse processo deve ser revisado para que se possa contratar outras fontes renováveis e diversificar a matriz elétrica brasileira.

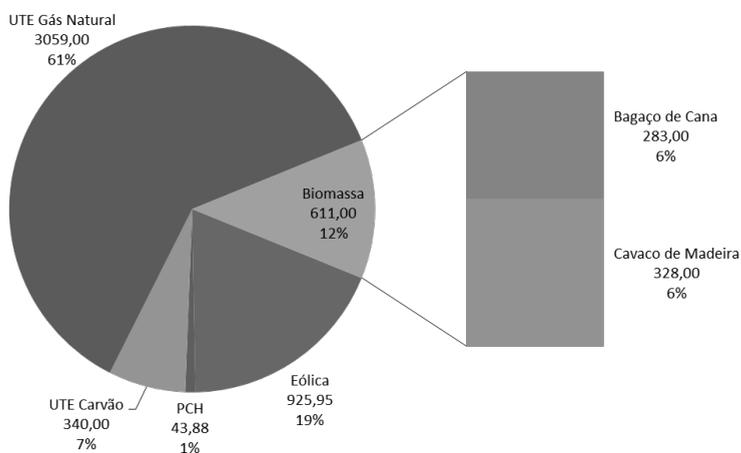
Sobre os aspectos acima colocados, vale uma reflexão: O Brasil não possui atualmente uma política específica de fontes renováveis, a despeito da sua importância para o setor elétrico, o PROINFA foi uma política pontual, embora relevante, de fontes renováveis não convencionais onde foram contratados 3,3 GW de potência instalada somando as fontes eólica, biomassa e PCH.

A partir deste período, o processo de contratação dessas fontes se deu por meio de leilões competitivos. O sucesso do modelo de leilões para novos empreendimentos, implementado em 2004, sinalizou para uma forma de contratação lastreada principalmente no preço da energia.

A dificuldade de atender a demanda nos últimos dois anos associada fortemente a uma perda gradativa da capacidade de armazenamento dos reservatórios das hidrelétricas apontam para uma necessidade de redirecionamento da política energética e uma definição de matriz de longo prazo que contemple a complementariedade entre os vários recursos de geração de energia disponíveis no País.

Dessa forma, os leilões definidos a partir de 2013 e mais fortemente em 2014 vêm sinalizando para uma contratação de energia que leve em consideração uma diversificação da matriz elétrica nacional, priorizando as fontes renováveis não convencionais. Cita-se o recente leilão de reserva realizado em outubro de 2014 que se contratou cerca de 900 MW de fonte solar ao preço de R\$215,12/MWh e cerca de 800 MW à R\$ 142,34/MWh de fonte eólica e o recente leilão A-5 de novembro de 2014 que tem seu resultado demonstrado no gráfico abaixo.

GRÁFICO 4. Contratação por fonte A-5 2014. Potência (MW)



Fonte: ABEEólica.

Apesar dos futuros certames não apresentarem claramente um redirecionamento da política energética que levem em consideração a abundante oferta de recursos renováveis de energia e, sobretudo a diferença de tecnologia e de custos de cada uma dessas fontes, há por parte do mercado uma expectativa favorável de que uma “nova ordem de contratação de energia” seja implementada no País, na qual não se levará em consideração apenas o preço da potência negociada nos leilões, mas, sobretudo a importância da fonte de geração de energia, o seu papel na matriz elétrica e sua complementaridade com as demais fontes para que se possa construir no futuro uma matriz de energia elétrica competitiva, mas que seja segura e sustentável do ponto de vista econômico e ambiental.

A despeito dos desafios citados, com base no contexto apresentado neste artigo, a participação da fonte eólica na matriz elétrica brasileira tem seu lugar garantido, sendo sua principal característica a competitividade dos custos de produção, somada a um potencial da ordem de 350 GW a ser explorado, e um futuro tecnológico promissor. Dessa forma, o sinal de investimento de longo prazo está dado.

---

ELBIA SILVA GANNOUM · Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003), mestre em Economia pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999), e bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Uberlândia (1997). Presidente Executiva da ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica – desde Setembro de 2011. Membro da Diretoria da CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica de junho de 2006 a Abril de 2011. Foi Economista-Chefe do Ministério de Minas e Energia (2003-2006), Coordenadora de Política Institucional do Ministério da Fazenda (2002-2003), Assessora de assuntos econômicos no Ministério de Minas e Energia (2001), Assessora na ANEEL (2001-2001). Professora da Universidade Federal de Santa Catarina (1998-2000).



## Energia solar no Brasil: se não for agora, quando será?

ELOY F. CASAGRANDE JUNIOR

### INTRODUÇÃO

■ O Brasil tem sua geração de energia elétrica concentrada em hidrelétricas, realizando investimentos muito aquém do potencial de outras formas de energias renováveis, como a eólica e a solar. Este artigo analisa como a política energética brasileira poderia ser revista, investindo mais na energia solar como forma de tirar a pressão sobre sua matriz, além das vantagens ambientais que esta apresenta. Demonstra como os países industrializados estão aumentando o uso da energia do sol, reduzindo suas emissões de gases do Efeito Estufa, ao evitar as usinas térmicas, principalmente em países com a Alemanha, um exemplo para o setor. Também são apresentados projetos solares modelos desenvolvidos em universidades, como o do Escritório Verde da UTFPR, os “estádios solares” construídos para a Copa da FIFA de futebol em 2014 e algumas iniciativas do governo para que haja um indústria de módulos fotovoltaicos no país. A conclusão aponta que deve haver um esforço ainda maior do setor governamental para a redução de custos na implantação de sistemas solares, colocando esta ao alcance de todos.

### MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E A ENERGIA SOLAR

■ De acordo com o Relatório do Balanço Energético de 2013, a matriz energética brasileira está concentrada na hidroeletricidade, representando aproximadamente 80% da geração, seguida pelo gás natural, com cerca de 8%. O restante é dividido entre a biomassa, derivados de petróleo, carvão e derivados, nuclear e eólica. Sendo que esta última representa menos de 1%. Ressaltando que houve

uma queda na participação da energia renovável na matriz brasileira, passando de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013, apesar da adição de 1.724 MW na potência instalada do parque hidrelétrico. Já é o segundo ano que isto acontece devido às condições hidrológicas desfavoráveis. Em 2013, a queda foi de 5,4% e em 2012, 1,9% (EPE, 2013).

No verão brasileiro de 2014, mais uma vez não houve chuvas suficientes para manter os níveis de água dos reservatórios das usinas hidroelétricas, impossibilitando a geração de eletricidade para as demandas do país. Fato que levou ao uso intenso das usinas termelétricas, geradoras de Gases de Efeito Estufa (GEE), para atender os setores residencial, comercial e industrial. Sendo o carvão o principal combustível destas usinas, quando queimado libera gases como o dióxido de carbono em grandes quantidades para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

Para Marques (2014) este fato evidenciou a urgência de maior diversificação das fontes renováveis de energia na matriz elétrica do país, pois, paradoxalmente, o calor gerado pelo Sol, ao mesmo tempo em que contribuiu para reduzir o nível de água dos reservatórios, poderia ter gerado energia para abastecer residências, por meio de sistemas solares fotovoltaicos ou para aquecer a água com painéis solares térmicos.

Outro fato que se deve considerar é o aumento dos questionamentos da sociedade sobre a construção de novas hidrelétricas de grande porte. Não somente pelos seus grandes impactos ambientais, como também pelos problemas socioeconômicos causados por perda de áreas agrícolas produtivas e pela realocação de famílias e tribos indígenas, que vivem em áreas a serem inundadas pelos reservatórios. Este quadro se agrava quando se aponta para a Amazônia como sendo a última grande reserva hídrica a ser explorada para gerar energia, gerando conflito com a preservação ambiental e o direito de povos indígenas que habitam a região, sem contar os altos custos das redes de transmissão para os grandes centros de consumo. O debate sobre a construção da megasina hidrelétrica de Belo Monte de 11.233 MW que está sendo construída no Rio Xingu, no estado do Pará, e seus impactos socioambientais, demonstra que a sociedade não está passiva diante da questão. O polêmico projeto motivou a criação de diversas portarias ministeriais com o objetivo de “destravar a concessão de licenças ambientais no país para acelerar grandes empreendimentos, como rodovias, portos, exploração de petróleo e gás, hidrelétricas e até linhas de transmissão de energia”. Para muitos, um retrocesso nas conquistas ambientais que coloca em risco a floresta amazônica que já tem cerca de 20% de sua cobertura destruída.

Desde 2006 se conhece o grande potencial de energia solar do território nacional, quando se concluiu o “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, produto do Projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e co-financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente. Um trabalho de 10 anos combinando dados de irradiação, dados climatológicos e informações extraídas de imagens de satélite geostacionário e validado por dados coletados em estações de superfície (INPE, 2006). No entanto, mesmo com as condições favoráveis do Brasil para geração de energia solar, conforme se observa no mapa de irradiação solar no Brasil (Figura 01), seu uso não foi considerado no Plano Nacional de Energia 2030.

FIGURA 01. Irradiação solar no Brasil (KWh/m<sup>2</sup>)



Para o pesquisador Ricardo Ruther, coordenador do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e que participou na elaboração do Atlas, se fosse instalada nas proximidades de Brasília um gerador solar fotovoltaico de área equivalente a menos de 0,05% do território nacional, a geração anual equivalente será superior aos cerca de 420 TWh de energia elétrica consumidos em 2010 pelo país. Já se um gerador solar fosse instalado sobre toda a área inundada pelo lago de Itaipu, ele geraria o dobro da energia elétrica produzida pela usina anualmente. A Alemanha, o país que mais investiu em energia solar no mundo, possui capacidade de geração igual a três Usinas de Itaipu somente com seus módulos fotovoltaicos instalados em residências (ROCKMAN, 2011).

Para termos outra comparação de como desperdiçamos nosso potencial solar, a região mais ensolarada da Alemanha recebe um índice de radiação solar 40% menor que o índice da região menos ensolarada do Brasil! A região menos ensolarada do nosso país apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m<sup>2</sup>, que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha, a qual recebe cerca de 1300 kWh/m<sup>2</sup> (Casagrande Jr.; Urbanetz Jr., 2014).

## FORMAS DE APROVEITAMENTO DO ASTRO-REI

### Iluminação natural

■ O aproveitamento dos raios solares pode ser de forma passiva através de técnicas modernas de arquitetura e construção, onde o calor e a luminosidade do sol são direcionados para melhorar a qualidade do ambiente edificado. Conhecida com Iluminação Zenital (da expressão árabe “zênite” – caminho acima da cabeça) é a luz natural que penetra no ambiente através de aberturas situadas na cobertura de uma edificação. É uma das formas de iluminar naturalmente e obter uma boa distribuição da luz no ambiente, contribuindo para a saúde da visão, o conforto visual e o bem-estar das pessoas.

Pesquisas apontam para um maior desempenho em trabalhos realizados em sala de aula/ escritório em que havia o contato direto das pessoas com a luz natural. Esse resultado se deve em parte ao fato de que a luz natural apresenta definições de cores muito mais reais que a luz artificial, e a visualização do meio externo, proporciona o conhecimento aproximado das horas do dia e das mudanças climáticas e atmosférica.

## Coletores solares

■ Através de coletores solares (placas) se pode aquecer a água também de forma passiva. Com a absorção da radiação solar pelas placas, seu calor é transferido para a água que circula no interior de suas tubulações, sendo armazenada em um reservatório térmico para posterior consumo. Alguns sistemas também usam óleo ou outro tipo de fluido. Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico através de um sistema natural chamado termosifão. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Assim a água fria “empurra” a água quente gerando a circulação. Esses sistemas são chamados de circulação natural ou termosifão.

O Brasil recebe energia solar da ordem de 1.013 MWh anuais, o que corresponde a cerca de 50 mil vezes o consumo anual de eletricidade. Em 2012 o setor produziu mais de 1 milhão de m<sup>2</sup> de coletores solares, sendo cerca de 50% de coletores para piscinas e 50% para banho, demonstrando equilíbrio no perfil do mercado brasileiro (DASOL, 2014).

Assim mesmo, o chuveiro elétrico é o equipamento mais empregado aquecer a água no Brasil, estima-se que este aquecimento seja responsável por 25% do total de energia elétrica consumida nas residências brasileiras. Nas regiões Sul e Sudeste o chuveiro chega a responder por até 40% do consumo residencial no horário de pico. Apesar do baixo custo do equipamento (com R\$30,00 se pode comprar um) este pode consumir uma potência de até 6kWh. No total, este consumo representa cerca de 20 bilhões de kWh. Tal demanda de energia elétrica ocorre principalmente no fim da tarde ocasionando um pico que poderia ser reduzido em grande parte com o uso de coletores solares, trazendo ainda vantagens econômicas e ambientais (INPE, 2006).

De acordo com o relatório de 2013 da IEA (*International Energy Agency*), com 8,4 milhões de m<sup>2</sup> de área de coletores solares térmicos instalados, o Brasil encontra-se na quinta posição no ranking mundial na utilização de energia solar térmica. Os setores que mais se utilizam dessa tecnologia são o residencial e o de serviços, como hotéis, restaurantes, pet-shop's, clubes, lavanderias e hospitais, locais que necessitam de muita água quente. Outro setor que começa a experimentar os aquecedores é o industrial, mas ainda de forma pontual.

A cidade de Belo Horizonte (MG) é uma das capitais que mais utiliza aquecedores solares em residências, onde há cerca de 800 prédios com instalação de aquecimento solar central. A iniciativa é atribuída à concessionária mineira,

Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), em parceria com empresas de aquecedores solares e universidades do Estado de Minas Gerais (MMA, 2014).

### Usina de concentração solar

■ Outra grande utilização que está a ser dada à energia solar é a concentração solar. Esta tecnologia utiliza espelhos e sistemas de monitoramento (heliostats) para concentrar uma grande quantidade de luz solar em um único ponto que contém água. Quando a água evapora com o calor produzido por todos os raios do sol direcionados a uma torre, este move turbinas e gera eletricidade.

A maior usina por concentração solar do mundo foi inaugurada em 2014 na Califórnia, EUA. Localizada no sudoeste de Las Vegas, no deserto de Mojave, a instalação solar térmica de grande porte pode produzir 392 megawatts de energia solar para alimentar 140 mil casas na Califórnia com energia limpa – o equivalente a retirar 400 mil toneladas métricas de dióxido de carbono do ar por ano. A planta ocupa cinco quilômetros quadrados e é composta por três torres de quarenta andares, cada uma cercada por 350 mil espelhos (CICLOVIVO, 2014). A média anual de radiação solar do deserto de Mojave é equivalente a do Nordeste brasileiro.

Apesar de ser uma energia renovável, a usina esteve cercada de controvérsia desde seu início por seus altos custos operacionais e por supostamente matar altos números de animais selvagens por superaquecimento. Ambientalistas afirmam que um grande número de aves foram queimadas e mortas ao redor das torres de plantas solares, que podem gerar temperaturas mais altas que 500 graus Celsius.

### Energia solar fotovoltaica

■ O efeito fotovoltaico é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando é exposto à luz visível, tendo sido observado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel. É com base nele que se produzem os módulos solares, formados por células fotovoltaicas, que são dispositivos semicondutores com essa propriedade de captar a luz do Sol e transformá-la em energia, gerando uma corrente elétrica capaz de circular em um circuito externo. Atualmente, o silício é o semicondutor mais utilizado comercialmente. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons de ligação, que se conectam aos vizinhos formando uma rede cristalina.

### Tipos de sistemas fotovoltaicos (PV):

- Conectados à rede – Este é o tipo mais popular de instalações PV, normalmente sobre o telhado de casas e escritórios, e no qual é necessário a presença de um inversor, para transformar a energia em corrente contínua para corrente alternada. A energia gerada pelos painéis é entregue a rede elétrica convencional.
- Isolados – Instalado em áreas de difícil acesso a rede elétrica, normalmente zonas rurais, neste caso a energia fotovoltaica é a única fonte de eletricidade e é necessário algum armazenamento, como baterias. Tais sistemas podem ser de geração apenas para uma residência ou pode ser instalado em mini-redes para atender uma pequena comunidade.
- Híbridos – a geração fotovoltaica funciona em conjunto com outros, como geradores eólicos ou diesel. Considerados mais complexos, tais sistemas exigem um controle capaz de integrar as diferentes formas de geração de energia. Estes sistemas podem estar conectados a rede, isolados ou ter o apoio da rede.
- Usinas solares – Estes sistemas, também conectados à rede, produzem uma grande quantidade de eletricidade em um único ponto. O tamanho da usina varia de centenas de quilowatts a megawatts. Algumas destas instalações estão sobre grandes edifícios industriais ou no solo próximo a indústrias que exigem um consumo intenso de energia.
- Aplicado em bens de consumo – as células fotovoltaicas podem ainda ser aplicada em diversos equipamentos elétricos, como relógios, calculadoras, brinquedos, carregadores de bateria ou telhados solares para carregar carros elétricos. Outras aplicações incluem sistemas de irrigação, sinalização em rodovias, postes públicos ou telefones públicos (América do Sol, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCRs) têm apresentado grande crescimento entre as fontes de geração de energias renováveis no cenário mundial, principalmente em países como Alemanha (32,4GWp), Itália (16,3GWp), China (8,3GWp), Estados Unidos (7,8GWp), Japão (6,9GWp) e Espanha (5,2GWp) (EPIA, 2013).

No Brasil, sua aplicação ainda é incipiente comparada e estes países, porém, apresenta grande potencial de crescimento nos próximos anos. Muitos empreendimentos estão sendo realizados neste setor no Brasil, partindo de cerca de apenas 200kWp de capacidade instalada em 2010, para mais de 8MWp em meados de 2014 (Urbanetz Jr.; Casagrande Jr.; Tiepolo, 2014).

Esta tendência de crescimento é fruto principalmente da resolução 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em vigor desde abril de 2012, para tratar das relações entre as concessionárias de energia e pessoas físicas ou jurídicas que realizem investimento em energia solar fotovoltaica. A resolução estabeleceu no Brasil uma política similar ao sistema conhecido internacionalmente como *net metering*, aqui chamado de sistema de compensação, onde ao final do mês o excedente de energia do SFVCR injetado na rede elétrica da concessionária é transformado em créditos de energia que podem ser consumidos em outro momento, sem haver a remuneração pela energia, apenas o acúmulo de créditos, que devem ser utilizados em um prazo de até 36 meses (ANEEL, 2012).

Antes mesmo da medida de ANEEL, se pode destacar dois projetos SFVCRs implantados em universidades brasileiras que já vêm sendo avaliados por muito tempo, comprovando a viabilidade técnica destes sistemas:

#### I. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC)

■ Inaugurado em setembro de 1997, o projeto é uma iniciativa do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da UFSC (Grupo Fotovoltaica), coordenado pelo professor Ricardo Rütger, cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq, e trata-se do primeiro gerador solar fotovoltaico do Brasil a ser integrado à arquitetura de prédio urbano e interligado à rede elétrica pública. O gerador, que tem potência nominal de 2 kWp, converte diretamente energia solar em eletricidade através dos módulos instalados na cobertura do Bloco A, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

Ao longo de mais de 17 anos de existência, o Grupo Fotovoltaica também é responsável pela instalação e operação de outros geradores solares instalados nos seguintes locais: Centro de Cultura e Eventos (10 kWp), Hospital Universitário (2 kWp), Colégio de Aplicação (2 kWp) e Centro de Convivência (1 kWp) (UFSC, 2013)

#### A Casa Eficiente ELETROSUL\_UFSC

A Casa Eficiente está localizada em Florianópolis, SC, e foi inaugurada em 29 de março de 2006, sendo o resultado da parceria estabelecida entre a ELETROSUL, ELETROBRAS/PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Sua concepção contemplou, além dos objetivos de sustentabilidade

(eficiência energética e uso racional da água), a necessidade de flexibilidade de operação, de manutenção e de seu funcionamento como um laboratório de pesquisa. Contemplou ainda, a necessidade de proporcionar, de maneira didática, a visitação para divulgação dos conceitos adotados, ou seja, além de ser um laboratório é também uma vitrine tecnológica.

O sistema fotovoltaico da Casa Eficiente é do tipo conectado à rede elétrica e integrado à edificação. Este sistema possui potência nominal de 2,25 kWp e está operando desde 28 de julho de 2006. Sendo os principais componentes do sistema fotovoltaico (Casa Eficiente, 2010):

- 30 módulos de silício policristalino (p-Si), 75 Wp cada, totalizando 2,25 kWp;
- 2 chaves seccionadoras com fusíveis de 50 A;
- 2 inversores de 1200 W;
- 2 medidores de energia monofásicos e
- 2 disjuntores monopolares de 10 A

O sistema é dividido em dois subsistemas, cada um com 15 módulos (1,125 kWp) conectados a um inversor. As saídas dos inversores são ligadas na rede elétrica da casa. Deste modo, a energia elétrica gerada é utilizada para atender ao consumo da casa e o excedente é levado para a rede elétrica pública.

O desempenho desse sistema fotovoltaico – com produtividade média de 1.112 kWh/kWp, obtida durante os anos de 2007 e 2008 – é comparável à produtividade do sistema de 2 kWp instalado no Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), cuja produtividade, em 10 anos de operação, variou entre 1.140 e 1.240 kWh/kWp (Rüther et al., 2008)

## 2. O ESCRITÓRIO VERDE DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)

■ No dia 15 de dezembro de 2011, foi inaugurado o Escritório Verde (EV) da UTFPR, uma proposta única no Brasil de uma edificação sustentável modelo de 150 m<sup>2</sup> que adotou diversas estratégias de sustentabilidade em parceria com mais de sessenta empresas, visando verificar o desempenho destas estratégias. Idealizado e coordenado pelo Prof. Eloy F. Casagrande Jr., o projeto se tornou um “laboratório vivo” para pesquisas que envolvem monografias do curso de especialização em Construções Sustentáveis, dissertações de mestrado e teses de

doutorado de diferentes programas que discutem a sustentabilidade (Escritório Verde, 2013). A máxima eficiência energética é alcançada devido ao sistema construtivo de paredes duplas *wood-frame*, vidros duplos e uso de telhados verdes, além de tirar partido da iluminação natural, uso de lâmpadas LEDs e geração fotovoltaica, como linha mestra para prover energia à edificação, em conjunto com o sistema elétrico da concessionária.

FIGURA 04. Vistas do Escritório Verde da UTFPR



Em 2012, o Escritório Verde foi premiado pela Organização das Nações Unidas (ONU), dentro do Programa de Educação para o Desenvolvimento Sustentável, conduzido pela Universidade das Nações Unidas (UNU), que estimulou a criação de *Regional Centres of Expertise (RCE) on Education for Sustainable Development* – Centros Regionais Especializados em Educação para o Desenvolvimento Sustentável. O primeiro RCE implantado na América Latina, com o nome de CRIE – Centro Regional de Integração e Expertise funciona no Escritório Verde. No mesmo ano, o projeto também foi premiado pelo SANTANDER Universidades, dentro da categoria de sustentabilidade.

Numa parceria com a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) e as empresas KYOCERA e Solar Energy, a responsável pela instalação do SFVCR do EV da UTFPR, o sistema entrou em operação em 14 de dezembro de 2011 e tem uma potência instalada de 2,1kWp (10 módulos de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000) (Figuras 05, 06 e 07)). A área ocupada na cobertura da edificação pelos módulos fotovoltaicos é de apenas 15m<sup>2</sup>. Outro conjunto de 850 Watts (10 módulos de 85W) é conectado em baterias para demonstrar o funcionamento do sistema isolado de forma didática.

FIGURA 05. Instalação do Sistema Fotovoltaico do Escritório Verde da UTFPR



FIGURA 06. Módulos fotovoltaicos instalados e inversor



FIGURA 07. Vista frontal do telhado com o sistema fotovoltaico instalado



Quando se discute energia solar no Brasil, a tendência é sempre apontar-se para os estados do Nordeste como sendo os únicos a ter vantagens no aproveitamento deste tipo de energia. No entanto, o SFVCR do Escritório Verde tem desmistificado esta premissa, demonstrando a viabilidade também na região Sul para a energia fotovoltaica. O potencial de geração de energia solar é avaliado considerando a irradiação solar anual e a luz difusa, além da posição inclinada dos painéis fotovoltaicos colocados no telhado da edificação que também interferem no desempenho do sistema (Casagrande Jr, 2014).

Para compreender melhor, a irradiância solar global é a quantidade de energia por unidade de área e unidade de tempo que incide sobre a superfície da

Terra. A unidade de irradiância é a unidade de potência por metro quadrado da superfície da Terra (Watt/metro quadrado). Para Curitiba, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, temos de 4,5 a 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia, o que representa uma irradiação superior às encontradas nas cidades do litoral Sul do Brasil, como Florianópolis, por exemplo.

O programa RADIASOL é disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2012), e permite, a partir da inserção dos valores de irradiação no plano horizontal, identificar os valores de irradiação para qualquer plano (diferentes inclinações e desvio azimutal em relação ao norte). Na Tabela 01 é possível observar as horas de irradiação solar de Curitiba.

TABELA 1. Irradiação diária média no plano do painel FV obtida pelo programa RADIASOL para Curitiba. (kWh/m<sup>2</sup>.dia).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	5,64	5,53	5,26	4,42	3,63	3,51	3,72	4,66	4,52	5,13	5,95	5,86
2013	5,12	4,73	3,96	4,47	3,41	2,58	3,53	4,24	3,98	5,23	4,74	5,45
2014	6,08	5,38	4,50	3,28								

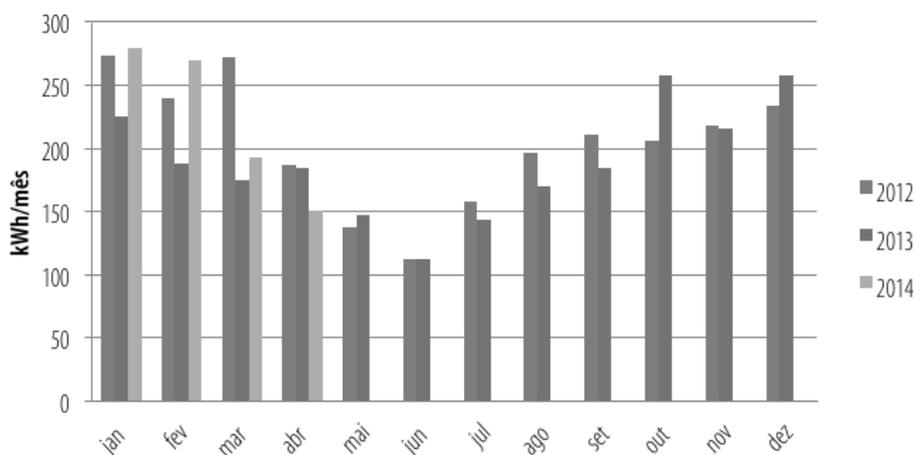
O projeto solar do Escritório Verde criou uma demanda de cursos de dimensionamento e implantação de sistemas fotovoltaicos, sendo realizados cinco cursos desde 2012, com uma média de 35 alunos cada turma, sendo o primeiro realizado em parceria com a empresa Blue Sol e os outros ministrados pelo Prof. Dr. Jair Urbanetz, da UTFPR, responsável técnico pelo projeto e que tem o doutorado na área solar (Figura 08).

FIGURA 08. Cursos de Energia Solar no Escritório Verde



Analisando-se o funcionamento do SFVCR do EV nos anos de 2012, 2013 e de janeiro a abril de 2014, observou-se uma geração total de 5,6 MWh neste período. A geração de energia elétrica é proporcional a irradiação incidente no painel FV, onde nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno, (menor incidência solar) há menor geração. O Gráfico 01 apresenta os valores de energia elétrica gerados em cada mês de operação do SFVCR do EV da UTFPR.

GRÁFICO 01. Geração de Energia Elétrica (kWh/mês) para os anos de 2012, 2013 e início de 2014 do Escritório Verde da UTFPR



O SFVCR do EV da UTFPR, gerou em média aproximadamente 200kWh/mês nestes dois anos e quatro meses de operação, energia superior a necessária para atender as cargas existentes na edificação, tornando a mesma uma edificação de energia zero (ZEB – *zero energy building*). Nos meses de verão (maior incidência solar) a geração chegou a 279kWh, o que permitiu exportar energia para as instalações adjacentes, e nestes momentos, o EV tornou-se uma edificação de energia positiva. Colabora para este desempenho o fato de se planejar a edificação dentro dos princípios da arquitetura bioclimática, para captar o máximo de iluminação natural, com janelas amplas e bem posicionadas, o uso de lâmpadas LEDs para iluminação de todos os ambientes e sistema construtivo *wood framing* utilizando mantas de PET reciclado para isolamento térmico-acústico (Urbanetz Jr.; Casagrande Jr.; Tiepolo, 2014).

## ESTÁDIOS SOLARES

■ Um dos legados da Copa do Mundo FIFA de Futebol que ocorreu no Brasil em 2014, foi a instalação de módulos fotovoltaicos em arenas que estavam sendo construídas ou reformadas, tornando-as verdadeiras usinas solares. A seguir são apresentadas as características de três deles: O Estádio Governador Magalhães Pinto, mais conhecido como Mineirão, em Belo Horizonte, o Itaipava Arena Pernambuco, localizado em São Lourenço da Mata, na Região Metropolitana de Recife e o Estádio do Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro.

### 1. Mineirão

O Mineirão se tornou o primeiro estádio brasileiro a adotar princípios da construção sustentável e a receber o Selo “Platinum” do *U. S. Green Building Council* (USGBC), categoria máxima na certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). A arena de Belo Horizonte, reformada para a Copa do Mundo, cumpriu oito itens considerados pré-requisitos e ainda apresentou inovações sustentáveis que não eram exigidas pelo USGBC para conquistar a graduação.

Como parte das iniciativas sustentáveis, foram instalados 5.910 painéis solares com potência de 240 Wp por painel (240 Watt-pico). Ocupando uma área útil da cobertura do estádio, de 11.500 m<sup>2</sup> -- a maior usina em cobertura do País e uma das maiores instaladas em arenas esportivas do mundo. A construção de todo o sistema ocupa 88 segmentos, dispostos de forma radial, sendo invisível aos olhos do torcedor, respeitando a arquitetura do estádio, que é tombada pelo patrimônio histórico.

A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), em parceria com a Minas Arena e o banco alemão KfW, responsáveis pelo projeto, informam que os módulos tem potência de até 1,6 megawatt e que 10% da energia gerada retorna para ser utilizada dentro do próprio estádio. O investimento foi de R\$ 15 milhões de reais, com 80% financiado pelo banco alemão e a energia gerada será de 1.825 MWh/ano, suficiente para abastecer cerca de 1.200 residências de médio porte. (Jornal da Energia, 2014).

### 2. Itaipava Arena Pernambuco

Sede de cinco jogos da Copa do Mundo FIFA Brasil 2014, a Usina Solar São Lourenço da está situada em um terreno de 15 mil m<sup>2</sup>, anexo a Itaipava Arena Pernambuco, a

tem potência instalada de 1 megawatt pico (MW/p), capacidade suficiente para gerar 1.500 MW/h por ano, o que equivale ao consumo de seis mil habitantes. A unidade é responsável por até 30% da energia consumida pelo estádio (Metalica, 2014).

O trabalho foi feito pela Odebrecht Energia e pela Neoenergia (grupo controlador da Companhia Energética de Pernambuco), responsáveis pelo investimento de cerca de R\$ 13 milhões. O projeto executivo e a instalação da usina solar fotovoltaica foram construídos sob responsabilidade da Gehrlicher Ecoluz Solar do Brasil, uma associação entre a brasileira Ecoluz Participações e a alemã Gehrlicher AG. O sistema é formado por 3.652 painéis fotovoltaicos que captam a energia do sol e a convertem, com o auxílio de um inversor, em energia tradicionalmente usada em indústrias e residências. A energia produzida é entregue ao sistema elétrico do estádio e o que não for utilizado pela arena será injetado na rede de distribuição da Celpe.

### 3. Maracanã Solar

O lendário estádio do Maracanã também passa a contar agora com uma usina fotovoltaica, instalada com investimentos privados no valor de R\$ 12 milhões, a partir de parceria entre a Light Esco, braço de soluções energéticas do Grupo Light, o Grupo EDF – Electricité de France e o Programa Rio Capital da Energia – lançado pelo Governo do Estado do Rio em 2011. Este tem como objetivo incentivar iniciativas na área de energia sustentável que estejam relacionadas a economia verde, inovação tecnológica e eficiência energética. Segundo o programa, o projeto evita o despejo de 2.560 toneladas de gás carbônico na atmosfera por ano e auxilia na redução do consumo de energia do estádio (Maracanã Solar, 2014).

Para a construção do sistema, foi instalada estrutura metálica de 183 toneladas sobre o anel de compressão, que suporta a nova cobertura de lona tensionada do estádio. São 1.552 módulos fotovoltaicos, totalizando uma área de 2.380 m<sup>2</sup>. A usina tem uma potência instalada de 400 kW pico, podendo atingir uma geração de 500 MWh por ano, o equivalente ao consumo anual de 240 residências. Dessa forma, o Maracanã Solar participará ativamente da iluminação dos grandes eventos que ocorrerão no estádio daqui pra frente.

## CONCLUSÃO

■ As iniciativas na área de energia solar cresceram nos últimos cinco anos no Brasil, mas ainda estão longe de usar todo o potencial do país, especialmente

quando comparado com os outros países com muito menos irradiação. Estudos do Ministério de Minas e Energia (MME) de 2013 previam que o custo da energia do sol deve cair até 45% até 2018. O custo da época que estaria estimado em R\$280 a 300 por megawatt-hora (MWh) poderia cair para R\$165 MWh dentro de cinco anos. De acordo com o MME, esta redução contribuiria para que a energia solar participasse de forma competitiva nos leilões de eletricidade dentro de alguns anos (Magnabosco, 2013).

Mesmo com todas as dificuldades vimos investimentos de grande porte acontecerem, como a usina solar instalada pela Eletrosul, na cidade de Florianópolis (SC), que teve autorização da ANEEL para operar comercialmente a partir de setembro de 2014. A unidade conhecida como Megawatt Solar, tem potência instalada de 1 megawatt-pico (MWp) e pode produzir aproximadamente 1,2 gigawatts-hora (GWh) de energia por ano. Formada por 4,2 mil módulos fotovoltaicos, demandou um investimento total de R\$ 9,5 milhões, recurso proveniente de financiamento feito pelo banco de fomento alemão KfW. Em outubro de 2014, a Eletrosul anunciou seu primeiro leilão de energia solar fotovoltaica onde serão comercializados 800 MWh/ano, divididos em 16 lotes de 50 MWh/ano, com início de suprimento em janeiro de 2015 e duração de 10 anos. O preço mínimo foi estipulado em R\$ 280,00/MWh (Petronotícias, 2014).

Se por um lado o governo deixou de cumprir com algumas de suas metas solares, quando em 2010 anunciou o plano elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para instalar coletores solares para chuveiros até o fim de 2014, em dois milhões de casas do Minha Casa Minha Vida, sendo que apenas 215.945 residências contam com o sistema até agora, ou seja, 10,8% da meta, segundo a Caixa Econômica (Batista e Freitas, 2014). Por outro lado o anúncio do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social) em fomentar a indústria de geração solar em grande escala no país, com juros subsidiados e regras flexibilizadas, fez com que um grande número de empresas entrasse no leilão de outubro da EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Os juros baixos anunciados de 2,3% a 5,5% ao ano, bem menor que a inflação que está em 6,5%, em 12 meses, estimulou a entrada de 400 projetos de energia solar com capacidade de geração de 10 mil MW no leilão – quase uma usina de Belo Monte em operação a plena carga (Soares, 2014).

Há interesse de empresas estrangeiras e nacionais em investir em novos projetos solares, no entanto algumas barreiras ainda impedem o avanço do setor. Uma delas é que alguns dos componentes mais importantes de uma usina solar são importados. Neste sentido, a ação do BNDES pode ser o início de uma

nova era da energia solar no Brasil. Nas novas regras de financiamento são oferecidas alternativas flexíveis de nacionalização, com uma relação mínima de componentes e processos produtivos exigidos para o credenciamento e manutenção no CFI (Credenciamento Informatizado de Fabricantes) do BNDES. Há também uma relação de itens eletivos, que incentivam e premiam o aumento do conteúdo nacional.

Essa nova metodologia permitirá ao Brasil o desenvolvimento de uma cadeia industrial para fabricação de componentes fotovoltaicos atualmente inexistente. Outros benefícios são o incentivo à fabricação de componentes e equipamentos de alto teor tecnológico no País e a atração de novos investimentos nacionais e estrangeiros em território brasileiro para o fornecimento de insumos e componentes em qualquer etapa do processo produtivo. Assim, deixa-se de considerar a apuração do índice de nacionalização, tradicionalmente calculado com base no peso e no valor do equipamento, como critério de credenciamento, e exige a nacionalização progressiva de componentes e processos específicos ao longo do período de implementação do plano (GGN Energia, 2014).

É um começo, mas um programa mais ousado seria estabelecer um planejamento em médio prazo para se fabricar no Brasil as células de silício que compõem um painel fotovoltaico, hoje compradas da China que, por sua vez, compra o “silício bruto” do Brasil, dono da maior reserva do mundo. O fato de o Brasil possuir uma das maiores reservas de silício do mundo, faz com que o país seja um local privilegiado para desenvolver uma indústria local de produção de células fotovoltaicas gerando empregos e retornos em impostos pagos. Para isso, seria preciso investir em pesquisas para desenvolver um conhecimento de purificação do silício até o chamado ‘grau solar’, que é superior ao do silício empregado na siderurgia.

Também não são todos os contribuintes que estão dispostos a desembolsar no mínimo R\$20 mil para instalação de um SFVCR, além da tributação do setor, que “pune” quem opta pela autogeração, com a cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) da energia enviada à rede, com exceção de Minas Gerais. Atualmente, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSolar) o país tem apenas 2,2 megawatts (MW) instalados com os microgeradores residenciais (Batista; Freitas, 2014)

De imediato, para acelerar o uso da energia solar em residências e construções energeticamente mais eficientes no país, o governo poderia estabelecer uma política de incentivo em nível nacional, criando subsídios e isenções fiscais, para aliviar a tributação do setor, como fez a Alemanha ao longo de mais de

40 anos. Hoje o país é líder mundial do setor com mais de 30% da capacidade solar fotovoltaica instalada no Planeta. São cerca de 8,5 milhões de pessoas que vivem em edifícios e casas com sistemas de energia solar, segundo o *Solar Industry Association* (BSW-Solar), ou seja, um em cada 10 alemães já usa energia solar para gerar eletricidade ou calor.

Esta política de incentivo pode ajudar a evitar para os próximos anos o que aconteceu no verão de 2014 quando as altas temperaturas e os baixos níveis dos reservatórios do Sudeste, região que concentra a maior parcela de geração de energia, exigiu o acionamento das usinas térmicas, uma energia mais cara que o governo teve de financiar. Ressalta-se que além do custo, que agora está sendo repassado ao consumidor (estima-se que este aumento pode chegar a 30% na conta do contribuinte em 2015), se deve contabilizar o aumento de emissões de carbono na atmosfera.

---

ELOY F. CASAGRANDE JUNIOR · PhD, Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) e coordenador do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

## REFERÊNCIAS

AMÉRICA DO SOL. Sistemas fotovoltaicos. Acesso em 09/10/2014. Disponível em [http://www.americadosol.org/energia\\_fotovoltaica/sistemas-fotovoltaicos/](http://www.americadosol.org/energia_fotovoltaica/sistemas-fotovoltaicos/)

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n° 482/2012. Acesso em 07/10/2014. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>

BATISTA, H. G, FREITAS, A. Governo cumpre apenas 10,8% da meta de 2 milhões de casas populares com aquecimento solar. *Jornal O Globo*, 12/05/2014. Acesso em 08/10/2014. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/governo-cumpre-apenas-108-da-meta-de-2-milhoes-de-casas-populares-com-aquecimento-solar-12457589#ixzz3Fxtcbwv>

CASAGRANDE J., URBANETZ, JR. Uma usina solar no centro de Curitiba. Acesso em 08/10/2014. Artigo Caderno Opinião – *Jornal Gazeta do Povo: Curitiba*, 13 de agosto de 2014. Disponível em <http://www.gazetadopovo.com.br/opiniao/conteudo.phtml?id=1490842&tit=Uma-usina-solar-no-Centro-de-Curitiba>

CASA EFICIENTE – Consumo e Geração de Energia. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), UFSC, Florianópolis, 2010. Acesso em 05/10/2014. Disponível em [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente\\_vol\\_II\\_WEB.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf)

CICLOVIVO. Maior usina solar térmica do mundo é inaugurada na Califórnia. Acesso em 09/10/2014. Disponível em <http://ciclovivo.com.br/noticia/maior-usina-solar-termica-do-mundo-e-inaugurada-na-california>

CONEXÃO LIGHT. Maracanã Solar – Energia limpa no palco do final da Copa 2014. Acesso em 06/10/2014. Disponível em: <http://conexaolight.com.br/01/maracana-solar-energia-limpa-no-palco-da-final-da-copa-de-2014/>

DASOL – Departamento Nacional de Aquecimento Solar da ABRAVA. Energia Solar térmica e suas tecnologias. Acesso em 06/10/2014. Disponível em <http://www.dasolabrava.org.br/2014/02/energia-solar-termica-e-suas-tecnologias/>

ELETROSUL. Casa eficiente. Galeria de imagens. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=63&galeria=51#>

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2013 / Ano base 2012: Rio de Janeiro, 2013.

EPPIA – European Photovoltaic Industry Association. Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017. Acesso em 08/10/2014. Disponível em [http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/GMO\\_2013\\_-\\_Final\\_PDF.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf)

ESCRITÓRIO VERDE. Disponível em <http://www.escriptorioverdeonline.com.br>, 2013.

GGN Energia. BNDES define condições de apoio a vencedores de leilão de energia solar. 13 de outubro de 2014. Acesso em 13/10/2014. Disponível em <http://jornalggm.com.br/blog/roberto-sao-paulo-sp-2014/bndes-define-condicoes-de-apoio-a-vencedores-de-leilao-de-energia-solar>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar: São José dos Campos, 2006. Acesso em 04/10/2014. Disponível em [http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas\\_solar-reduced.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf)

JORNAL DA ENERGIA. Mineirão é o primeiro estádio com energia solar da Copa do Mundo. 07 de maio de 2014, São Paulo. Acesso em 05/10/2014. Disponível em [http://jornal-daenergia.com.br/ler\\_noticia.php?id\\_noticia=16810&id\\_secao=8](http://jornal-daenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=16810&id_secao=8)

MAGNABOSCO, A. Custo de energia solar deve cair até 45% até 2018, prevê governo. Jornal O Estado de São Paulo, 02 de julho de 2013. Acesso em 04/10/2014. Disponível em <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,custo-da-energia-solar-deve-cair-45-ate-2018-preve-governo,158153e>

MARACANÁ SOLAR. Portal Rio Capital da Energia. Governo do Rio de Janeiro. Acesso em 07/10/2014. Disponível em <http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/site/conteudo/Projeto.aspx?C=%2BiV9Mutj%2Brg%3D>

MARQUES, F. M. R. Perspectivas para energia solar no Brasil. Revista BSP: São Paulo, Julho 2014. Acesso em 08/10/2014. Disponível em <http://www.revistabsp.com.br/edicao-julho-2014/2014/07/25/perspectivas-para-a-energia-solar-no-brasil/>

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Energia Solar. Acesso em 08/10/2014. Disponível em <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>

METALICA. Energia solar no estádios da copa – Parte 2. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://www.metalica.com.br/energia-solar-nos-estadios-da-copa-parte-2>

PETRONOTÍCIAS. Eletrosul realizará leilão de energia da Usina Megawatt Solar no fim de outubro. Petronotícias, 07 de outubro de 2014. Acesso em 09/10/2014. Disponível em <http://www.petronoticias.com.br/archives/58230>

ROCKMAN, R. Geração Solar ensaia os primeiros passos em estádios. Jornal Valor Econômico, 30 de outubro de 2011. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://www.valor.com.br/brasil/1077098/geracao-solar-ensaia-os-primeiros-passos-em-estadios>

RÜTHER, R.; VIANA, T. S.; SALAMONI, I.T. Reliability and Long-term Performance of the First Grid-connected, Building-integrated, Amorphous Silicon PV Installation in Brazil. In: Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference. San Diego, CA, USA, 2008

SOARES, P. BNDES financiará escala na energia solar. Caderno Mercado da Folha de São Paulo, 12 de outubro de 2014. Acesso em 12/10/2014. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/184244-bndes-financiara-escala-na-energia-solar.shtml>

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC comemora 16 anos de geração solar de energia elétrica. Notícias da UFSC: Florianópolis, 16 de setembro de 2013. Acesso em 05/10/2014. Disponível em <http://noticias.ufsc.br/2013/09/ufsc-comemora-16-anos-de-geracao-solar-de-energia-eletrica/>

URBANETZ JR., J, CASAGRANDE JR., E. F., TIEPOLO, G. M. Acompanhamento do Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR. IX CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 25 a 27 de agosto de 2014, Florianópolis, SC



## Eletricidade solar no Brasil

RICARDO RÜTHER

### INTRODUÇÃO

■ Através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não-poluente e renovável. Este artigo descreve as mais recentes e promissoras aplicações da tecnologia fotovoltaica no Brasil: a construção de usinas solares fotovoltaicas para a geração de eletricidade de forma centralizada e a integração de módulos solares nas edificações, de forma descentralizada e com interligação da instalação geradora à rede elétrica nos assim chamados edifícios solares fotovoltaicos.

Uma característica fundamental de sistemas fotovoltaicos instalados no meio urbano é principalmente a possibilidade de interligação à rede elétrica pública, dispensando assim os bancos de baterias necessários em sistemas do tipo autônomo e os elevados custos e manutenção decorrentes.

Na configuração mais comum, estes sistemas são instalados de tal maneira que, quando o gerador solar fornece mais energia do que a necessária para o atendimento da instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica: a instalação consumidora acumula um crédito energético (o medidor é bidirecional e neste caso anda para trás). Por outro lado, quando o sistema solar gera menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica. Perdas por transmissão e distribuição, comuns ao sistema tradicional de geração centralizada, são assim minimizados. Outra vantagem destes sistemas é o fato de representarem usinas descentralizadas que não ocupam área extra, pois estão integradas ao envelope da edificação.

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade

através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica.

Desde o surgimento das primeiras células solares fotovoltaicas, de elevado custo e utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta, as tecnologias de produção evoluíram a tal ponto que se tornou economicamente viável em muitos casos a sua utilização em aplicações terrestres, no fornecimento de energia elétrica a locais até onde a rede elétrica pública não foi estendida. Tais sistemas, ditos remotos ou autônomos (figura 1a), necessitam quase sempre de um meio de acumulação da energia gerada, normalmente um banco de baterias, para suprir a demanda em períodos quando a geração solar é insuficiente ou à noite. Mais recentemente, sistemas solares fotovoltaicos vêm sendo utilizados de forma interligada à rede elétrica pública, como usinas geradoras em paralelo às grandes centrais geradoras elétricas convencionais. Desta forma fica dispensado o sistema acumulador (baterias), seu elevado custo e manutenção envolvidos, já que a “bateria” da instalação solar fotovoltaica interligada à rede elétrica é a própria rede elétrica.

Instalações solares fotovoltaicas interligadas à rede elétrica pública podem apresentar duas configurações distintas: podem ser instaladas (i) de forma integrada a uma edificação (*e.g.* no telhado ou fachada de um prédio, como mostra a figura 1b, e portanto junto ao ponto de consumo); ou (ii) de forma centralizada como em uma usina central geradora convencional, neste caso normalmente a certa distância do ponto de consumo como mostra a figura 1c. Neste último caso existe, como na geração centralizada convencional, a necessidade dos complexos sistemas de transmissão e distribuição (T&D) tradicionais e dos custos envolvidos. Entre as vantagens deste tipo de instalação se pode destacar: (i) não requer área extra e pode portanto ser utilizada no meio urbano, próximo ao ponto de consumo, o que leva a (ii) eliminar perdas por T&D da energia elétrica como ocorre com usinas geradoras centralizadas, além de (iii) não requerer instalações de infraestrutura adicionais; os módulos solares fotovoltaicos podem ser também (iv) considerados como um material de revestimento arquitetônico (redução de custos), dando à edificação uma (v) aparência estética inovadora e *high tech* além de trazer uma (vi) imagem ecológica associada ao projeto, já que produz energia limpa e de fonte virtualmente inesgotável.

Desde o início de sua comercialização, a energia elétrica tem sido fornecida aos consumidores residenciais, comerciais e industriais através de usinas geradoras centralizadas e complexos sistemas de T&D. Boa parte dos novos sistemas de geração serão distribuídos, ou seja, serão conectados diretamente ao sistema de

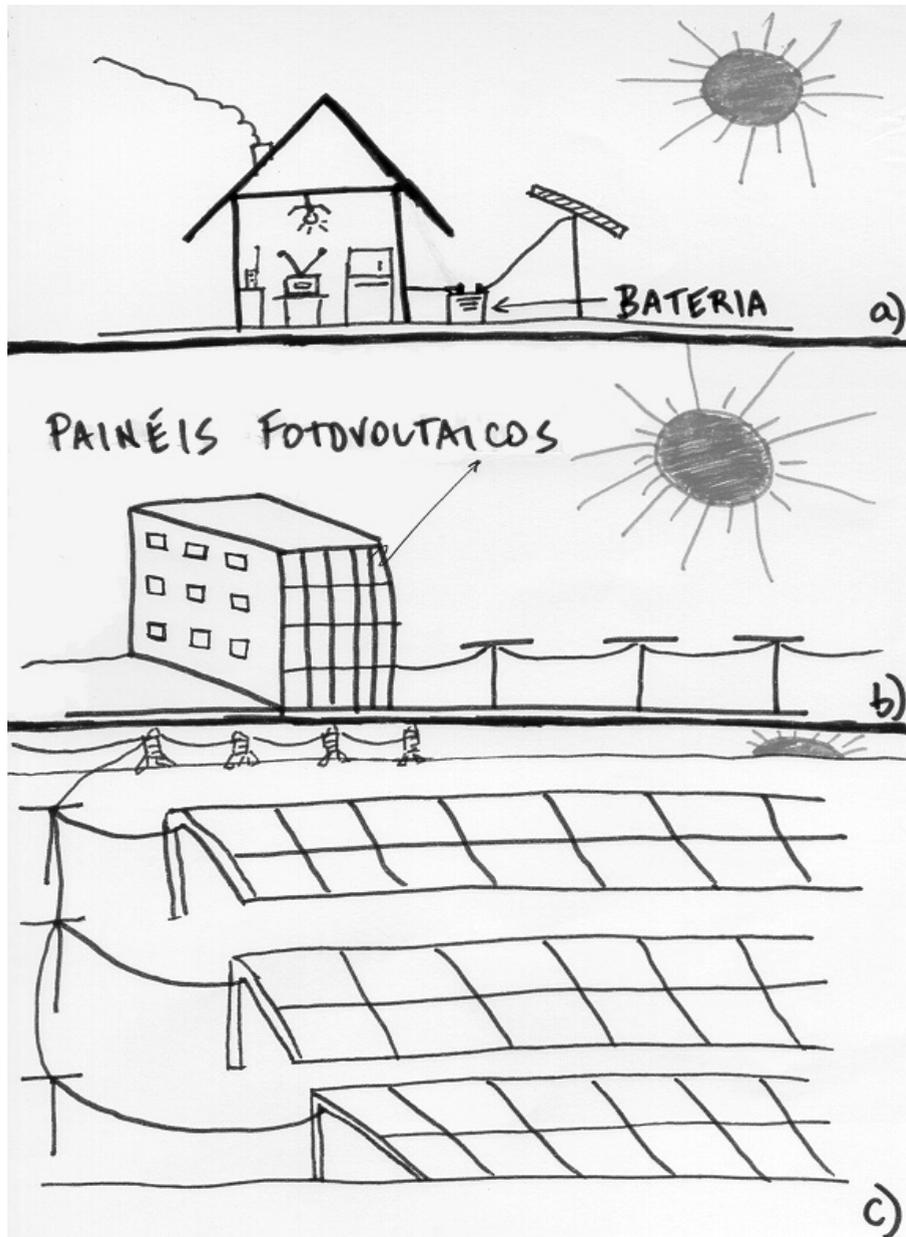


FIGURA 1. Exemplos de sistemas solares fotovoltaicos do tipo (a) isolado ou autônomo, (b) descentralizado, integrado à edificação urbana e interligado à rede elétrica convencional e (c) centralizado, interligado à rede elétrica convencional.

distribuição secundário. Todas as usinas geradoras convencionais têm problemas inerentes, tais como poluição (*e.g.* usinas termelétricas e óleo ou carvão), dependência de fornecimento de combustível (*e.g.* óleo, carvão, urânio) ou oposição do público quanto à sua construção e operação (*e.g.* usinas nucleares, térmicas a carvão e também hidrelétricas). Além disto, usinas geradoras centralizadas deixam um grande número de consumidores vulneráveis a *blackouts* elétricos. A energia solar fotovoltaica distribuída elimina vários destes problemas. Sistemas fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica pública, como ilustrado pela figura 1b, são a mais recente tendência nesta área e se justificam porque tanto o recurso energético solar como a demanda energética em edificações urbanas têm caráter distribuído.

#### GERADORES SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES

■ No Brasil, mais de 40% da energia elétrica consumida é utilizada por edificações residenciais, comerciais e públicas. Em grandes centros urbanos, em edifícios comerciais e públicos, o ar condicionado é responsável por 50% do consumo de energia elétrica no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados.

Módulos solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem utilizados em ambiente externo, sob sol, chuva e outros agentes climáticos, devendo operar satisfatoriamente nestas condições por períodos de 30 anos ou mais. Assim sendo, são apropriados à integração ao envoltório de edificações. Sistemas solares fotovoltaicos integrados ao envelope da construção podem ter a dupla função de gerar eletricidade e funcionar como elemento arquitetônico na cobertura de telhados, paredes, fachadas ou janelas. Para tanto a indústria fotovoltaica vem desenvolvendo uma série de produtos dirigidos à aplicação ao entorno construído, tendo lançado comercialmente módulos fotovoltaicos de aço inoxidável (sob a forma de um rolo flexível, revestido por resina plástica, com superfície posterior autocolante) e de vidro sem moldura, que podem ser instalados diretamente como material de revestimento de fachadas ou telhados, e até mesmo telhas de vidro onde os painéis fotovoltaicos estão diretamente integrados.

Do ponto de vista da eficiência energética estes sistemas podem ser considerados bastante ideais, visto que geração e consumo de energia têm coincidência espacial, minimizando assim as perdas por transmissão comuns aos sistemas

geradores centrais tradicionais. Dependendo do perfil de consumo pode ocorrer também muitas vezes uma coincidência temporal com a geração solar, como no caso da demanda por condicionadores de ar, em que a coincidência é perfeita (a potência elétrica demandada por aparelhos de ar-condicionado é máxima quando a insolação é máxima).

Por serem conectados à rede elétrica pública, estas instalações dispensam os sistemas acumuladores de energia (bancos de baterias) normalmente utilizados em instalações solares fotovoltaicas do tipo isolada ou autônoma (figura 1a), reduzindo assim consideravelmente o custo total da instalação (da ordem de 30% do custo total do sistema para sistemas com acumulação) e dispensando a manutenção e reposição requeridas por um banco de baterias. Além disso, por poderem contar com a rede elétrica pública como *back up* quando a demanda excede a geração, não há a necessidade de superdimensionamento do sistema para atendimento da demanda energética sob períodos prolongados de baixa incidência solar, como é o caso em sistemas isolados ou autônomos, onde o dimensionamento do sistema deve levar em consideração o pior caso de oferta solar e a sazonalidade que ocorre na maioria das regiões do globo, do que decorre que para alguns períodos do ano o sistema autônomo frequentemente estará superdimensionado, o que eleva os custos da instalação.

Do ponto de vista de instalações elétricas e da construção civil, as tecnologias necessárias à incorporação de painéis solares fotovoltaicos a projetos de construção convencional já são bem estabelecidas (a utilização de painéis de vidro em fachadas e coberturas é uma prática comum no setor da construção). A conexão elétrica dos módulos fotovoltaicos à rede e os dispositivos periféricos necessários à interconexão são comercialmente disponíveis no mercado, que oferece todos estes periféricos para qualquer tipo de configuração ou porte de instalação.

A figura 2 mostra a integração solar fotovoltaica e térmica na Casa Eficiente Eletrosul (<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>), exemplo de uma residência unifamiliar com módulos solares fotovoltaicos integrados na parte central do telhado e coletores térmicos para o fornecimento de água aquecida por energia solar térmica.

Módulos solares fotovoltaicos são inerentemente mais versáteis do que outros tipos de coletores solares para aquecimento de ar ou água (fios e cabos elétricos são inerentemente mais simples de instalar do que uma tubulação). Este fato, aliado ao potencial baixo custo, possibilita o seu uso como um material de construção com a vantagem adicional de ser um gerador elétrico.

FIGURA 2. A Casa Eficiente da Eletrosul, em Florianópolis-SC é um exemplo de uma residência unifamiliar com integração de um gerador solar fotovoltaico na área central do telhado e coletores solares térmicos para a produção de água quente (<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>).



Pelo conceito de sincronicidade, em que geração e consumo ocorrem simultaneamente, a energia elétrica gerada em alguns períodos do dia tem um valor maior para a concessionária elétrica do que em outros períodos em que a demanda não é crítica. O mais óbvio exemplo disto é o caso da demanda de energia por aparelhos de ar-condicionado em períodos de elevada incidência solar (e portando geração de energia solar). Por esta razão, instalações solares fotovoltaicas integradas a prédios comerciais de escritórios e interligadas à rede elétrica pública são um exemplo de aplicação ideal destes sistemas, onde picos de consumo e geração são muitas vezes coincidentes, aliviando assim o sistema de distribuição da concessionária elétrica. Isto acarreta não somente uma economia de energia, mas também o aumento da vida útil de transformadores e outros componentes do sistema de distribuição. Contribui também para a diminuição do risco de *blackouts* energéticos em função da sobrecarga do sistema de T&D em períodos de calor intenso. A figura 3 mostra o edifício sede da empresa Eletrosul Centrais Elétricas em Florianópolis-SC, no qual um gerador de 1 MW de potência foi integrado à cobertura do edifício e na cobertura dos estacionamentos espalhados ao redor da edificação.

FIGURA 3. A cobertura do Edifício Sede da Eletrosul e os estacionamentos solares ao redor da mesma edificação em Florianópolis-SC, com uma potência instalada total de 1 MW, são exemplos da utilização da geração solar de maior porte em prédios públicos e comerciais no Brasil (<http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1150>).



A modularidade de sistemas solares fotovoltaicos permite que sejam instalados de forma distribuída para dar reforço à rede em pontos selecionados, estratégia que vem sendo utilizada com sucesso em muitos países e que terá um papel importante no Brasil nos próximos anos. As figuras 4 e 5 mostram outro exemplo da integração de geradores solares a edificações urbanas em estádios de futebol, que normalmente apresentam grandes áreas disponíveis para a integração de módulos solares fotovoltaicos e frequentemente são construídos em um contexto urbano ao redor do qual se encontram edificações residenciais, comerciais e públicas. O Estádio do Pituacu em Salvador-BA ([http://www.americadosol.org/pituacu\\_solar/](http://www.americadosol.org/pituacu_solar/)) apresenta um conjunto de módulos solares fotovoltaicos integrados sobre a cobertura da arquibancada, estacionamento da tribuna de honra e vestiários, com uma potência instalada de cerca de 400 kW e o gerador solar do estádio do Mineirão em Belo Horizonte-MG (<http://www.americadosol.org/mineirao-solar/>), tem uma potência instalada de pouco mais de 1.400 kW.

FIGURA 3: O Estádio do Pituacu Solar em Salvador-BA foi o primeiro estádio de futebol do Brasil a receber a integração de um gerador solar fotovoltaico (400 kW) na cobertura das arquibancadas, do estacionamento da tribuna de honra e dos vestiários ([http://www.americadosol.org/pituacu\\_solar/](http://www.americadosol.org/pituacu_solar/)).



FIGURA 4: O Estádio do Mineirão Solar em Belo Horizonte-MG é o maior estádio de futebol do Brasil com integração solar fotovoltaica (1.400 kW) na cobertura das arquibancadas (<http://www.americadosol.org/mineirao-solar/>).



Este artigo demonstra sistemas solares fotovoltaicos como geradores de potência elétrica integrados ao ambiente urbano. Os benefícios, tanto econômicos quanto ecológicos, da aplicação da energia solar fotovoltaica no entorno construído não estão, no entanto, completamente estabelecidos. Existe a necessidade de demonstrar que a integração de instalações solares fotovoltaicas ao entorno construído é muito mais que simplesmente uma boa ideia; ela pode também trazer grandes benefícios ao usuário, ao sistema elétrico nacional e à sociedade. Mais informações sobre as aplicações desta tecnologia no ambiente construído podem ser obtidas através do projeto América do Sol (<http://www.americadosol.org>) do Instituto IDEAL (<http://institutoideal.org>) e do Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://fotovoltaica.ufsc.br>), que estão ativamente envolvidos na disseminação da informação e na pesquisa e desenvolvimento desta tecnologia no Brasil. O Guia de Microgeradores Fotovoltaicos, publicação que pode ser encontrada no sítio <http://www.americadosol.org/guia-de-microgeradores-fotovoltaicos/>, traz o passo-a-passo para quem tem interesse em adotar esta tecnologia e instalar um telhado solar fotovoltaico residencial, comercial ou industrial.

FIGURA 5: Capa do Guia de Microgeradores Fotovoltaicos, publicado pelo Instituto IDEAL e disponível em <http://www.americadosol.org/guia-de-microgeradores-fotovoltaicos/>



## USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO BRASIL

■ A geração solar fotovoltaica centralizada em usinas da ordem de alguns megawatts até dezenas a centenas de MW é uma aplicação que só recentemente começou a se desenvolver no Brasil, principalmente impulsionada pela forte redução de custos experimentada pela tecnologia. Ao contrário da integração urbana dos geradores fotovoltaicos em edificações, onde o preço da geração solar deve ser comparado com a tarifa que o consumidor final paga para a sua distribuidora, uma usina solar fotovoltaica centralizada tem que competir com o preço de geração centralizada das fontes convencionais de produção de eletricidade no Brasil, onde os custos são muito menores no presente do que o custo da geração solar. No entanto, reconhecendo o potencial de redução de custos da tecnologia solar fotovoltaica e da importância em diversificar a matriz de geração de eletricidade no Brasil, o governo brasileiro começa a dar sinais de apoio a esta fonte renovável através do estímulo à pesquisa científica e tecnológica, como mostra a figura 5, onde três tecnologias fotovoltaicas distintas vêm sendo avaliadas em um projeto de pesquisa e desenvolvimento fomentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL através da Chamada 013/2011 de projetos de P&D, no qual a empresa Tractebel Energia e a Universidade Federal de Santa Catarina desenvolveram a usina Cidade Azul, de 3 MW de potência.

No contexto deste mesmo projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, estão sendo avaliadas sete tecnologias solares fotovoltaicas comercialmente disponíveis, em oito climas distintos do Brasil, de formas a avaliar qual a tecnologia mais apropriada para cada clima. A figura 7 mostra um destes Módulos de Avaliação.

O Brasil apresenta um dos maiores potenciais para a aplicação da tecnologia solar do planeta. Seja na forma de telhados solares fotovoltaicos dispersos, ou em usinas solares fotovoltaicas centralizadas, a geração de eletricidade solar no Brasil deve passar a compor a matriz elétrica brasileira nos próximos anos de forma cada vez mais expressiva. As oportunidades que esta tecnologia apresenta na criação de empregos e na utilização de uma fonte renovável e de baixo impacto ambiental não podem deixar de ser aproveitadas em um país no qual o consumo de eletricidade cresce ano a ano a taxas próximas de 5%. A matriz elétrica brasileira é predominantemente de base hídrica e existe grande complementaridade entre a disponibilidade de sol para a geração fotovoltaica e água para a geração hidrelétrica. Neste sentido, a geração solar fotovoltaica pode ser considerada também como uma medida de conservação de energia, uma vez

FIGURA 6. Imagem aérea da Usina Cidade Azul, de 3 MW de potência e instalada em Tubarão-SC, construída no contexto da Chamada 013/2011 de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL pela Tractebel Energia e Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-complementares/solar-cidade-azul>).



FIGURA 7. Imagem aérea de um dos oito Módulos de Avaliação do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, construído no contexto da Chamada 013/2011 de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL pela Tractebel Energia e Universidade Federal de Santa Catarina (<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/>).



que os geradores solares espalhados pelos telhados de todo o país podem contribuir para economizar água nas barragens das usinas hidrelétricas, aumentando a robustez e confiabilidade do sistema elétrico nacional.

---

RICARDO RÜTHER · Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário Trindade. Caixa Postal 476, Florianópolis-SC. 88040-900. ricardo.ruther@ufsc.br

## Eficiência Energética

GILBERTO M. JANNUZZI

■ Quando me perguntam “o quê é eficiência energética” eu respondo que primeiramente temos que deixar mais claro o que entendemos sobre energia, para quê necessitamos de energia. Eficiência energética é aquela energia que você não vê, aquela que você deixa de consumir. Por isso é tão importante desenvolver conceitos e indicadores que nos permitam avaliar e mensurar a quantidade de eficiência energética que temos disponível e como estamos aproveitando esse recurso energético. Sim, eficiência energética é também um recurso, assim como a energia hidráulica, energia solar, carvão, petróleo, etc. É um recurso invisível, mas é tão grande quanto as reservas de combustíveis fósseis, que aumentam sua longevidade cada vez que energia se torna mais cara, e portanto tornando economicamente viável sua contínua exploração em locais cada vez mais complicados.

Eficiência energética necessita de investimentos, tecnologia e planejamento para que seja aproveitada, do mesmo modo como fazemos quando pensamos em expandir nosso parque de usinas de eletricidade ou refinarias, e novos poços de petróleo, por exemplo. No entanto, via de regra, esse recurso só é lembrado quando enfrentamos crises de abastecimento (o mesmo acontece com a água para consumo), e perdemos oportunidades para melhor aproveitamento de sua potencialidade, conforme procuraremos argumentar a seguir.

### CONCEITOS

■ Aprendemos a usar a energia em nossos processos e para aumentar nosso nível de conforto, para produzir bens e serviços necessários para o estilo de vida que desejamos. Isso é feito através de uma sequência de conversões entre diversas formas de energia. Aprendemos a converter a energia mecânica dos ventos para produzir energia elétrica que depois irá acionar motores para bombear água. Aprendemos

a converter a energia química de combustíveis em energia térmica (calor) e assim por diante. Cada uma dessas conversões envolve perdas de energia que não conseguimos aproveitar. Aqui começa a aparecer a noção de eficiência. Cada conversão é realizada segundo uma determinada eficiência. De uma maneira geral procuramos sempre medir essa eficiência através de uma razão entre a energia que é utilizada para um processo e a energia resultante desse processo, chamada de energia útil (vide equação 1). Sempre há perdas nessas conversões. A termodinâmica, através da 1ª. e 2ª. Leis, nos fornece ferramentas para se definir eficiência energética de modo mais preciso e ter indicadores quantitativos para defini-la. A eficiência energética de acordo com a Primeira Lei, é chamada de eficiência térmica, ou eficiência entálpica, mensura a quantidade de energia contida nos insumos e nos produtos resultantes de um processo. Assim, por exemplo, uma lâmpada incandescente tem uma eficiência de apenas 6% segundo esse indicador. Em outras palavras, apenas 6% da eletricidade de abastece a lâmpada é convertida em energia luminosa, o restante (94%) é dissipada em forma de calor (energia térmica).

$$\text{Eficiência energética (\%)} = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Insumo energético}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Podemos definir um outro indicador para eficiência energética usando a 2ª Lei, onde se considera não somente o conteúdo térmico do numerador e denominador, como foi feito no caso acima, onde não é feita nenhuma distinção entre diferentes formas de energia, apenas seu conteúdo térmico, ou entalpias. Em algumas situações nos interessa considerar a “qualidade” da energia. As eficiências de conversões através da 2ª Lei da Termodinâmica são baseadas em definições de limites ideais de processos e são úteis para indicar os limites teóricos de eficiência das conversões. Um exemplo típico para essa situação é o clássico exemplo do chuveiro elétrico que é um equipamento muito eficiente do ponto de vista de 1ª Lei da termodinâmica (existem no país chuveiros com 95-98% de eficiência) convertendo energia elétrica em energia térmica, mas essa não é a melhor maneira para se usar a eletricidade. Em termos de eficiência de 2ª Lei é muito melhor usar energia solar ou um combustível (gás, por exemplo) para aquecer água.

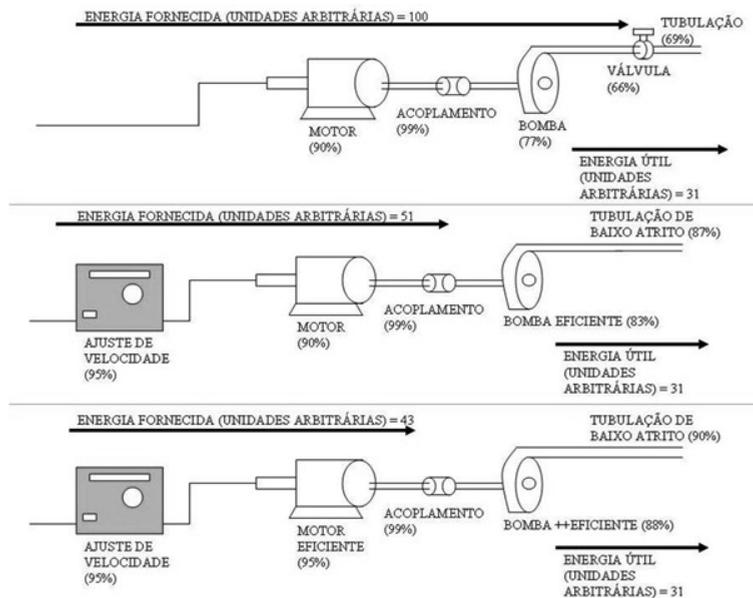
A Equação 1 apresentada acima na verdade pode ser expandida para representar melhor indicadores de eficiência energética que nos interessam. O numerador “energia útil” pode ser a quantidade de um determinado produto produzido, ou serviço de energia, por exemplo quantidade de lumens produzidos de uma lâmpada por kWh consumido.

Pode-se, ainda ampliar a definição de EE para incluir também a substituição de energéticos (gás, energia solar, etc.) onde se comprove menores custos (sociais, ambientais, financeiros) para a produção de um bem ou serviço. Novamente, nesses casos teremos novas grandezas para representar o numerador e o denominador da equação 1 apresentada.

Na verdade o que realmente interessa quando se fala em energia e eficiência energética é garantir que os serviços que necessitamos são atendidos. Não precisamos de kWh ou litros de gasolina e sim de iluminação, mobilidade, refrigeração, e tantos outros serviços que precisam de energia para serem executados.

Desse modo, o entendimento mais difundido e mais útil de eficiência energética refere-se a maneiras de consumir menos energia para realizar a mesma quantidade de serviço, ou seja, significa diminuir a quantidade de energia primária destinada a produzir um bem ou serviço de energia. Isso pode ser ilustrado pelas diferentes configurações de um sistema motor-bomba conforme a Ilustração 1, onde se pode notar que diferentes configurações requerem menos energia para executar um mesmo serviço.

ILUSTRAÇÃO 1. Exemplos de eficiência energética através de melhoramentos técnicos em um sistema motor-bomba.



Fonte: Scientific American (1990), modificado pelo autor.

Esses diferentes arranjos mostram que podemos requisitar diferentes quantidades de insumo energético para executar o mesmo trabalho, e o sistema mais eficiente é aquele que necessita de menor quantidade de energia (43 unidades) para o serviço desejado representado nessa ilustração como sendo 31 unidades de energia útil.

Eficiência energética não se restringe somente ao uso de melhores tecnologias de conversão de energia. Existem outros elementos que garantem condições de atender a demanda por serviços feitas com gasto de energia. A qualidade da energia e o comportamento do usuário final são esses outros componentes.

Garantir e melhorar constantemente a qualidade dos combustíveis e da eletricidade, estabelecendo, por exemplo, padrões de composição (combustíveis), regularidade de voltagem (eletricidade), etc., permite que equipamentos e processos possam funcionar dentro das especificações ótimas para as quais foram projetados. A qualidade de energia tem influência direta não só na quantidade de energia consumida, mas também na vida útil dos equipamentos e nível de emissões (no caso dos combustíveis).

## CATEGORIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

■ É interessante ver a eficiência energética em diferentes contextos. Vamos chamar esses contextos de categorias de eficiência energética. Isso é importante especialmente para desenhar mecanismos para incentivar e disseminar práticas, processos e tecnologias. Podemos classificar em três categorias de eficiência energética: EE do lado da oferta, ou seja da indústria de produção de energia; eficiência energética do lado da demanda ou dos serviços de energia, ou ainda dos chamados “usos finais” de energia; e finalmente uma terceira categoria relacionada a comportamentos de consumidores, sejam eles indivíduos ou então instituições e corporações (Ilustração 2).

O fluxo de energia é permeado por uma série de tecnologias cuja função é converter diversas formas de energia nos serviços desejados, conforme mencionamos. A indústria de produção de energia é naturalmente estimulada a gerar energia de maneira mais eficiente porque assim terá mais lucros com a venda de seu produto. Grande parte dos esforços em pesquisa e desenvolvimento estão justamente buscando formas de se extrair e produzir energia com menores perdas.

As diferentes tecnologias de conversão de energia primária em energia secundária tem melhorado enormemente. A Ilustração 3 mostra a melhoria de eficiência de conversão da energia solar em eletricidade nos últimos 40 anos em laboratórios de pesquisa.

ILUSTRAÇÃO 2. Categorias de eficiência energética e fluxo de energia

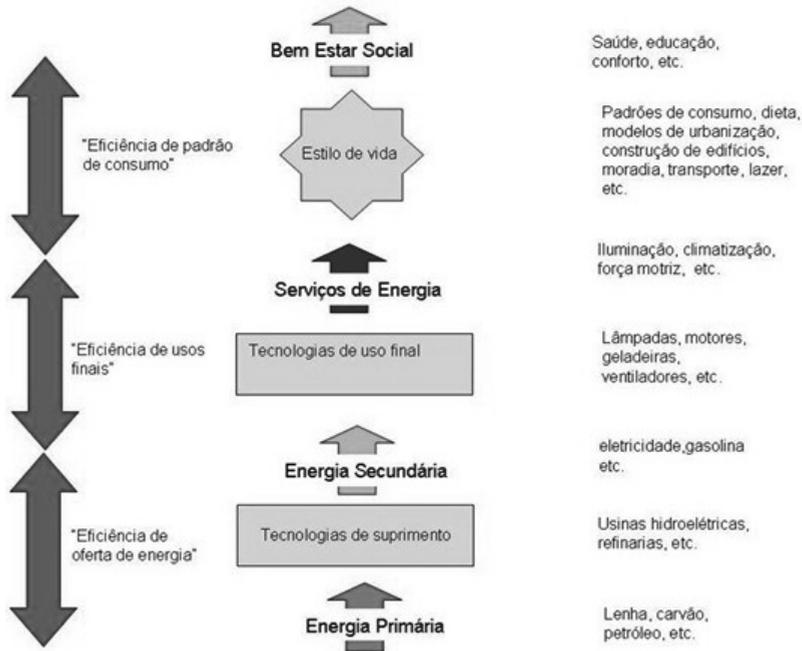
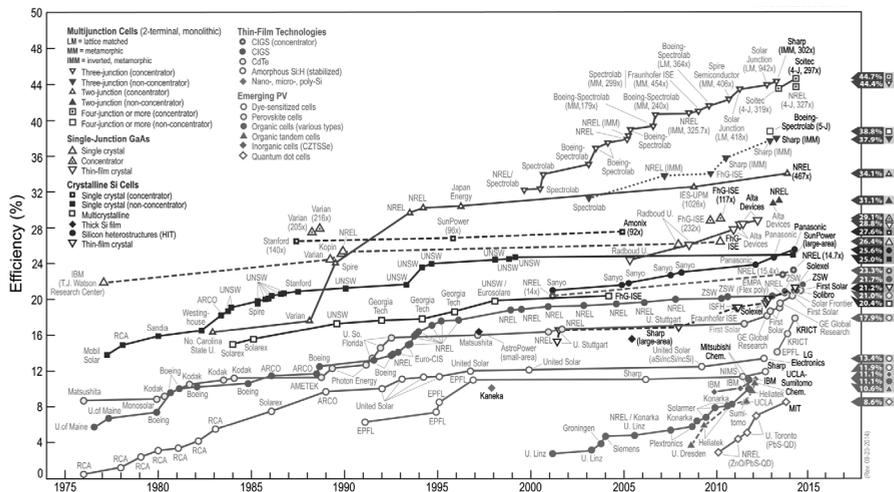


ILUSTRAÇÃO 3. Eficiências conseguidas em laboratórios de pesquisas através de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas



Fonte: "NREL: National Center for Photovoltaics." 2014. <http://www.nrel.gov/ncpv/>.

O que chamamos de eficiência energética do lado da demanda ou dos serviços de energia, é ainda a categoria que possui o maior potencial de eficiência energética. A dinâmica do mercado, a estratégia dos fornecedores de equipamentos e altos custos de transação para se substituir ou modificar as tecnologias em uso, tem oferecido entraves significativos para acelerar a introdução e disseminação de novas tecnologias mais eficientes. Frequentemente é necessário recorrer a instrumentos regulatórios ou legislativos para possibilitar a comercialização de equipamentos mais eficientes. Incentivos financeiros acoplados a especificações técnicas que garantam o desempenho energético dentro de padrões cada vez menor de consumo têm sido utilizados principalmente para várias tecnologias de uso final, como motores, refrigeradores, lâmpadas e inclusive edificações.

O usuário final é o terceiro elemento fundamental para um sistema energético eficiente. Além da contribuição importante das tecnologias de conversão energética e da infraestrutura que estabelece padrões físicos de eficiência das duas categorias anteriores, o comportamento do consumidor (e das firmas e corporações) são fundamentais. Dele dependem decisões importantes como compra, instalação e operação e uso de equipamentos e processos que consomem energia. Seu padrão de consumo e estilo de vida determinam em última análise a produção, distribuição e o consumo de energia de toda a cadeia de produção de bens e serviços de um país ou região. Acesso a informação, poder aquisitivo, cultura e preferências influem de maneira complexa nas interações dos consumidores com tecnologias e demanda final de energia.

## O POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

■ Estimar o potencial de eficiência energética de um país é muito similar a realizar estimativas de reservas de petróleo. Os valores podem variar de acordo com cada analista, metodologias e critérios utilizados. A cada novo preço de energia novos potenciais de se economizar energia aparecem, do mesmo modo como novas fontes de energia e novas reservas de petróleo, por exemplo, são contabilizadas.

O potencial de eficiência não é desprezível como indicam diversos estudos internacionais. Os relatórios recentes do IPCC mais uma vez conferem um papel especial para a eficiência energética como parte de estratégias de mitigação de gases-estufa<sup>1</sup>. A Agência Internacional de Energia através de estudos de cenários de aquecimento global estima que os resultados obtidos no mundo se ações de eficiência energética no setor de usos finais serão mais importantes que as contri-

1 IPCC, *Fifth Assessment Report (AR5)*, 2014, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>.

buições esperadas das fontes renováveis para manter o aumento de temperatura em 2 graus Celsius até 2050<sup>2</sup>. Os estudos realizados para o Brasil pela WWF<sup>3</sup>, Greenpeace<sup>4</sup> e mesmo EPE<sup>5</sup> também apresentam estimativas com valores expressivos para a contribuição de eficiência energética para o futuro. As avaliações do WWF e Greenpeace são bem superiores àquelas apontadas pelas projeções oficiais da EPE, ao redor de 30-38% da demanda projetada de eletricidade durante 2020-2030, enquanto a EPE estima um valor de cerca de 10%.

Estimativas do potencial de EE implicam em considerações complexas sobre comportamento do consumidor, do mercado, desempenho e evolução de tecnologias ao longo do tempo, e, principalmente da existência de políticas públicas para transformar o mercado de energia (e tecnologias). Dependem em grande parte dos investimentos que serão disponibilizados, preços de energia, liderança e coordenação de políticas públicas.

Existem também fatores que adicionam maiores incertezas às estimativas de potencial de EE, como efeito rebote (“rebound effect”), quando muitas vezes o consumidor passa a consumir mais energia, modificando seus hábitos. Outros fatores como sazonalidade econômica e climática que podem impactar nas economias de energia inicialmente estimadas. No entanto, muito se tem avançado em sistemas e metodologias para monitorar e avaliar os impactos dos investimentos em eficiência energética. Hoje em dia existem diversos protocolos internacionais<sup>6</sup> e experiências<sup>7</sup> que procuram estabelecer parâmetros confiáveis para acompanhar e avaliar os progressos que estão sendo alcançados através de investimentos em programas, e ações

- 2 International Energy Agency. et al., *Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential* (Paris, France: OECD/IEA, 2014).
- 3 G. M. Jannuzzi et al., *Agenda Elétrica Sustentável 2020: Estudo de Cenários Para Um Setor Elétrico Brasileiro Eficiente, Seguro E Competitivo*, Série Técnica (Brasília: WWF-Brasil, 2007), [http://assets.wwf.org.br/downloads/wwf\\_energia\\_2ed\\_ebook.pdf](http://assets.wwf.org.br/downloads/wwf_energia_2ed_ebook.pdf).
- 4 Greenpeace International, European Renewable Energy Council – EREC, *Global Energy [r] evolution: A Sustainable World Energy Outlook* (Greenpeace International and EREC, 2007); Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC) and Greenpeace, “[r]evolução Energética – Perspectivas Para Uma Energia Global Sustentável,” 2007, [http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario\\_brasileiro.pdf](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/cenario_brasileiro.pdf).
- 5 Empresa de Pesquisa Energética EPE, *Plano Nacional de Energia 2030* (Empresa de Pesquisa Energética, 2007), <http://epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>.
- 6 INEE, “Medição & Verificação – ESCOS,” 2014, [http://www.inee.org.br/escos\\_mev.asp?Cat=mev;EVO, “IPMVP Core Concepts, 2014: English,” 2014, http://www.evo-world.org/index.php?option=com\\_rform&formId=124&Itemid=1958&lang=en](http://www.inee.org.br/escos_mev.asp?Cat=mev;EVO, “IPMVP Core Concepts, 2014: English,” 2014, http://www.evo-world.org/index.php?option=com_rform&formId=124&Itemid=1958&lang=en).
- 7 L. Skumatz, *Lessons Learned and Next Steps in Energy Efficiency Measurement and Attribution: Energy Savings, Net to Gross, Non-Energy Benefits, and Persistence of Energy Efficiency Behavior* (Berkeley, CA, USA: California Institute for Energy and Environment, 2009).

de eficiência energética. É importante observar que existe uma enorme evolução em termos de metodologias e instrumentos de avaliação de programas de eficiência energética de modo a reduzir as incertezas ou controlá-las de maneira aceitável.

Tradicionalmente se relevam as incertezas de estimativas do potencial de fornecimento de energia (potencial de oferta de energia) e se penalizam as incertezas do potencial de eficiência energética do lado da demanda (onde grande parte do potencial de EE se localiza). É importante reconhecer que existem também enormes incertezas em relação à quantificação de reservas de petróleo, por exemplo e sua produção ao longo do tempo. O mesmo acontece com inventários de potenciais hidroelétricos e correspondente produção anual de eletricidade. Mudanças de regimes climáticos, atrasos em obras civis, variações de custos, exemplificam as incertezas que permeiam as projeções de fornecimento de energia, e comprometem muitas vezes a geração de energia e os custos inicialmente previstos.

## A CONTRIBUIÇÃO DA EE PARA O BRASIL

■ Entendemos a eficiência energética como sendo mais um recurso energético que pode ser explorado para atender às necessidades da sociedade. Destacamos abaixo principais áreas onde ela pode ter uma contribuição significativa para o país.

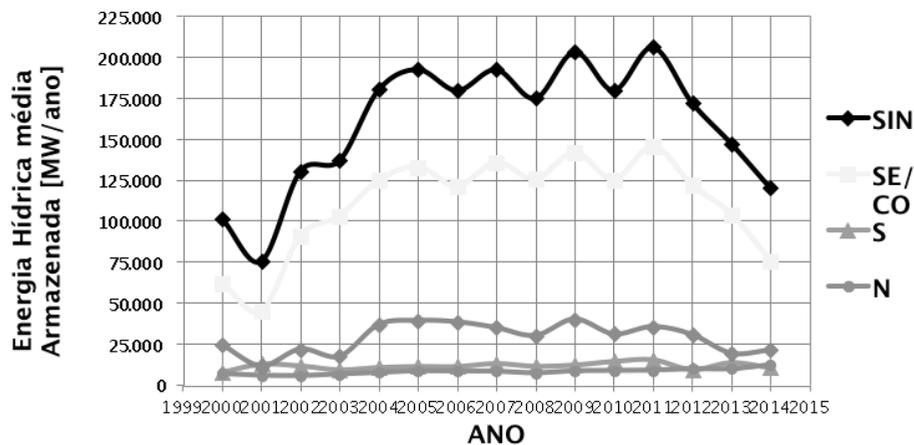
### Compatibilizar a oferta e demanda de energia

A curto prazo, a grande prioridade da eficiência energética no Brasil é ajudar a evitar perdas econômicas em virtude de desequilíbrio entre a demanda e a capacidade de geração de energia. Já há alguns anos, o crescimento econômico do Brasil impõe demandas de nova capacidade de geração e infra-estrutura adicional de eletricidade e combustíveis. Conforme vários estudos e alertas feitos ao longo dos últimos anos, investimentos em nova capacidade de geração não estavam acompanhando a crescente demanda. Restrições no abastecimento de causam sérios transtornos às atividades comercial e industrial, além da vida dos cidadãos, como foi possível verificar durante o ano de 2001.

Desde 2003 os novos empreendimentos hidroelétricos não tem incorporado reservatórios, o que acrescenta o aspecto de intermitência tão característico das fontes renováveis, como a energia eólica e a energia solar. A tradição brasileira bem sucedida do setor elétrico se baseava na sua capacidade de reservar energia nos reservatórios para sua utilização em períodos secos. Com isso as usinas térmicas representavam apenas uma forma de complementação da geração quando se

fizesse necessário. No entanto, essa situação está se modificando rapidamente e de maneira preocupante. A Ilustração 4 mostra que desde 2003 a capacidade de armazenagem tem ficado estável e que a partir de 2011 ela tem se reduzido, especialmente no Sudeste e Centro-Oeste que concentram cerca de 70% da capacidade dos reservatórios do país. Eficiência energética não somente economizaria energia como pouparia água nos reservatórios, inclusive para abastecimento humano, e contribuiria para o enfrentamento da estiagem verificada nessa região do país.

ILUSTRAÇÃO 4. Evolução da capacidade de armazenagem de energia no Sistema elétrico brasileiro



Fonte: ONS (2014)<sup>8</sup>.

Ações mais coordenadas e planejadas de eficiência energética devem fazer parte de uma política de investimentos para o setor de energia no longo prazo e como vemos possuem reflexos importantes no gerenciamento de recursos críticos como a água.

**Reduzir os impactos ambientais, em nível local e global, devidos ao fornecimento de energia**

Maior eficiência e redução do desperdício no fornecimento e uso final de energia ajudariam a preservar o meio ambiente, na medida em que restringem a quanti-

8 “ONS – Operador Nacional Do Sistema Elétrico,” accessed November 14, 2014, <http://www.ons.org.br/home/>.

dade de energia que precisa ser gerada. O fornecimento e uso de energia afeta o meio ambiente em razão da extração de combustível e transporte, implantação de usinas de geração de eletricidade, refinarias e emissões na atmosfera. Embora o fornecimento de energia elétrica no Brasil tenha sido historicamente hidrelétrico, a capacidade adicional futura será crescentemente dominada por tecnologias térmicas. A queima de combustível fóssil para geração de energia ocasiona poluição local e gases de efeito-estufa na atmosfera. Redução do desperdício de energia elétrica e melhor gerenciamento do setor de transportes podem ajudar o Brasil a melhorar a qualidade do ar local, além de contribuir para os esforços globais visando a redução dos gases de efeito-estufa.

### **Garantir a expansão dos serviços de energia com menores custos**

É claro que usar energia de modo eficiente implica em investimentos e custos operacionais, no entanto grande parte das possibilidades indicam custos inferiores àqueles necessários para gerar a quantidade equivalente evitada. Diversos estudos identificam essas oportunidades. O próprio mercado tem sido capaz de explorar uma parcela do potencial de EE que se mostra economicamente atraente para investidores privados. É desse modo que tem havido oportunidades para as novas ESCOs.

A sustentabilidade de mercados de eficiência energética pode ser alcançada por meio da captura de economias de escala em produtos e serviços, reduzindo os riscos de desempenho de projetos individuais por meio da diversificação de carteira, e reduzindo os custos de transação para financiamento e entrega dos serviços. Essas características, por sua vez, podem ser promovidas por meio de articulação de recursos, cooperação entre diferentes agentes do mercado e alavancagem de fundos.

Na medida em que esses investimentos aumentem existirá menor pressão para a expansão do parque gerador de energia.

### **Garantir o acesso e capacidade de adquirir serviços de energia para consumidores**

Com a reestruturação e privatização do setor elétrico do Brasil, as tarifas são reajustadas para que reflitam, mais diretamente, os custos do fornecimento dos serviços, com arrecadação mais eficaz das receitas. Com a maior participação da geração termoeletrica nesses dois últimos anos, as tarifas já estão sendo reajustadas

para cima, em valores superiores à inflação e essa situação deverá permanecer para os próximos anos. Eficiência energética possibilita que consumidores residenciais, industriais possam ter suas necessidade atendidas a custos menores de energia.

Domicílios de baixa renda, em particular, têm recebido historicamente subsídios explícitos ou implícitos pelos serviços de eletricidade e GLP. Além disso, alguns domicílios de baixa renda recebem energia elétrica informalmente, sem a instalação de medidores ou cobrança de tarifas. É desejável, dessa forma, desenvolver uma estratégia de retirada dos subsídios sem provocar impactos negativos na capacidade de pagamento dessa população atualmente enquadrada na Tarifa Social. Eficiência energética pode fazer parte dessa estratégia, desonerando os demais consumidores que estão na realidade subsidiando o uso ineficiente de eletricidade dos equipamentos obsoletos encontrados nos domicílios de baixa renda. Maior eficiência energética facilitará aos consumidores de baixa renda manter a condição de acesso e a capacidade de pagar pela eletricidade, ao mesmo tempo podem contribuir para reduzir a necessidade de subsídios no médio e longo prazos.

A regulação brasileira estipula que uma porcentagem da receita líquida das distribuidoras de eletricidade invistam em programas de eficiência energética de seus consumidores<sup>9</sup>. Isso representa cerca de 300-400 milhões de reais por ano o que é algo bastante significativo para o país. No entanto, parece ainda ser difícil de se contabilizar o impacto desses investimentos na demanda de eletricidade. Desde 2005 um pouco mais de 60% desse valor está sendo aplicado em consumidores de baixa renda através de doação de lâmpadas e refrigeradores. Praticamente nenhum desse recurso está sendo investido no segmento industrial que representa mais da metade do consumo nacional de eletricidade. Em outros países com esse tipo de mecanismo, esse recurso é utilizado para alavancar ainda mais investimentos em eficiência energética buscando criar um mercado de negócios e investimentos públicos e privados em soluções eficientes.

## NOTAS FINAIS

■ Embora exista um potencial técnico e econômico de eficiência energética e mesmo com diversos mecanismos importantes existentes no Brasil ainda temos um caminho significativo para consolidar e melhor aproveitar esse potencial. Assim como planejamos a oferta de energia e promovemos leilões para novas usinas, é ne-

9 Presidência da República, *Lei 9.991/2000*, 2000, [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm).

cessário planejar novos investimentos em eficiência especialmente no que se refere a serviços de energia e usuários finais. Leilões de eficiência energética, aprimorar a regulação para que as concessionárias de energia e outros agentes possam se beneficiar economicamente desses investimentos. Avançar com maior rapidez e rigor em padrões mandatórios de eficiência mínima para veículos, edifícios e equipamentos, aproveitando a Lei de Eficiência Energética em vigor no país<sup>10</sup>.

Eficiência energética não é uma novidade no Brasil. Diversas ações tem sido executadas por agentes públicos e privados desde a década de setenta. O país conta com mecanismos de incentivos, normas técnicas, legislação etc. No entanto não temos tido uma política de eficiência energética que pudesse alinhar essas oportunidades ao lado das demais opções de recursos energéticos. Com esse objetivo seriam necessários ainda os seguintes elementos:

- O estabelecimento de metas dentro do planejamento energético para conservação de energia (eletricidade e combustíveis). Essas metas devem ser feitas de modo desagregado (usos finais ou tecnologias) possibilitando avaliar o seu impacto na demanda global (priorização) e definição dos programas necessários para atingi-las.
- Avaliação das necessidades de investimentos. Definição de mecanismos operativos e/ou programas para serem implementados.
- Criação de linhas de base e indicadores de acompanhamento e avaliação de resultados
- Capacidade institucional para coordenação, acompanhamento e avaliação das ações

As negociações internacionais do regime climático e possivelmente metas de emissões a serem estabelecidas na próxima Conferência das Partes em Paris em 2015, possivelmente ajudarão a dar maior importância para o potencial de eficiência energética juntamente com o agravamento da oferta de eletricidade e seus custos nos próximos anos.

GILBERTO M JANNUZZI · Professor Titular em Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

10 Presidência da República, *LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001*, 2001, <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200110295.pdf>.

# POLÍTICA ENERGÉTICA



# A Política Energética do Brasil

ALTINO VENTURA FILHO

## I. INTRODUÇÃO

■ Este artigo apresenta as “Políticas e Diretrizes” do Ministério de Minas e Energia para a expansão do Sistema Energético Nacional. Para um melhor entendimento destas políticas e diretrizes são apresentados os montantes de utilização dos diversos energéticos no Brasil, o que permite visualizar as prioridades estabelecidas para as diversas fontes de energia. Serão consideradas as matrizes nacionais de oferta de energia e de oferta de energia elétrica, com uma comparação com as equivalentes mundiais. Isto permite avaliar a energia brasileira no contexto internacional, evidenciando a favorável situação nacional.

A matriz de “oferta de energia” apresenta o montante de energia desagregado pelas fontes energéticas primárias, existentes na natureza, como por exemplo, petróleo, carvão mineral, gás natural, hidráulica, nuclear (urânio) e outras. Uma parcela importante desta oferta de energia é transformada em energia elétrica, forma mais adequada de utilização por parte dos consumidores, em diversos contextos. Toda a energia oriunda da hidráulica e da nuclear e parte da dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) é transformada em energia elétrica. Assim surge a matriz de “oferta de energia elétrica” que apresenta o montante de energia elétrica desagregado pelas diversas fontes.

Será apresentada uma análise do quadro atual, nesta segunda década do século XXI, e da evolução histórica da energia no Brasil e no Mundo. As perspectivas de expansão dos sistemas energéticos brasileiros são apresentadas para as próximas décadas.

As análises das matrizes energéticas considerarão as participações das fontes renováveis e dos combustíveis fósseis, estes últimos responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, relacionados com o aquecimento global e com as mudanças

climáticas do planeta. As relações entre as ofertas e os consumos de energia, por um lado, e a economia e a população, por outro lado, serão também consideradas.

Estas análises exigirão uma quantidade expressiva de dados e parâmetros, necessária para um entendimento destas políticas e diretrizes do Setor Energético Brasileiro. Isto vai requerer certa paciência e compreensão do leitor.

## 2. O BRASIL NO CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL ATUAL

■ O Brasil, no ano de 2013, possuía uma população de 202 milhões de habitantes, 2,8% dos 7,1 bilhões do Mundo. De cada 1.000 habitantes do planeta, 22 eram brasileiros, naquele ano. As taxas de crescimento anuais médias da população, no período 2000/2013, foram de 1,3% para o Brasil e de 1,2% para o Mundo, similares neste início do século XXI.

O Produto Interno Bruto – PIB brasileiro, no ano de 2013, em US\$ de 2011-ppp, foi de US\$2,9 trilhões, 2,9% do mundial de US\$98,8 trilhões (participação nacional no mundo semelhante à da população). O PIB anual per capita (PIB/hab) nacional, neste ano, foi de US\$14.443/hab, 4,1% superior ao mundial de US\$13.872/hab.

As Figuras I e II a seguir apresentam as comparações entre as matrizes de oferta de energia e a de oferta de energia elétrica do Brasil e do Mundo, no ano de 2013.

O setor energético brasileiro apresentou-se de forma bastante favorável, neste ano, quanto à participação das fontes renováveis na matriz de oferta interna de energia, no patamar de 41,1%, diante do valor mundial de apenas 13,5%. No caso da matriz de oferta de energia elétrica, estas participações foram de 78,4% e 21,6%, para o Brasil e o Mundo, respectivamente.

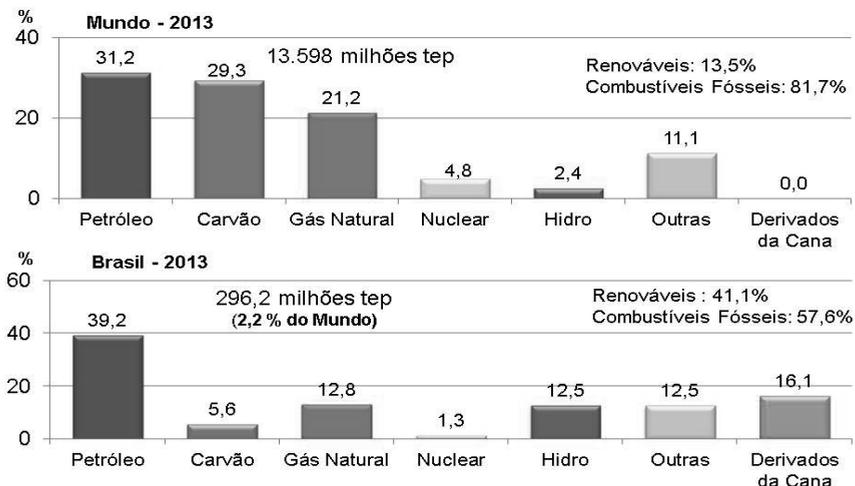
Quanto ao uso dos combustíveis fósseis, por outro lado, o Brasil também se apresentou de forma bastante favorável, com uma participação de 57,6% na matriz de oferta interna de energia, diante do valor mundial de 81,7%. No caso da matriz de oferta de energia elétrica, estas participações foram de 19,2% e 67,7%, para o Brasil e Mundo, respectivamente.<sup>1</sup>

O Brasil, em relação ao Mundo, quanto aos setores de “energia” e de “energia elétrica”, já pode ser considerado com uma economia de “baixo carbono”, com um desenvolvimento sustentável, quanto ao uso eficiente dos recursos naturais, inclusive os energéticos, com fontes renováveis.

---

1

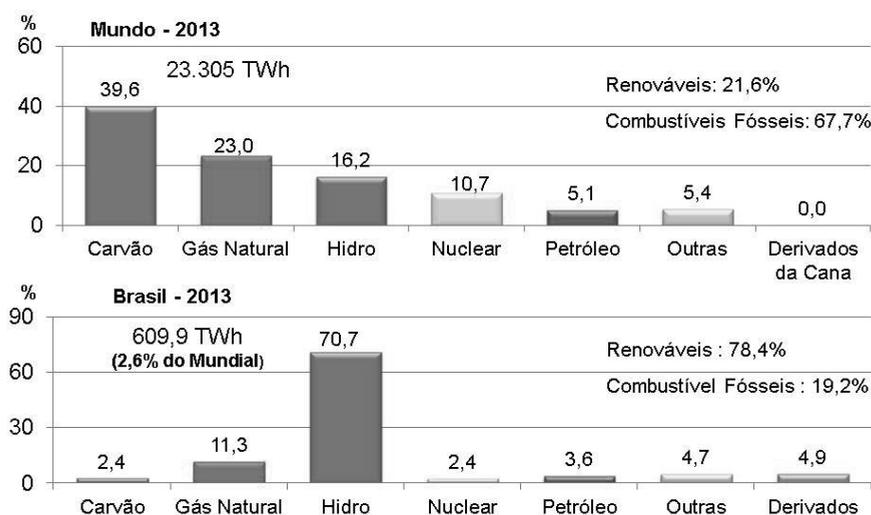
FIGURA I. Matriz de oferta de energia – Ano 2013. Mundo x Brasil (%)



Fonte IEA MME/BEN.

Considerando as matrizes de oferta de energia e de oferta de energia elétrica e os respectivos consumos, os valores para o Brasil e para o Mundo, no ano de 2013, foram os seguintes:

FIGURA II. Matriz de oferta de energia elétrica – Ano 2013. Mundo x Brasil (%)



Fonte IEA MME/BEN.

### ■ Energia

Oferta de 296,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) no Brasil e 13.598 milhões de tep no Mundo. A oferta brasileira responde por 2,2% da mundial (abaixo da participação nacional na economia mundial). Estas ofertas de energia relacionadas com a população e com a economia apresentaram os seguintes índices:

- 1) Brasil, com 1,47 tep/hab (oferta de energia anual per capita) e Mundo com 1,91 tep/hab. O índice nacional foi de 77% do correspondente mundial, baixo, em parte explicado pelo reduzido uso de aquecimento ambiental no Brasil e pelas perdas na geração térmica no Mundo;
- 2) Brasil, com 0,102 tep/mil US\$ de PIB (conteúdo da oferta de energia no PIB) e Mundo com 0,138 tep/mil US\$ de PIB. O índice nacional foi de 74% do mundial.

### ■ Energia Elétrica

Oferta de 609,9 TWh no Brasil e 23.305 TWh no Mundo. A oferta brasileira responde por 2,6% da energia elétrica mundial (abaixo da participação nacional na economia mundial). Os consumos finais, associados a estas ofertas, relacionados com a população e com a economia apresentaram os seguintes índices:

- 1) Brasil, com 2.410 kWh/hab (consumo final de energia elétrica anual per capita) e Mundo com 2.720 kWh/hab. O índice nacional foi de 89% do mundial, baixo, também em parte explicado pelo reduzido uso de aquecimento ambiental no Brasil;
- 2) Brasil, com 0,167 kWh/US\$ de PIB (conteúdo do consumo final de energia elétrica no PIB) e Mundo com 0,196 kWh/US\$ de PIB. O índice nacional foi de 82% do mundial.

### 3. EVOLUÇÃO DO CONTEXTO ENERGÉTICO DO BRASIL E DO MUNDO NO PERÍODO 1980/2013

■ A análise da evolução das matrizes energéticas, a partir da década de 1980, deve ser considerada e elaborada devido aos três eventos que ocorreram na década de 1970 e que impactaram os setores energéticos e as políticas mundiais de aproveitamento dos recursos naturais do planeta, inclusive os energéticos. Estes eventos foram os seguintes:

Conferência da ONU – Organização das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável, em Estocolmo/Suécia, de junho/1972: Nesta

conferência, a sociedade internacional iniciou uma discussão das questões relacionadas com os conceitos de desenvolvimento sustentável, de impactos ambientais da ação do homem e do uso eficiente dos recursos naturais, inclusive os energéticos. Estes temas tiveram uma importância crescente nas últimas décadas, no contexto da “economia de baixo carbono”, quanto às emissões de gases de efeito estufa, ao aquecimento global e às mudanças climáticas.

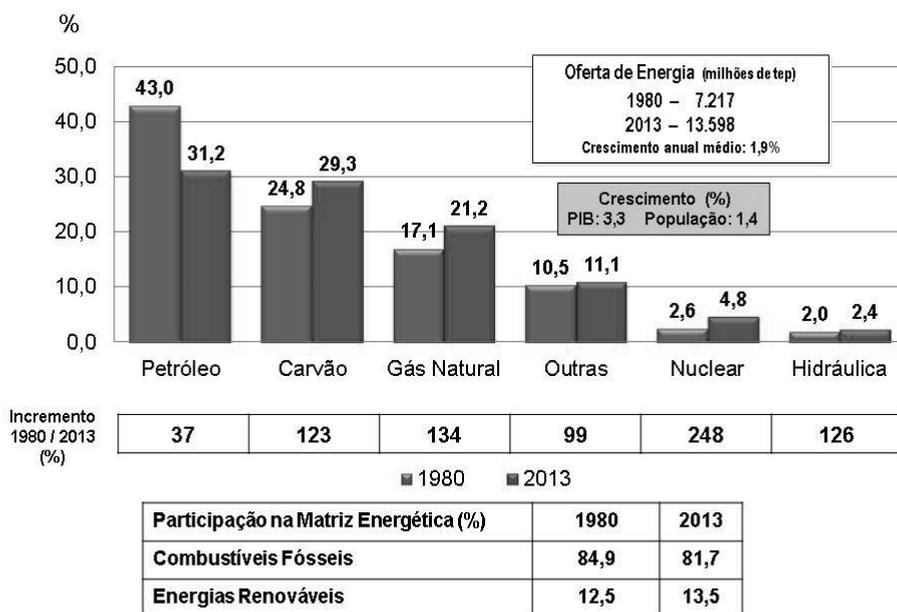
Dois “Choques” do Petróleo: O choque de 1973, elevação do preço do petróleo de 3 para 12 US\$/barril (aumento de 4 vezes), e o de 1979, com nova elevação de 12 para 40 US\$/barril (aumento de 3,5 vezes), em moedas dos respectivos anos. Estes eventos estabeleceram novos patamares de preços da energia no Mundo, considerando a importância do petróleo, uma “commodity” amplamente utilizada e com expressivo comércio entre países produtores e consumidores. A importância do petróleo pode ser avaliada pela sua elevada participação na oferta de energia no Mundo: em 1980, último ano da década de 1970, de 43% (seguida do carvão mineral com 27%) e em 2013 de 31% (seguida do carvão mineral com 29%).

Acidentes Nucleares de Grande Magnitude: O primeiro na década de 1970, em 28/03/79, na nuclear de Three Mile Island, na Pensilvânia, Estados Unidos. Este acidente foi de nível 5 na Escala Internacional de Eventos Nucleares – INES, de 0 a 7. Os outros dois acidentes ocorreram nas décadas seguintes, na nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, antiga URSS, em 25/04/86, de nível 7 e o da nuclear de Fukushima, no Japão, em 11/03/2011, de nível 5. Estes acidentes provocaram uma desaceleração nos programas de usinas nucleares no Mundo, com priorização de outras opções para a produção de energia elétrica, em particular o carvão mineral e o gás natural, combustíveis fósseis emissores de gases de efeito estufa. O carvão mineral produz atualmente 39,6% da energia elétrica mundial e o gás natural 23,0%. Grande parcela desta produção poderia ter sido oriunda de geração nuclear, sem emissão de gases de efeito estufa.

### 3.1 Energia no Mundo – Período 1980/2013:

Neste período de 33 anos, ocorreram modificações estruturais importantes, nas matrizes energéticas do Mundo e do Brasil, devido às políticas adotadas após os eventos da década de 1970 anteriormente relatados. As Figuras III e IV apresentam as evoluções das matrizes de oferta de energia e de oferta de energia elétrica do Mundo, no período 1980/2013.

FIGURA III. Matriz de oferta de energia do mundo.  
Participação das fontes (%). Período 1980/2013



Na matriz de oferta de energia do Mundo, a participação dos combustíveis fósseis apresentou uma pequena redução neste período, evoluindo de 84,9% em 1980 para 81,7% em 2013, evidenciando que o Mundo continua prioritariamente atendendo suas demandas energéticas com combustíveis fósseis. A redução da participação do petróleo foi significativa, de 43,0% para 31,2%, e ocorreram elevações de cerca de 4% nas participações do carvão mineral e do gás natural. A nuclear evoluiu de 2,6% para 4,8%. A participação das fontes renováveis teve uma pequena elevação, de 12,5% para 13,5%. Todos os energéticos elevaram em termos absolutos os respectivos montantes de oferta, com o petróleo com o incremento mínimo de 37% e a nuclear com o incremento máximo de 248%.

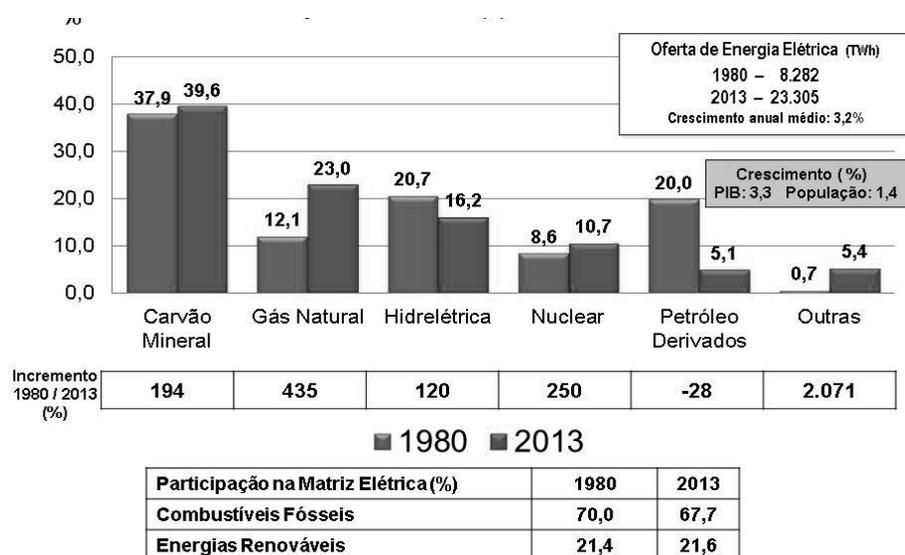
Na matriz de oferta de energia elétrica, a participação dos combustíveis fósseis apresentou uma pequena redução neste período, de 70,0% para 67,7%, nos anos de 1980 e 2013 respectivamente. O petróleo teve uma redução expressiva na produção de energia elétrica no Mundo, de 20,0% para 5,1%, nos mesmos anos, tendo ocorrido uma elevação significativa da participação do gás natural, de 12,1% para 23,0%. A participação das fontes renováveis manteve-se constante no período, no patamar de 21%. Todos os energéticos elevaram em termos absolutos

os respectivos montantes de oferta (exceto o petróleo e derivados, com redução de 28%), a hidroelétrica com o incremento mínimo de 120% e outras renováveis, com o incremento máximo de 2.071%.

A oferta de energia do Mundo, nas últimas décadas, inclusive na atual, está majoritariamente baseada nos combustíveis fósseis – petróleo, carvão mineral e gás natural, atualmente de 81,7% do total. Esta grande utilização de combustíveis fósseis é explicada por cinco aspectos principais destes energéticos:

- 1) grande disponibilidade de recursos, particularmente do carvão mineral;
- 2) vantajosa competitividade econômica e ambiental (exceto as emissões de CO<sub>2</sub> e mudanças climáticas) com outras fontes energéticas primárias;
- 3) favorável viabilidade técnica e econômica do seu transporte, inclusive a longas distâncias (o comércio de energia é um dos maiores do mundo);
- 4) adequada tecnologia, plenamente desenvolvida, para o seu diversificado aproveitamento energético;
- 5) “facilidade” de produzir, a partir destes combustíveis, a energia na forma de calor, utilizado diretamente pelos consumidores ou facilmente transformado em outras formas de energia, mais convenientes para o usuário, como exemplo, a energia elétrica das usinas térmicas convencionais.

FIGURA IV. Matriz de oferta de energia elétrica do mundo. Participação das fontes (%). Período 1980/2013



As emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético mundial, por unidade de energia ofertada, foram de 2,502 tCO<sub>2</sub>/tep em 1980 e de 2,373 tCO<sub>2</sub>/tep em 2013, com redução de apenas 5% nestes índices. Quanto aos valores absolutos, as emissões do setor energético mundial atingiram 18.055 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 1980 e de 32.270 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2013, com uma taxa de crescimento anual média de 1,8%, quase idêntica à do crescimento da oferta de energia de 1,9%. O Mundo está elevando em termos absolutos as emissões de gases de efeito estufa do setor energético, ao contrário dos discursos das reuniões internacionais que tratam do tema do aquecimento e das mudanças climáticas do planeta. Os esforços internacionais para redução das emissões de CO<sub>2</sub> no setor energético ainda não apresentaram resultados satisfatórios até o momento.

### 3.2 Energia no Brasil – Período 1980/2013

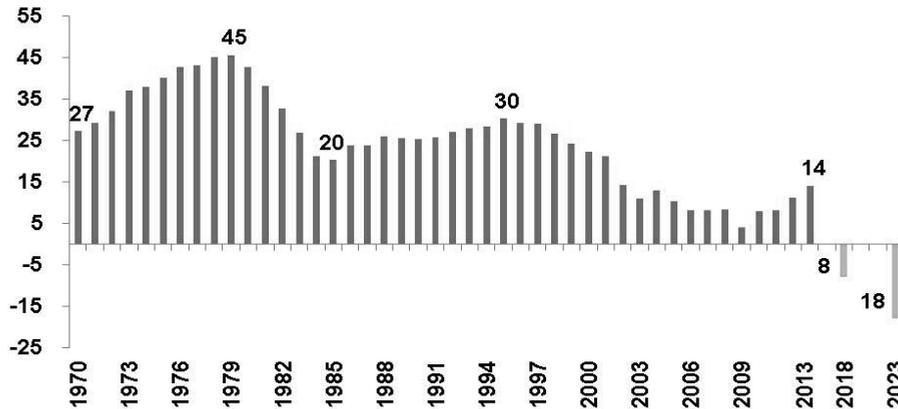
O Brasil foi importador de energia no período 1980/2013, de petróleo, de gás natural, de energia elétrica da parcela paraguaia de Itaipu e de carvão mineral para a siderurgia. A Figura V apresenta a parcela de importação de energia na oferta interna total nacional, no horizonte 1970/2013, e as perspectivas de exportação para 2018 e 2023, conforme o Plano Decenal de Expansão 2013/2023.

Na década de 1970, a situação energética brasileira era de grande dependência externa, com o recorde de importação (majoritariamente de petróleo), no ano de 1979, de 45% da oferta interna de energia. Neste ano, a participação do petróleo era de 50% e da lenha/carvão vegetal de 27%, totalizando estes dois energéticos quase 80% da oferta interna de energia. A lenha/carvão vegetal era utilizada pela população rural, opção para cocção de alimentos. A elevada participação do petróleo resultou das políticas adotadas nas décadas anteriores a de 1970, baseadas nos reduzidos preços deste combustível.

Esta matriz energética não tinha sustentabilidade econômica nem ambiental, com o País fortemente dependente do exterior, com a produção nacional de petróleo de apenas 20% da demanda deste energético. Os pagamentos da importação de petróleo, com preços elevados após os dois choques da década de 1970, foram parcialmente viabilizados por empréstimos externos e ocorreram num período em que o Brasil estava com déficit nas balanças comercial e de pagamento, influenciada inclusive pela importação deste petróleo. Isto provocou grandes dificuldades econômicas e financeiras ao País, durante toda a década de 1980. Esta foi uma das causas, entre outras, da chamada década perdida de 1980, tendo o PIB/

hab de 1990, registrado um valor inferior ao de 1980, contexto agravado pela má distribuição de renda daquela época.

FIGURA V. Brasil – energia. Energia – Autossuficiência / Importação e exportação. Parcela de Importação da Oferta Interna de Energia (%)



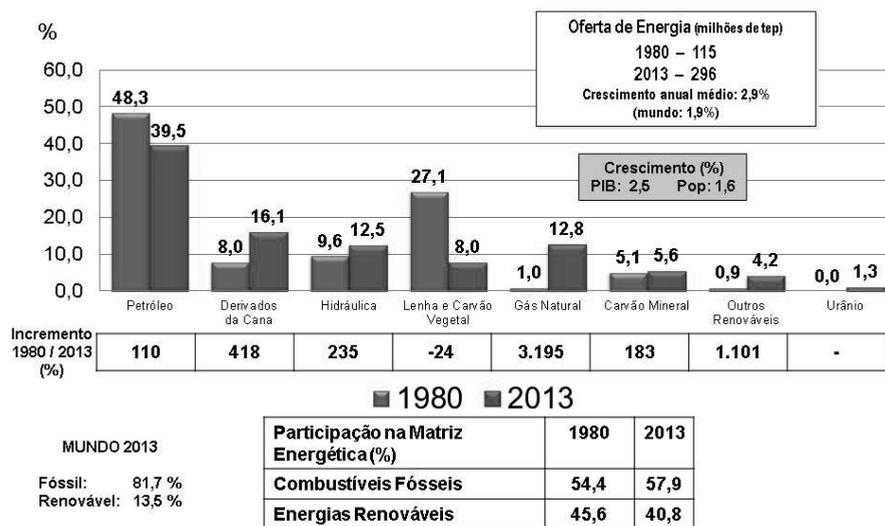
As políticas energéticas adotadas, com prioridade para o uso do petróleo e da lenha/carvão vegetal, teriam que ser modificadas, considerando os contextos energéticos mundiais e brasileiro, resultante dos eventos impactantes anteriormente referidos. Estas novas políticas energéticas do Brasil foram adotadas nas últimas décadas e mantidas atualmente e resumidamente foram as seguintes:

- ELETROBRÁS – priorizou a construção de usinas hidroelétricas de médio e de grande porte (Itaipu, Tucuruí, Xingó, Belo Monte e outras). O sistema gerador de energia elétrica nacional, nas duas décadas finais do século XX, tornou-se quase que exclusivamente hidroelétrico, promovendo a independência nacional no setor de energia elétrica, com um recurso renovável, competitivo, ambientalmente favorável e com tecnologia própria.
- PETROBRAS – priorizou a prospecção de petróleo no mar, onde se encontram os principais recursos deste combustível no Brasil. Inicialmente o petróleo da Bacia de Campos, em lâminas d’água de pequenas e médias profundidades, para em seguida, mais recentemente, o Pré-sal em águas profundas, com tecnologia nacional já plenamente desenvolvida. Isto garantirá a autossuficiência energética brasileira nos setores de petróleo e de gás natural, com a previsão do País se tornar um importante exportador destes energéticos, conforme o Plano Decenal de Expansão 2013/2023.

- Pro Álcool – Os derivados energéticos da cana-de-açúcar, etanol e bagaço, foram priorizados a partir de meados da década de 1970, no contexto da indústria do açúcar. O etanol, combustível líquido não derivado do petróleo, recurso renovável, utilizado em veículos leves, substituindo a gasolina. O bagaço também renovável, utilizado na produção de calor na indústria de açúcar e álcool, e adicionalmente na geração de energia elétrica, suprimindo as demandas desta indústria, com excedentes para o sistema elétrico nacional, em cogeração de forma competitiva. Os derivados energéticos da cana-de-açúcar são atualmente a segunda fonte, depois do petróleo, na matriz de oferta de energia nacional.

A Figura VI apresenta a evolução da matriz de oferta de energia do Brasil, no período 1980/2013.

FIGURA VI. Matriz de oferta de energia do Brasil. Participação das fontes (%). Período 1980/2013



Fonte IEA e MME/BEN.

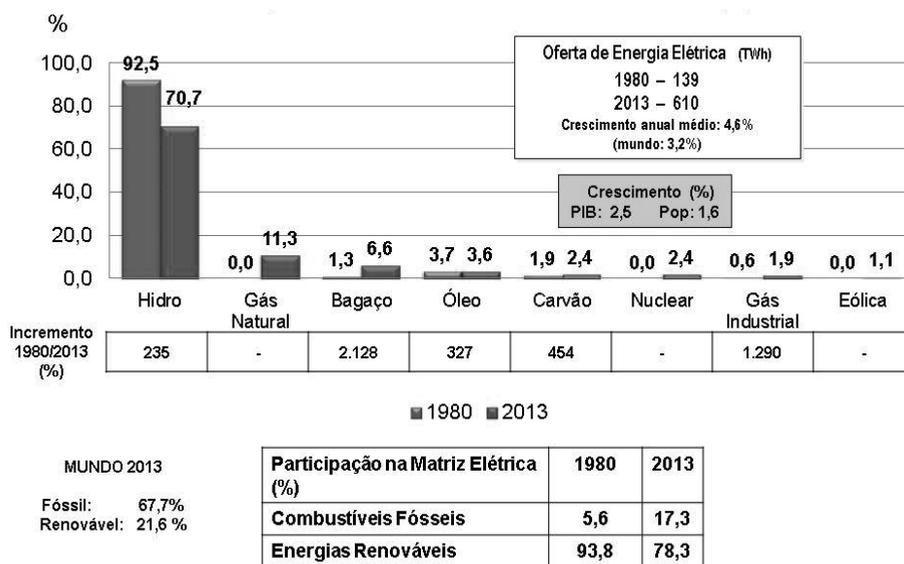
O Brasil teve um crescimento anual médio de 2,9% na oferta interna de energia, com participações das fontes renováveis de 45,6% e de 40,8%, e da dos combustíveis fósseis de 54,4% para 57,9%, em 1980 e 2013 respectivamente. As correspondentes participações mundiais foram de 12,5% e 13,5% para as fontes renováveis e 84,9% e 81,7% para os combustíveis fósseis, nestes anos. A redução

da participação das fontes renováveis se deve à introdução do gás natural e à substituição da lenha no setor residencial pelo gás de cozinha, com a urbanização do País. Apesar disto, o Brasil continua com uma matriz energética limpa e sustentável, em relação à mundial, com elevada participação de fontes renováveis e reduzido uso de combustíveis fósseis.

As emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético brasileiro, por unidade de energia ofertada, foram de 1,552 tCO<sub>2</sub>/tep (inferior em 38% ao mundial de 2,502) em 1980 e de 1,555 tCO<sub>2</sub>/tep (inferior em 34% ao mundial de 2.373) em 2013, tendo este índice se mantido constante no Brasil neste período. Quanto aos valores absolutos, as emissões do setor energético nacional atingiram 178 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 1980 e de 461 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2013, com uma taxa de crescimento anual média de 2,9%, idêntica à da oferta de energia.

A Figura VII apresenta a evolução da matriz de oferta de energia elétrica do Brasil, no período 1980/2013.

FIGURA VII. Matriz de oferta de energia elétrica do Brasil. Participação das fontes. Período 1980/2013 (%)



O crescimento anual médio na oferta de energia elétrica foi de 4,6% (significativamente superior ao da oferta de energia total de 2,9%), com a participação das fontes renováveis evoluindo de 93,8% para 78,3% e da dos combustíveis

fósseis de 5,6% para 17,3%, nos anos de 1980 e 2013 respectivamente. Estas modificações são em parte explicadas pela introdução do gás natural na geração de eletricidade.

Neste longo período de 33 anos, 1980/2013, as matrizes brasileiras de oferta de energia e de oferta de energia elétrica apresentaram modificações nas participações das diversas fontes, conforme exposto a seguir. Estas modificações e os respectivos crescimentos absolutos permitem visualizar as prioridades e as políticas energéticas adotadas no Brasil:

■ **Brasil/Matriz de Oferta Interna de Energia:**

- 1) Redução significativa do petróleo e derivados, de 48,3% para 39,5%. Este último valor é superior ao atual do Mundo de 31,2%;
- 2) Elevação significativa dos derivados da cana-de-açúcar (etanol e bagaço), de 8,0% para 16,1%. Esta fonte é atualmente a segunda na matriz de oferta de energia brasileira, depois do petróleo;
- 3) Elevação da hidroeletricidade, de 9,6% para 12,5%, com o grande programa nacional de usinas deste tipo;
- 4) Redução expressiva da lenha e do carvão vegetal, de 27,1% para 8,0%. Neste período, este foi o único energético que reduziu seu montante, em 24%, com a crescente urbanização e a priorização de outras fontes mais eficientes;
- 5) Elevação expressiva do gás natural, de 1,0% para 12,8%, a partir de uma maior oferta deste combustível;
- 6) Carvão mineral evoluindo de 5,1% para 5,6%;
- 7) Elevação de outras renováveis de 0,9% para 4,2%;
- 8) Elevação da nuclear de 0,0% para 1,3% com as unidades de Angra I e Angra II.

Todos os energéticos, exceto a lenha/carvão vegetal, elevaram em termos absolutos, os respectivos montantes de oferta, que em valores crescentes, foram os seguintes: petróleo (110%), carvão mineral (183%), hidráulica (235%), derivados energéticos da cana-de-açúcar (418%), outras renováveis (1.101%) e gás natural (3.195%).

■ **Brasil/Matriz de Oferta de Energia Elétrica:**

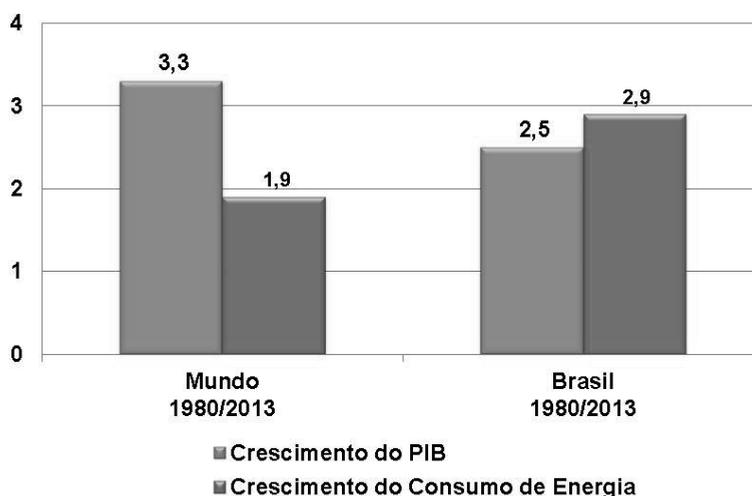
- 1) Redução significativa da hidroeletricidade, de 92,5% para 70,7%, com a política de diversificar esta matriz, com a inclusão de outras fontes renováveis e a geração térmica a gás natural e nuclear;
- 2) Elevação significativa do gás natural de 0,0% para 11,3%;

- 3) Elevação significativa do bagaço da cana de 1,3% para 6,6%;
- 4) Elevação da nuclear de 0,0% para 2,4%;
- 5) Elevação da eólica de 0,0% para 1,1%;
- 6) Preservação dos derivados de petróleo, no nível de 3,6%;
- 7) Elevação do carvão de 1,9% para 2,4%;
- 8) Elevação do gás industrial de 0,6% para 1,9%.

Todos os energéticos elevaram, em termos absolutos, os respectivos montantes de oferta, que em valores crescentes foram os seguintes: hidroelétrica (236%), derivados de petróleo (327%), carvão mineral (454%), gás industrial (1.290%) e bagaço da cana-de-açúcar (2.128%).

A relação entre crescimento econômico e consumo de energia, no Mundo e no Brasil apresentou um comportamento bastante distinto, neste período 1980/2013, conforme a Figura VIII. No Mundo, o crescimento do consumo de energia foi bem inferior ao da economia, de 1,9% e 3,3% respectivamente, com uma elasticidade de 0,59. No Brasil, ocorreu o oposto, com um crescimento do consumo de energia superior ao da economia, de 2,9% e 2,5% respectivamente, com uma elasticidade de 1,16. O Brasil, em relação ao Mundo, evoluiu sua economia com um maior “conteúdo energético” no PIB. Isto em parte pode ser explicado pela inclusão de indústrias intensivas em energia no Brasil, neste período.

FIGURA VIII. Economia e oferta de energia. Taxa de crescimento anual média. Período 1980/2013



## 4. PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO DO SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL

### 4.1 Aspectos Gerais

■ O Brasil apresenta condições favoráveis para o crescimento da sua economia, pois o País possui muitos recursos naturais, amplas possibilidades de expansão da fronteira agrícola, na produção de alimentos e de energia, grande mercado interno e adequada inserção internacional. Este contexto facilitará uma expansão sustentada da economia brasileira nas próximas décadas, com uma elevação significativa do PIB/hab. O setor energético nacional deverá também ter um crescimento expressivo neste período, inclusive para viabilizar a expansão da economia.

O Plano Nacional de Energia 2050, em fase de desenvolvimento, adota um cenário de crescimento sustentado da economia e do setor energético, próximas décadas. Neste cenário, a oferta de energia deve crescer 70% no horizonte dos próximos 15 anos, de 2015 a 2030 e de 40% no horizonte dos vinte anos seguintes, de 2030 a 2050. Nesta hipótese, os consumos finais de energia e de energia elétrica brasileiros alcançariam patamares de cerca de 600 milhões de tep (280 milhões, em 2013) e 1.600 TWh (600 TWh, em 2013). Os consumos de energia e de energia elétrica per capita no Brasil, neste horizonte 2050, seriam similares aos atuais de países do primeiro mundo, como Japão, França e Alemanha e inferiores ao dos Estados Unidos. Estes índices brasileiros de longo prazo podem ser considerados adequados para uma sociedade que busca uma melhor qualidade de vida da sua população.

A oferta de energia, com competitividade e qualidade, é condição necessária para que a expansão da economia ocorra. O Brasil possui amplos recursos energéticos, de todas as fontes, em quantidades suficientes, para atender as demandas de longo prazo. O grande desafio do setor energético nacional é viabilizar sua expansão física, considerando os elevados investimentos necessários à implantação dos empreendimentos, que são de alta capitalização e longo prazo de maturação, e com preservação do meio ambiente.

Nas últimas décadas, duas fontes energéticas renováveis foram priorizadas, a hidroelétrica e os derivados energéticos da cana-de-açúcar. No início da década atual surgiu a eólica e neste ano de 2014 a solar fotovoltaica.

Estas quatro fontes renováveis apresentam, no contexto brasileiro, as seguintes características que justificam as respectivas prioridades:

- 1) grande disponibilidade de recursos energéticos;
- 2) competitividade econômica vantajosa em relação às outras opções;
- 3) tecnologia nacional dominada para seu completo aproveitamento, fases de planejamento, de projeto, de implantação – obras civis e montagem, de operação/manutenção, da fabricação de equipamentos e do gerenciamento de todo o projeto de desenvolvimento do empreendimento, necessitando alguns avanços tecnológicos na eólica e principalmente na solar;
- 4) viabilidade ambiental vantajosa, quando comparada com outras opções;
- 5) baixas emissoras de gases de efeito estufa;
- 6) outros benefícios distintos da produção de energia elétrica, particularmente no caso da hidroelétrica (uso múltiplo do recurso hídrico).

A seguir, alguns detalhes e considerações sobre estas fontes energéticas e as correspondentes políticas para o seu aproveitamento, no contexto brasileiro.

#### ■ Hidroeletricidade

Esta fonte foi priorizada no Brasil desde a década de 60 do século passado, com a atuação da ELETROBRAS. Trata-se da fonte mais adequada para a produção de eletricidade no Brasil, sendo atualmente a mais econômica, com custos da energia produzida, considerados pelo planejamento, na faixa de R\$80,00/MWh (grandes usinas na região norte) a R\$120,00/MWh. O potencial hidrelétrico brasileiro é de 260 GW, sendo o 4º do mundo, após os da China, da Rússia e dos Estados Unidos, estes dois últimos ligeiramente superiores ao brasileiro. Os estudos de planejamento consideram apenas 180 GW deste potencial como aproveitável até o ano 2030. Os 80 GW adicionais, considerando a legislação nacional sobre o meio ambiente, apresentam dificuldades para o seu aproveitamento, com diversos empreendimentos localizados em terras indígenas, em parques nacionais, em reservas florestais e em alguns casos de preservação ambiental total. Em várias destas áreas, não é permitido desenvolver estudos de inventário e de viabilidade das bacias hidrográficas e das usinas hidroelétricas.

Cerca de 40% do potencial hidrelétrico nacional encontra-se na Região Norte/Amazônica, com grande parcela ainda não aproveitada. A continuidade do programa hidrelétrico nacional nos próximos anos, portanto, passa pela construção de usinas nos rios da Região Norte, como está ocorrendo, no Madeira, no Xingú e futuramente no Tapajós. Estas usinas estão distantes dos centros de carga, o que exige sistemas de transmissão de longa distância, podendo alcançar

até 2.500 km. A alternativa geração/transmissão das usinas da Amazônia é competitiva com outras opções de geração próximas dos centros de carga do sistema interligado nacional. Uma vantagem das hidroelétricas é o período de operação das usinas ser muito superior aos 30/50 anos adotados nas avaliações econômicas. No longo prazo, uma usina hidrelétrica estará totalmente amortizada e terá custos exclusivamente de operação/manutenção, cerca de 20% do custo total da energia produzida, quando se considera o investimento não amortizado. No médio prazo, isto dará ao Brasil uma grande vantagem competitiva com os demais países do Mundo.

#### ■ Derivados Energéticos da Cana-de-Açúcar

O programa da agro-energia foi iniciado e priorizado a partir de meados da década de 70, com o Pró-Álcool. Ele foi concebido como uma alternativa para reduzir a dependência do País do petróleo, que representava na época importações em patamares de cerca de 80% das necessidades nacionais deste energético. O projeto de produção e utilização do etanol e da biomassa, na forma de bagaço da cana-de-açúcar, é um programa energético com viabilidade técnica, econômica e ambiental comprovada. Trata-se do único programa de grande porte no mundo de uma fonte renovável de combustíveis líquidos, não derivados do petróleo, com baixa emissão de gases de efeito estufa. Além do emprego do etanol, no setor de transporte, substituindo a gasolina em veículos leves, o bagaço é utilizado na produção de calor e eletricidade, em cogeração eficiente na indústria do açúcar e do álcool, com excedentes para o sistema elétrico, em condições competitivas com os custos marginais de expansão do parque gerador nacional. A agro-energia, no caso brasileiro, não compete com a produção de alimentos, em função das disponibilidades atuais e futuras de áreas para produção de alimentos e de energia, considerando as dimensões continentais do País. Outro aspecto importante a destacar é que o cultivo atual e futuro da cana-de-açúcar é implementado em áreas distantes dos ecossistemas que o País deve preservar, como a floresta tropical úmida amazônica e o pantanal. As áreas utilizadas para o cultivo da cana-de-açúcar encontram-se no Sudeste e no Nordeste, distantes mais de 2.000 km destes ecossistemas.

#### ■ Eólica

Esta fonte iniciou seu desenvolvimento no Brasil a partir do PROINFA, no ano de 2005, juntamente com as Pequenas Centrais Hidroelétricas e a Biomassa. Naquela ocasião, a eólica apresentava o maior custo por unidade de energia pro-

duzida, valor que com a atualização monetária alcança atualmente patamares superiores a R\$300,00/MWh. Neste período, em função de evolução tecnológica, torres mais altas, de 50 metros para mais de 100 metros, elevação da capacidade unitária dos geradores e economias de escala, além do fato que os ventos no Brasil são muito favoráveis, os custos reduziram-se significativamente, para patamares considerados no planejamento de R\$130,00/MWh. Atualmente é a segunda fonte em competitividade no País, depois da hidroelétrica. A eólica apresenta uma complementariedade com a geração hidroelétrica, com ventos mais favoráveis nos períodos de vazões reduzidas nos rios nacionais e o inverso. Adicionalmente a energia produzida pode ser armazenada nos reservatórios, na forma de estoque de água, através de medidas operativas. Esta alternativa deve se desenvolver de forma sustentável, nas próximas décadas.

#### ■ Solar

O Brasil apresenta condições favoráveis para a utilização da energia solar fotovoltaica, em função da disponibilidade de sol na maior parte do território nacional, durante muitas horas do dia e durante todos os meses do ano. A produção de energia elétrica desta fonte é mais eficiente no Brasil do que em países Europeus, na China e outros que não possuem as favoráveis condições climáticas brasileiras. Com isto, a opção fotovoltaica se torna mais competitiva no Brasil, com fatores de capacidade anuais superiores aos dos países de clima frio e com menor incidência solar. A solar fotovoltaica ainda não é plenamente competitiva no Brasil, mas as indicações são muito favoráveis quanto às reduções de custos no futuro. Esta fonte energética deverá ter um desenvolvimento sustentável, na forma de geração distribuída junto aos consumidores, com painéis fotovoltaicos nos telhados de residências e de imóveis comerciais e também na forma de geração centralizada. A geração solar fotovoltaica tem uma complementariedade com a geração hidroelétrica e faz um uso adequado de armazenamento da energia produzida na forma de água nos reservatórios do sistema gerador nacional.

## 4.2 Horizonte do Plano Decenal 2013/2023 –

### O Programa de Obras de Geração

■ A implantação do programa de obras de geração se viabiliza após a realização dos leilões que utilizam diretrizes, orientações e prioridades estabelecidas pelo MME, a partir dos estudos de planejamento de longo prazo, com visão estratégica, consolidados no Plano Nacional de Energia. Os estudos de planejamento de

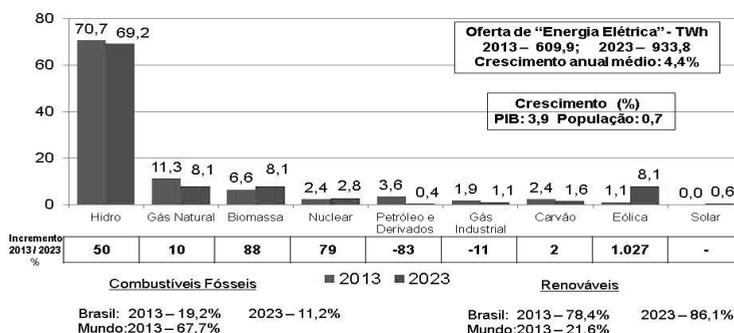
longo prazo são fundamentais para o estabelecimento das políticas dos diversos energéticos e a experiência desenvolvida nestas atividades se mostrou extremamente valiosa, para orientar dentro de critérios técnicos, econômicos e ambientais, as trajetórias de desenvolvimento dos sistemas energéticos nacionais. Isto tem contribuído para o estabelecimento das alternativas energéticas vantajosas para o País, dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, com uma oferta de energia para os consumidores, com qualidade e preços adequados. A sistemática dos leilões dos empreendimentos de geração e de transmissão de energia elétrica, por outro lado, além de viabilizar a modicidade tarifária, tem-se mostrado fundamental para a implantação dos programas de obras concebidos nas atividades de planejamento. Como resultados destes leilões, são definidas as concessões e os contratos de venda de energia, entre os agentes de geração e de distribuição, com garantias de pagamentos das receitas previstas, o que reduz as incertezas para o empreendedor/investidor. Isto disponibiliza os capitais e facilita a obtenção dos financiamentos, de instituições como o BNDES, inclusive para os grandes projetos nacionais de geração, como as hidroelétricas da Região Norte/Amazônia e de sistemas de transmissão de longa distância.

As Figuras IX e X apresentam as previsões de evolução da matriz de oferta de energia e da matriz de oferta de energia elétrica nacionais, no período 2013/2023, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2013/2023. A evolução da participação das diferentes fontes deve ser entendida como “tendências” e resultam das políticas energéticas e das diretrizes estabelecidas pelo MME para os futuros leilões, que viabilizarão a implantação do programa de obras. As matrizes energéticas neste horizonte decenal não apresentam modificações estruturais relevantes, sendo mantidas as prioridades das fontes renováveis e a reduzida utilização dos combustíveis fósseis.

Na matriz de oferta de energia nacional, neste horizonte decenal, visualiza-se uma tendência de elevação da participação das fontes renováveis, de 41,0% para 42,5%, diante do valor atual do mundo de 13,5%. Com relação à utilização de combustíveis fósseis, ocorre uma tendência de redução, na participação, de 57,7% para 55,9%, diante do valor mundial atual de 81,7%.

No caso da matriz de oferta de energia elétrica nacional, por outro lado, neste horizonte decenal, visualiza-se também uma tendência de elevação da participação das fontes renováveis, de 78,4% para 86,1%, diante do valor mundial atual de 21,6%. Com relação à utilização de combustíveis fósseis, redução de 19,2% para 11,2%, diante do valor atual mundial de 67,7%.

FIGURA IX. Brasil. Matriz de oferta de energia. Participação das fontes (%). Período 2013/2023



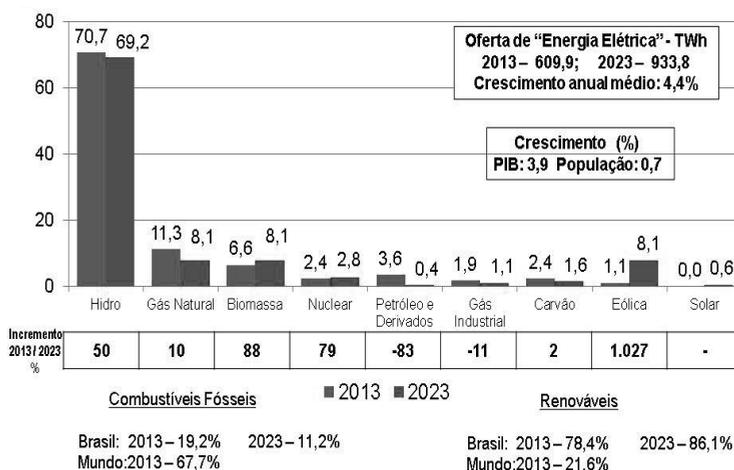
Fonte: Balanço energético nacional e plano 2023.

Destacam-se as seguintes principais alterações nestas matrizes, quanto às participações das distintas fontes energéticas, no período 2013/2023.

### ■ Matriz de Energia

1ª Fonte/Petróleo – Redução significativa deste energético e seus derivados de 39,2% para 36,7%, neste horizonte decenal. Esta redução fica explicada pelas políticas adotadas de substituí-lo por outras opções mais adequadas, como o gás natural e o etanol.

FIGURA X. Brasil. Matriz de oferta de energia elétrica. Participação das fontes (%). Período 2013/2023



2ª Fonte/Derivados Energéticos da Cana-de-Açúcar – Elevação de 16,1% para 17,1%, com a continuidade da importância desta segunda fonte da matriz de oferta de energia nacional, com a expansão da indústria de álcool e etanol, no atendimento do mercado nacional e internacional destes produtos. Neste horizonte até 2023, por razões tecnológicas e de custos não está prevista a hidrólise, o etanol de segunda geração.

3ª Fonte/Hidroeletricidade – Elevação de 12,5% para 13,1%, resultante da prioridade desta fonte. No horizonte 2023 será ultrapassada pelo gás natural, tornando-se a 4ª fonte da matriz de oferta de energia nacional.

4ª Fonte/Gás Natural – Elevação de 12,8% para 14,2%, em função da maior oferta deste combustível, com o incremento da produção nacional, em particular o gás natural associado ao petróleo do Pré-Sal. No horizonte 2023, deverá superar a hidroeletricidade, tornando-se a 3ª fonte na matriz de oferta de energia nacional.

5ª Fonte/Lenha e Carvão Vegetal – Redução de 8,3% para 6,1%, com a urbanização da população brasileira, com ganhos de eficiência energética e ambientais, e com utilização de outras fontes mais adequadas.

6ª Fonte/Carvão Mineral – Redução de 5,6% para 5,0%, considerando as emissões de gases de efeito estufa que dificultam a definição de um programa sustentado de maior porte, diante dos compromissos internacionais do Brasil em relação às questões das emissões de gases de efeito estufa, de aquecimento global e mudanças climáticas do planeta.

7ª Fonte/Outras Renováveis – Elevação de 4,2% para 6,2%, compreendendo resíduos industriais e outros e a eólica.

8ª Fonte/Nuclear – Elevação de 1,3% para 1,6%, com a inclusão da usina de Angra III.

#### ■ Matriz de Energia Elétrica

1ª Fonte/Hidroeletricidade – Redução de 70,7% para 69,2% sendo a fonte que, em termos absolutos, apresenta a maior expansão da capacidade instalada no horizonte decenal.

2ª Fonte/Gás Natural – Redução de 11,3% para 8,1%, considerando a disponibilidade do combustível e a competitividade com outras opções.

3ª Fonte/Biomassa, Bagaço – Elevação de 6,6% para 8,1% neste horizonte decenal, considerando a disponibilidade de combustível no contexto da indústria de açúcar e álcool.

4ª Fonte/Nuclear – Elevação de 2,4% para 2,8% com a geração das três usinas nucleares de Angra.

5ª Fonte/Petróleo – Redução significativa de 3,6% para 0,4% em função da política de não utilização deste energético na produção de energia elétrica. Esta redução é conseguida através da incorporação dos sistemas isolados da Região Norte ao Sistema Interligado Nacional, com a redução de óleo diesel e óleo combustível no suprimento destes sistemas. Adicionalmente, as usinas térmicas a derivados de petróleo do Sistema Interligado Nacional operam em complementação, com baixos fatores de capacidade esperados. Este energético passará a ser a 8ª fonte na matriz de oferta de energia elétrica nacional.

6ª Fonte/Gás Industrial – Redução 1,9% para 1,1%. No horizonte 2023 será ultrapassada pelo carvão mineral, tornando-se a 7ª fonte na matriz elétrica nacional.

7ª Fonte/Carvão Mineral – Redução de 2,4% para 1,6%. .

8ª Fonte/Eólica – Elevação expressiva de 1,1% para 8,1%, com a sua vantajosa competitividade. Será a 4ª fonte na matriz de oferta de energia elétrica nacional, no final do horizonte 2023.

9ª fonte/Solar – Elevação de 0,0% para 0,6%, com a expectativa do desenvolvimento sustentável desta fonte, considerando as reduções dos custos e a economia de escala que devem ocorrer no futuro nesta fonte.

No caso da expansão da capacidade instalada no horizonte decenal até 2023, com a evolução da matriz de oferta de energia elétrica apresentada, o Brasil necessitará de 77,2 GW neste período. Esta expansão está sendo planejada prioritariamente com fontes renováveis, 85% do total. Este montante será constituído de 35,0 GW (45%) de hidroelétrica, de 20,4 GW (26%) de eólica, de 6,9 GW (9%) de biomassa e de 4,0 GW (5%) de solar fotovoltaica. As demais fontes, em montantes relevantes são: gás natural com 10,3 GW (14%) e nuclear, Angra II, com 1,4 GW (2%).

### 4.3 Horizonte de longo prazo – após 2023

■ Neste horizonte de médio e de longo prazo após 2023 e principalmente após 2030, é difícil fazer previsões, diante das incertezas em relação à expansão da economia nacional e do papel da energia no contexto econômico e social do País. A evolução tecnológica que deverá ocorrer e as prováveis modificações no modelo de desenvolvimento e no estilo de vida da sociedade terão uma grande influência nas demandas energéticas.

Assim, no horizonte de longo prazo, serão feitos alguns comentários com indicações de tendências, relacionadas com a evolução das demandas de energia e

com as alternativas de suprimento. O consumo de energia continuará crescendo, provavelmente com taxas mais reduzidas do que as do período até 2023, com valores típicos na faixa de 3%. O Brasil continuará, no entanto, necessitando de uma expansão da capacidade instalada em cerca de 7.000 MW/ano, similar aos do horizonte até 2023.

Na próxima década, até 2030, deverá ocorrer o esgotamento do potencial hidroelétrico nacional aproveitável de 180 GW. A partir deste horizonte, deverão ser acelerados os programas de geração termelétrica, a gás natural, considerando a disponibilidade do combustível, a carvão mineral e nuclear. O carvão mineral deve considerar a evolução tecnológica da queima limpa e eficiente com redução das emissões de CO<sub>2</sub>. A geração a gás natural próxima aos centros de carga/consumo, melhora as condições de desempenho dos sistemas de transmissão, e proporciona reserva para atendimento das demandas máximas, elevando a confiabilidade do suprimento.

As fontes alternativas, que o Brasil possui em grandes quantidades, certamente terão um papel relevante, no suprimento das demandas energéticas, visualizando-se um desenvolvimento sustentado destas alternativas. Os programas de eólica e de biomassa do bagaço de cana-de-açúcar deverão prosseguir em ritmo semelhante ao ocorrido no horizonte do Plano Decenal de Expansão 2013/2023. A opção solar para suprimento de eletricidade, com a redução dos custos desta alternativa, deverá se desenvolver de uma forma sustentada, considerando as amplas possibilidades do País com relação a esta fonte.

Os programas de eficiência energética, com avanços tecnológicos, já considerados no horizonte do Plano Decenal anteriormente referido, deverão contribuir para reduzir as demandas de energia, sendo de certa forma, o suprimento de menor custo.

Com relação aos recursos energéticos, o Brasil encontra-se numa situação muito favorável, pois o País dispõe de todas as fontes energéticas primárias, em quantidades superiores às demandas energéticas previstas no longo prazo, de 30/40 anos.

Neste horizonte de longo prazo, os custos da energia, avaliados pelos marginais de expansão do sistema energético nacional, deverão se elevar, em função do País ter que disponibilizar empreendimentos energéticos de custos mais elevados.

---

ALTINO VENTURA FILHO · Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME. altino.filho@mme.gov.br

## BIBLIOGRAFIA

IEA: [www.iea.org](http://www.iea.org) Link IEA Data Services: <http://data.iea.org/IEASTORE/DEFAULT.ASP>  
ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – Department of Energy (EIA/DOE).  
Link EIA/DOE: <http://www.eia.doe.gov>

WORLD ENERGY COUNCIL (WEC). Link WEC: <http://www.worldenergy.org/>

WORLD BANK – Key Statistics. Link World Bank: <http://www.worldbank.org/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Link IBGE:  
[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL / Ministério de Minas e Energia / EPE Link:  
[http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030 / Ministério de Minas e Energia/Empresa de  
Pesquisa Energética Link: [http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)

BOLETINS DE ENERGIA, PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA,  
PDE 2023 / Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento  
Energético Link: [Http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)

TECHNOLOGY ROADMAP HYDROPOWER, Internacional Energy Agency e  
Ministério de Minas e Energia/Brasil, 2012 Link: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydropower.pdf>

THE HYDROELECTRIC POWER OPTION IN BRAZIL ENVIRONMENTAL,  
Technological and Economic Aspect, Altino Ventura Filho – 17th Congress of the World  
Energy Council, Energy and Technology, Sustaining World Development into the Next  
Millennium, Texas, USA, September 1998

VENTURA FILHO, Altino. O Brasil no Contexto Energético Mundial / O Papel das Fontes  
Energéticas Renováveis na Produção de Energia Elétrica, Prioridade da Hidroeletricidade;  
NAIPPE USP – Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas e Estratégias da Universidade  
de São Paulo, Vol.6, Nova Serie, 2009. Link: [http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/  
Livro\\_Naippe\\_Vol6.pdf](http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol6.pdf)

VENTURA FILHO, Altino. *Hidroeletricidade e Outras Energias Renováveis*, A Situação  
Brasileira no Contexto Internacional. Opção Pela Energia Hidroelétrica (e outras ener-  
gias renováveis). Coordenação: João Paulo dos Reis Velloso, INAE, Rio de Janeiro,  
2012 [Fórum Especial, setembro/ 2012]. Link: [http://www.forumnacional.org.br/sec.  
php?s=511&i=pt&cod=LV0096](http://www.forumnacional.org.br/sec.php?s=511&i=pt&cod=LV0096)

VENTURA FILHO, Altino. Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas –  
*Revista Interesse Nacional*, Ano 6, Número 21, abril – junho de 2013. Link: <http://www.interessenacional.com>



## Planejamento para as demandas futuras de energia no Brasil

MAURICIO T. TOLMASQUIM  
AMILCAR G. GUERREIRO

### INTRODUÇÃO

■ A energia é fator básico para qualquer economia moderna. Sua disponibilidade e confiabilidade são determinantes para o desenvolvimento de uma nação. Nesse sentido, um dos fundamentos da sustentabilidade econômica de um país é sua capacidade de prover logística e energia para o desenvolvimento de sua produção, com segurança e em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis.

Países e blocos econômicos movimentam-se com o objetivo estratégico de sustentar o que consideram ser o nível adequado de garantia do suprimento energético. As tensões políticas das últimas quatro décadas, com epicentro no Oriente Médio, são ilustrativas da importância de um suprimento seguro de energia.

Mas, se é certo que a segurança energética é conferida alta prioridade estratégica, também é verdade que ao aquecimento global tem sido paulatinamente conferido elevado grau de prioridade política, do que é evidência a crescente importância emprestada pelos principais chefes de Estado e de governo do mundo às Conferências da ONU sobre Mudanças Climáticas.

A questão do clima está associada à questão energética porque, em larga medida, sobretudo no caso das economias desenvolvidas, as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) são decorrentes da produção e do uso da energia. Quase 60% do carbono contido nesses gases são absorvidos pelos oceanos e pela biosfera, mas a diferença é liberada para a atmosfera, o que explica o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> no ar e as preocupações com a mudança global do clima.

Ao final da primeira década do século XXI, mais de 80% de toda a energia consumida no mundo vem de apenas três fontes: petróleo, carvão mineral e gás natural. São, todas elas, fontes fósseis e em geral geopoliticamente mal distribuídas. Quase 30% da energia retirada dessas fontes são convertidas em eletricidade e mais de 93% da energia consumida no transporte de cargas e pessoas são supridas por petróleo e derivados<sup>1</sup>. Com efeito, em 2010, as emissões de dióxido de carbono atingiram 49 GtCO<sub>2</sub> eq ( $\pm 4,5$ ) e cerca de 78% do aumento das emissões desde 1970 foram devidos à queima de combustíveis fósseis<sup>2</sup>.

Assim, modernamente, dois conceitos têm moldado o entendimento adequado da questão energética em nível mundial: segurança energética e emissões de GEE.

As economias desenvolvidas, a Europa em particular, têm mobilizado grandes esforços na direção de encontrar e desenvolver soluções que contribuam, de forma sustentada, para reduzir tanto a dependência energética quanto as emissões antrópicas de gases. São emblemáticos, por exemplo, os esforços no campo da energia eólica, na medida em que essa alternativa atende bem a ambos os objetivos. Não por acaso, tem motivado grande interesse de países como Estados Unidos, Alemanha e Espanha, o que se traduz em evolução tecnológica importante, com avanços progressivos na direção de maior confiabilidade e menor custo.

A preocupação com a dependência externa dos combustíveis fósseis tem, pois, levado à maior diversificação das fontes de energia, com preferência por fontes renováveis e com baixo impacto no meio ambiente.

No caso do Brasil, a questão de segurança energética e a preocupação com as emissões de GEE decorrentes das atividades do setor de energia não se apresentam na mesma intensidade ou com o mesmo viés do que na Europa, por exemplo. De fato, são questões que aqui se encontram adequadamente endereçadas, ainda que se considere uma visão prospectiva.

Hoje, o país é reconhecido internacionalmente por seu pioneirismo no desenvolvimento de alternativas energéticas eficientes e ambientalmente sustentáveis, com destaque para o etanol. Os estudos do planejamento energético de longo prazo da EPE confirmam que, no Brasil, a perspectiva de uma matriz energética limpa e de um baixo índice de dependência energética é real, seja pelo

1 IEA [International Energy Agency]. *2010 Key World Energy Statistics*. Paris: IEA, 2010.

2 IPCC [International Panel on Climate Change]. *Climate Change 2014. Synthesis Report. Summary for Policymakers*. IPCC Fifth Assessment Synthesis Report. The Core Writing Team, Pachauri, R.K. Meyer, L. (Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

vasto potencial disponível de energias renováveis, seja pelo domínio soberano das principais fontes de energia que consome.

No entanto, para o correto desenho de uma política energética nacional não se deve diminuir a importância da temática. A política energética brasileira tem se norteado por objetivos que visam garantir o acesso de toda a população a serviços de qualidade a preços justos, mantendo rigorosos compromissos com a preservação do meio ambiente e o manejo sustentável dos recursos naturais. Além da manutenção de uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, tal política tem contribuído também para o progresso econômico e social da população.

## A EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA NOS PRÓXIMOS ANOS

■ Nos próximos anos, a demanda final de energia do Brasil deverá crescer em média entre 3,5 e 4% ao ano, podendo atingir 350 Mtep em 2023. A indústria e o setor de transportes continuarão a ser os principais responsáveis por esse consumo, com cerca de 64% do total no fim do horizonte decenal<sup>3</sup>.

A maior taxa de crescimento ocorrerá, porém, no setor energético: consumo próprio de refinarias e na exploração e produção (E&P) de petróleo e gás natural. No primeiro caso, merecem destaque o aumento da capacidade do refino no país e uma maior qualidade dos derivados, enquanto em E&P o crescimento elevado está atrelado ao cenário de produção doméstica de óleo bruto que se vislumbra para os próximos anos.

Estima-se que o consumo de eletricidade será, em 2023, pelo menos 50% superior ao de 2013, atingindo 780 TWh. À indústria nacional é reservado importante papel nessa expansão, porquanto será responsável por 140 TWh dos mais de 260 TWh adicionais de consumo de eletricidade no período. Contudo, a autoprodução nesse setor crescerá a taxas superiores às da demanda de eletricidade, tendendo a reduzir a pressão da demanda sobre a expansão da oferta na rede do sistema elétrico<sup>4</sup>.

Outro destaque é o setor residencial. Estima-se que em três ou quatro anos o Brasil possa ter recuperado o nível do consumo médio residencial alcançado antes de 2001, quando houve o racionamento (179 kWh/mês). O consumo per capita de um brasileiro, todavia, é muito baixo quando comparado com o de cidadãos de outros países. Com o aumento do consumo per capita, em 2020 o Brasil po-

3 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

4 EPE. *Op.cit.*

derá ultrapassar o patamar de consumo do Chile em 2007, ficando ainda muito atrás do consumo per capita francês ou espanhol.

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

■ As projeções da demanda de energia consideram, intrinsecamente, iniciativas de eficiência energética e seus efeitos em todos os setores da economia. Em termos quantitativos, a eficiência energética considerada representa, no período decenal, 18% do aumento da demanda de combustíveis e 21% do aumento da demanda de eletricidade.

No que se refere ao consumo de combustíveis, estima-se que poderão ser conservados 19 Mtep em 2023. Expresso em termos de barris equivalentes de petróleo, o volume de combustível poupado nesse mesmo ano é de cerca de 390 mil barris por dia, aproximadamente 18% da média do consumo de petróleo no país em 2013. No caso da energia elétrica, o montante que se prevê conservar, 54 TWh em 2023, corresponde à geração de uma usina hidroelétrica com potência instalada de cerca de 13 GW, equivalente a uma vez e meia a potência da usina de Tucuruí.

O setor industrial tem importante papel nos ganhos de eficiência energética: no caso da demanda de combustíveis, o volume poupado representa 9,3 Mtep – quase 50% do total conservado; no caso da eletricidade, o montante é de 25 TWh, ou pouco mais de 45% do total conservado.

Além disso, no horizonte decenal, destaca-se o papel relevante que terá a geração distribuída (autoprodução e geração fotovoltaica) no atendimento à demanda de eletricidade: estima-se que essa alternativa de atendimento permita abater um pouco mais de 90 TWh da demanda solicitada à rede.

## EXPANSÃO DA OFERTA DE ENERGIA

■ Dentre as diretrizes que norteiam a expansão da oferta de energia no Brasil, uma das principais é a priorização das fontes renováveis. Visualiza-se manter o papel relevante dos biocombustíveis, o aproveitamento de resíduos industriais como bagaço de cana e a lixívia e, no caso da energia elétrica, a expansão hidrelétrica combinada com a geração eólica e solar. No caso da energia eólica, os leilões de expansão da oferta de energia elétrica realizados nos últimos anos evidenciam que essa alternativa se apresenta, no caso brasileiro, com custos bastante competitivos.

A prioridade concedida às fontes renováveis está em linha com os compromissos internacionalmente assumidos pelo Brasil com relação à mitigação de

emissões de GEE. Internamente, esses compromissos foram formalizados por meio da Lei nº 12.187/09, que estabeleceu metas voluntárias para redução das emissões projetadas para 2020, elevando o patamar institucional das discussões sobre mudanças climáticas no Brasil.

Atendendo a essa diretriz, os estudos indicam que a matriz energética brasileira, ao tempo em que é garantida a segurança energética do abastecimento, continuará a ser das mais limpas do mundo. Com efeito, para além de consolidar a autossuficiência em petróleo, o país deve mesmo passar a desempenhar um papel relevante entre os exportadores do óleo. A oferta de etanol deverá crescer, observando-se aumento da produtividade e melhor aproveitamento da biomassa da cana. Na energia elétrica, a despeito das preocupações socioambientais que podem impor limitações ao desenvolvimento do vasto potencial hidroelétrico ainda inexplorado, o país tem plenas condições de manter a participação das fontes renováveis, em razão principalmente das boas perspectivas da bioeletricidade e da energia eólica e, ainda que em menor escala, da energia solar.

## HIDRELETRICIDADE

■ De forma geral, países economicamente desenvolvidos apresentam uma taxa de aproveitamento de seu potencial hidráulico bastante superior a de países em desenvolvimento. São notáveis as taxas de aproveitamento que apresentam França, Alemanha, Japão, Noruega, Estados Unidos e Suécia, poucos deles conhecidos por dispor de grande potencial hidroelétrico. Em contraste, as taxas observadas em países da África, da Ásia e da América do Sul – nesta, com exceção do Brasil, são ainda muito baixas.

Nas últimas décadas, porém, a oferta primária de energia hidráulica no mundo tem evoluído concentradamente em duas regiões: Ásia, com destaque para a China, e América Latina, com destaque para o Brasil. Com efeito, essas duas regiões respondiam, em 1973, por 14% da produção mundial de hidroeletricidade. Essa proporção se elevou para 50% em 2012<sup>5</sup>.

Ao mesmo tempo em que a expansão da geração hidráulica se concentrou em países emergentes com grande potencial de exploração, cresceram também, e em escala mundial, as pressões ambientais contra esse tipo de fonte, especialmente as hidroelétricas de grande porte, do que é evidência a declaração, apresentada pela organização não-governamental *International Rivers Network* na conferência

5 IEA [International Energy Agency]. *2014 Key World Energy Statistics*. Paris: IEA, 2014

*Renewables 2004*, realizada em Bonn, Alemanha, pela qual pretendeu que fossem excluídas da classificação de fonte de energia renovável as usinas hidráulicas com potência superior a 10 MW<sup>6</sup>.

Essas pressões afetam diretamente países como o Brasil, que ainda dispõe de potencial hidrelétrico relevante e que, para seu desenvolvimento, demanda energia em volumes significativos e crescentes. O país detém o terceiro maior potencial hidrelétrico do mundo, correspondendo a 10% do potencial tecnicamente aproveitável. Em termos numéricos, o valor deste recurso é de 260 GW e mais de 60% ainda estão por ser aproveitados.

Nos últimos 40 anos, a potência instalada em usinas hidroelétricas foi acrescida de mais de 65 GW evoluindo de pouco menos de 14 GW para cerca de 80 GW<sup>7,8</sup>. A energia hidráulica constitui, pois, elemento diferencial da matriz energética brasileira, na medida em que responde, em média, por mais de 80% da eletricidade produzida no país.

A evolução do parque hidrelétrico brasileiro concentrou-se no último quarto do século passado. O mundo sofria as consequências dos choques nos preços do petróleo e se instalavam no país grandes indústrias eletrointensivas. No final dos anos 1990, contudo, refletindo ambiente de desequilíbrio macroeconômico e incertezas associadas a alterações institucionais no setor elétrico, a expansão hidrelétrica foi relativamente pequena. Uma consequência da expansão modesta nesses anos foi o racionamento vivenciado em 2001.

Desde então, o país voltou a investir no desenvolvimento de seu potencial hidráulico. Agora mesmo, estão em construção projetos de grande porte no rio Madeira (Santo Antonio e Jirau, com 7.320 MW), no rio Xingu (Belo Monte, com 11.200 MW) e no rio Teles Pires (Teles Pires e São Manoel, com 2.520 MW). Esse último rio é um dos formadores do Tapajós, importante afluente do rio Amazonas pela margem direita e onde se encontra um promissor potencial de quase 10.000 MW.

Contudo, os desafios para a expansão da hidreletricidade no Brasil são enormes uma vez que 70% do potencial a aproveitar encontram-se nos biomas Amazônia e Cerrado, áreas de grande interesse do ponto de vista ambiental.

6 Ver a respeito “*Letter to Ken Newcombe*”, gerente do Prototype Carbon Fund do Banco Mundial e o artigo “*Tropical Hydropower is a Significant Source of Greenhouse Gas Emissions*”, ambos os textos disponíveis em <<http://www.irmn.org>>. Ver também NATTA’s Journal Renew, n. 153, jan-fev 2005, disponível em <<http://eeru.open.ac.uk>>.

7 Exclusive a parte paraguaia da usina hidroelétrica de Itaipu (7.000 MW).

8 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

Ainda assim, a fonte hidrelétrica tem-se mostrado bastante competitiva com relação às alternativas existentes. E, além disso, tem outras importantes características: é renovável, tem baixa emissão de gases de efeito estufa, tem capacidade de armazenar naturalmente energia, tem vida útil muito longa e a construção pode ser feita praticamente com 100% de fornecimento e serviços nacionais, o que significa geração de emprego e renda no país. Esses elementos justificam a opção política pela continuidade do aproveitamento do potencial hidrelétrico nacional.

## ENERGIA EÓLICA

■ É de amplo conhecimento que o Brasil tem grande potencial eólico. A evolução recente do parque eólico brasileiro evidencia que a exploração desse potencial já é uma realidade e que esse mercado está consolidado no Brasil.

Até 2005, existiam apenas 10 centrais cuja capacidade instalada não somava 30 MW. Em 2008, a potência já subira para quase 400 MW e ao final de 2014 atingirá 5.000 MW. Essa dinâmica de expansão continuará nos próximos anos. Entre 2015 e 2019, deverão ser instalados mais de 10.000 MW. Estima-se que em 2023 o parque gerador eólico ultrapasse 22.000 MW, correspondendo a 12% de todo parque gerador do sistema elétrico interligado nacional. Nos próximos 10 anos, eólicas responderão por 28% da expansão da oferta nesse sistema.

Sustentar essa evolução impõe desafios. Ao lado da qualificação de mão de obra orientada para a indústria eólica, se coloca a consolidação de um quadro de fornecedores ampliado, em benefício da competição e do consumidor. De fato, tem ocorrido expansão da capacidade de produção, revelando o dinamismo da indústria com vistas ao atendimento da demanda que surge a partir dos leilões de expansão da oferta e, inclusive, a encomendas na América Latina e mesmo de outras regiões.

Até 2007, o Brasil tinha apenas uma indústria de aerogeradores, a Wobben Wind Power, subsidiária da alemã Enercon. Atualmente, além dela, estão instalados no país Impsa (argentina), GE (norte americana), Gamesa (espanhola), WEG/MTOI (*joint venture* Brasil-Espanha), Alstom (francesa) e Acciona (espanhola). Juntas, possuem capacidade de produção de turbinas eólicas de 3 GW ou cerca 1.500 turbinas por ano. A dinâmica deste mercado justificou também a instalação no país de fábricas de outros componentes (pás, *nacelle* e equipamentos elétricos). O índice de nacionalização desses equipamentos já atingiu 60%.

Na medida da internalização dos avanços tecnológicos e da expansão da indústria, é de se esperar que o custo de produção caia, melhorando a compe-

titividade da fonte eólica. O elemento chave do sucesso de todo esse processo é a competição. E os mecanismos para assegurá-la já existem no atual arranjo institucional do setor elétrico. O sucesso dos leilões de expansão da oferta de energia atesta quão adequados são, na medida em que, a um só tempo, garantem a competição e conferem aos projetos a necessária “bancabilidade”, por meio de contratos de compra de energia de longo prazo.

Compõem esse ambiente, condições adequadas de financiamento. Como resultado, além da expressiva expansão já indicada, a energia eólica vem apresentando significativa redução de custo. Em 2005, a preços atualizados, o custo de viabilização da fonte era R\$ 350 por MWh. Nos últimos leilões, realizados no final de 2014, o MWh gerado por uma usina eólica foi comprado a preços médios em torno de R\$ 140. Uma queda de 60%!

Importa assinalar, ainda, que a base hidrelétrica do parque brasileiro é importante indutor da inserção da geração eólica, pela capacidade de “regularização” do vento como recurso energético. Essa sinergia constitui binômio de interesse para a sustentabilidade ambiental do sistema elétrico brasileiro quanto ao aspecto das emissões de GEE.

Assim, os principais elementos para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil estão postos: vasto potencial, com condições naturais extremamente favoráveis em alguns sítios; contínuo crescimento da demanda de energia; parque industrial moderno; condições de financiamento adequadas e marco regulatório bem definido e estabilizado. Com isso, o desenvolvimento do mercado de energia eólica no país tem superado todas as expectativas, tanto pela significativa redução de custos ao longo dos últimos anos, quanto pelo exponencial crescimento da capacidade instalada e da instalação de novos fabricantes no Brasil.

## BIOENERGIA

■ Bioenergia é a energia extraída da biomassa, o que inclui florestas, culturas e resíduos agropecuários, dejetos animais e matéria orgânica contida nos rejeitos industriais e urbanos. A biomassa contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar. Pode ser diretamente liberada por meio da combustão ou convertida, através de diferentes processos, em produtos energéticos de natureza distinta, tais como carvão vegetal, etanol, gases combustíveis, gases de síntese e óleos vegetais combustíveis.

A faixa situada entre os paralelos 30°N e 30°S é a região do planeta mais propensa à produção de bioenergia porque recebe, ao longo de todo um ano, intensa

radiação solar, a fonte primária fundamental da produção da biomassa. Nesse particular, a posição geográfica do Brasil é privilegiada, uma vez que grande parte de seu território se estende entre o Equador e o Trópico de Capricórnio.

De fato, o Brasil apresenta reconhecido potencial para a produção agrícola. A dimensão continental de seu território e a diversidade geográfica que nele se encontra, representada pela variedade climática e exuberante biodiversidade, além da presença de um quarto das reservas superficiais e subterrâneas de água doce do mundo, capacita o país a produzir grande parte dos principais produtos agrícolas comercializados mundialmente.

Tomando por base apenas os principais produtos agrícolas produzidos no Brasil, que compreendem cerca de 90% da área plantada e 85% da produção física, calcula-se que a oferta de resíduos de biomassa como fonte de energia primária foi, em 2005, 560 Mt, em base seca<sup>9</sup>. Expresso em unidade mais usual, o conteúdo energético desse resíduo equivale a 4,2 milhões de barris por dia, quase o dobro da produção média atual brasileira de petróleo.

Uma parte desse potencial já é hoje aproveitada para produção de energia elétrica, em geral na forma de autoprodução. Estão nesses casos o bagaço da cana e a lixívia. Mais recentemente, avanços tecnológicos aumentaram, em muito, a perspectiva de maior eficiência no uso do bagaço e o aproveitamento da palha na geração de eletricidade, além da possibilidade da produção de etanol de segunda geração. Naturalmente, o aproveitamento mais intenso desse potencial requer investimentos no desenvolvimento de rotas tecnológicas e em equipamentos capazes de recuperar de forma adequada a biomassa, que hoje é subutilizada ou abandonada no campo, e de transportá-la até a unidade na qual será processada a transformação.

Certo é que o aproveitamento desse potencial, especialmente para a geração de energia elétrica, se revela promissor e estratégico. Com efeito, considerando apenas o bagaço de cana, calcula-se que a cogeração pode oferecer à rede elétrica aproximadamente 8 GWmed, em 2023. Com o avanço da mecanização da lavoura e o aproveitamento das pontas e palhas, esse número pode quase dobrar. Para o mesmo ano, estima-se a geração potencial para o sistema elétrico interligado em 15 GWmed<sup>10</sup>.

9 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

10 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

Mas o maior destaque do país na área da bioenergia é sem dúvida o etanol. Isso decorre, em grande medida, dos avanços tecnológicos que fizeram desse biocombustível um produto competitivo. Ao longo do tempo, tem havido aumento de produtividade o que contribui para garantir a preservação de áreas destinadas a outras culturas e usos, inclusive a preservação de ecossistemas. Nos últimos 25 anos, o aumento de produtividade logrou “poupar” uma área equivalente a 2 milhões de hectares, algo como metade da Suíça.

O avanço tecnológico, todavia, não se deu apenas do lado da oferta de energia. O veículo *flex-fuel*, cujos motores funcionam com qualquer proporção de etanol e gasolina, é realidade irreversível. A aceitação pelo consumidor brasileiro foi tal que, apenas oito anos após o lançamento em 2003, a frota de veículos *flex* já correspondia à metade da frota nacional de veículos leves, ou cerca de 15 milhões de unidades<sup>11</sup>. Para 2020, estima-se que essa participação possa superar 75%<sup>12</sup>.

Projeta-se, para os próximos 10 anos, que a demanda de etanol no mercado brasileiro continuará em expansão, devido ao aumento expressivo da frota de veículos *flex*. No mercado internacional, o Brasil deverá se manter na liderança de vendas de etanol.

Além do etanol, outro combustível orgânico relevante é o biodiesel, mandatoriamente misturado ao diesel mineral na proporção de 7% em volume desde 1º de novembro de 2014. No Brasil, cerca de 75% do biodiesel são produzidos a partir da soja, 20% com sebo bovino e 5% com outras matérias-primas. A análise da disponibilidade de insumos e da capacidade de processamento e de escoamento da produção indica que o país possui as condições necessárias para atender a essa demanda.

Uma preocupação recorrente quando se fala de bioenergia são os possíveis impactos sobre a produção de alimentos e sobre ecossistemas sensíveis ou de grande interesse socioambiental. Pode-se afirmar que essas ameaças não existem no caso brasileiro e os números falam por si.

Tome-se, para efeito de raciocínio, o caso da cana-de-açúcar. Atualmente, a área dedicada à produção de cana é de cerca de 9 milhões de hectares, dos quais 5 milhões para etanol. Isto equivale a menos de 1% de todo o território nacional e cerca de 9% da área disponível para atividades agrícolas, já computados os ecossistemas de grande interesse como a Floresta Amazônica. Além disto,

11 EPE [Empresa de Pesquisa Energética] *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2013*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

12 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

é importante salientar a distância típica entre o bioma Amazônico e as áreas de concentração das usinas, de 2.000 km para as situadas na Região Nordeste e 2.500 km para as do Sudeste – que responde por mais de 60% da produção nacional. A produção da cana, e mesmo a expansão da área plantada, não oferece ameaça à produção de alimentos nem tampouco a regiões de alto interesse socioambiental.

## PETRÓLEO

■ O petróleo é ainda a principal fonte de energia do planeta, respondendo hoje por cerca 1/3 do consumo mundial de energia e deve manter tal condição em um horizonte razoável, não obstante os esforços na busca de soluções energéticas alternativas, com menor potencial de emissões de GEE, e na direção do uso mais eficiente da energia.

Mas, para além de sua importância como fonte de energia, o petróleo constitui-se em bem de elevado interesse estratégico em razão de aspectos geopolíticos, talvez a face mais complexa e relevante deste setor. De fato, quando se observa a distribuição do consumo de petróleo no mundo, percebe-se uma inversão em relação à distribuição espacial das reservas. Reservas e produção concentram-se em países em desenvolvimento enquanto o consumo está concentrado nos países desenvolvidos, embora, nos últimos anos, tenha havido aumento importante do consumo em países emergentes, como China, Índia e Brasil. Os EUA, com as descobertas e o aproveitamento dos recursos não convencionais, recentemente, também se constituem em exceção que justifica a regra. O Brasil nunca desempenhou papel de grande relevância entre os *players* do mercado mundial do petróleo. Até recentemente, as reservas brasileiras não eram significativas mesmo quando comparadas regionalmente. Em termos de reservas e produção de petróleo, os destaques tradicionais na América Latina são, há muito, México e Venezuela, principalmente esta, que detém, sozinha, quase 20% das reservas mundiais de óleo cru e integra a Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP).

Importante pela grandeza de seu consumo, de pouco mais de 2,1 milhões de barris diários<sup>13</sup>, o Brasil já vinha assumindo papel crescentemente relevante no setor em razão do desenvolvimento tecnológico na exploração e produção de

13 Dados da Agência Nacional de Petróleo, disponível em <<http://www.anp.gov.br>>, acesso em dezembro de 2014

petróleo em campos *off-shore* em águas profundas. Esses avanços permitiram ao país aumentar significativamente reservas e produção nos últimos 20 anos.

Nesse quadro, a importância do papel do Brasil no cenário mundial deverá crescer ainda mais a partir da materialização das descobertas na camada pré-sal de seu mar territorial. As descobertas de Búzios, Iara, Libra e Lula encontram-se entre as maiores ocorridas no mundo nas últimas três décadas. Cumpre destacar a boa qualidade do óleo bruto descoberto, que, de acordo com os testes já realizados pela Petrobras, possuem a densidade entre 26º e 28º API (óleo médio ou intermediário), o que aumenta sua relevância econômica e estratégica.

As perspectivas são de reservas adicionais de mais de 50 bilhões de barris, equivalente a 3% das reservas mundiais provadas atuais (incluindo areias betuminosas e óleo extra pesado). A grandiosidade das descobertas do pré-sal reforça e amplia o desafio do país de transformar as vantagens de sua matriz energética em real benefício para o bem estar de sua sociedade. Nessa direção, o governo brasileiro seguiu o exemplo das melhores práticas internacionais e estabeleceu um Fundo Social, constituído com recursos gerados a partir da exploração desta riqueza, que destina ao atendimento das necessidades da população em educação e saúde pública.

Outro ponto fundamental é que, com tal perspectiva, o papel geopolítico do Brasil na indústria mundial de petróleo tende a se modificar substancialmente. Não apenas pela ascensão do Brasil à posição de grande exportador de petróleo, mas, sobretudo, pelo contexto internacional em que esta modificação ocorre.

Com efeito, o Brasil se coloca como *player* privilegiado na medida em que será um grande produtor fora de áreas de instabilidades geopolíticas, com histórico de respeito a contratos e com ambiente socioeconômico e político favorável a negócios e investimentos de longo prazo de maturação.

Em adição, o Brasil possui uma grande empresa nacional, a Petrobras, com reconhecida capacitação produtiva e tecnológica nas atividades de exploração e produção de petróleo em ambiente de águas profundas, o que favorece o estabelecimento de parcerias estratégicas e a minimização dos riscos associados a esse tipo de investimento.

Sem dúvida, o petróleo do pré-sal abre uma grande janela de oportunidades que vai além da indústria do petróleo. Constitui elemento diferenciador nas relações internacionais, na negociação de acordos e na defesa dos interesses do Brasil, devido ao papel estratégico e aos aspectos geopolíticos do petróleo.

As projeções são de que a produção de petróleo no Brasil ultrapasse 4,5 milhões de barris por dia já em 2020<sup>14</sup>, podendo cerca de 1/3 dessa produção ser destinada à exportação.

Espera-se que, apesar da crescente produção prevista, a relação R/P (reserva/produção) no Brasil possa se manter, ao final do decênio, nos níveis atuais – em torno de 20 anos, compatível com o de outras importantes regiões produtoras do mundo.

## GÁS NATURAL

■ O gás natural é visto como o energético da transição da economia do petróleo para a economia de baixo carbono. Assim é que restrições à expansão da energia nuclear e dificuldades tecnológicas e de custo no uso intensivo de fontes alternativas, bem como avanços técnicos que possibilitaram rendimentos mais elevados na transformação e emissões mais baixas de gases quando comparados com o carvão ou o óleo combustível, fizeram com que a demanda mundial por gás natural mais que dobrasse em 35 anos.

Se no início dos anos 1970, o consumo mundial de gás não chegava a um bilhão de tep, em 2012 superou 2,8 bilhões de tep<sup>15</sup> (dados da IEA). Nesse período, as reservas de gás cresceram muito. Como destacam documentos analíticos disponíveis na literatura especializada, a abundância das reservas já descobertas e os recursos ainda por descobrir conferem ao gás natural uma expectativa de uso superior a 130 anos, considerada a atual taxa de consumo<sup>16</sup>.

Comparada com o petróleo, a questão geopolítica do gás ganha ingredientes adicionais na medida em que, neste caso, o panorama inclui novas regiões produtoras. Há também concentração das reservas no Oriente Médio – mais de 40% das reservas mundiais provadas encontram-se nessa região, mas também se constituem como atores importantes no cenário a Rússia e o Turcomenistão, que detêm, em conjunto, 26% das reservas globais provadas<sup>17</sup>.

Contudo, grandes mudanças neste mercado revelam o quanto ele se mostra efervescente. Nos Estados Unidos, o panorama modificou-se substancialmente a partir da incorporação às reservas de gás de grandes volumes provenientes de fon-

14 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2014. p. 219.

15 IEA [International Energy Agency]. *2014 Key World Energy Statistics*. Paris: IEA, 2014.

16 World Energy Council. *Survey of Energy Resources 2007*. London: WEC, 2007. p. 148.

17 IEA. *World Energy Outlook*. IEA: Paris, 2014.

tes não-convencionais, em que inovações tecnológicas tiveram papel chave. “As adições refletem principalmente o rápido desenvolvimento das fontes não-convencionais, incluindo gás de folhelho (*shale*), metano de carvão (*coalbed methane*) e gás de formações fechadas (*tight low-permeability formations* ou *tight sands*)”<sup>18</sup>.

O fato é que os volumes daí provenientes já classificam as reservas americanas de gás entre as maiores do mundo. Entre 1993 e 2013 as reservas americanas cresceram 103% enquanto as reservas mundiais aumentaram menos de 60%. Ao final de 2013, os Estados Unidos detinham 5% das reservas mundiais provadas de gás natural, algo como 9,3 trilhões de m<sup>3</sup><sup>19</sup>. Com relação à produção, os Estados Unidos respondem hoje por 20,6% do total mundial.

Outro elemento deste mercado é a tendência à “comoditização” do produto. Com o barateamento das transformações e do transporte, o gás natural liquefeito (GNL) poderá ganhar participação, globalizando definitivamente o mercado de gás natural, ainda sujeito às restrições físicas dos gasodutos. Já hoje, o GNL corresponde a mais de 30% do volume de gás comercializado mundialmente. Espera-se que em 10 anos essa proporção possa superar 40%.

No Brasil, o consumo de gás natural deve girar, neste ano (2014), em torno de 100 Mm<sup>3</sup>/dia, sendo os principais usos na geração de energia elétrica, 47%; na indústria, como matéria-prima e combustível, 43%; em veículos, GNV, 5%; na cogeração, 3%; e nos segmentos residencial e comercial, 2%.

A origem do gás atualmente ofertado em território brasileiro (média janeiro a agosto de 2014) advém da produção doméstica (oferta ao mercado de 47 Mm<sup>3</sup> por dia) nas bacias de Campos, Santos, Espírito Santo, Recôncavo Baiano, Bacia Potiguar, Sergipe e Alagoas, da importação da Bolívia por meio de gasoduto (33 Mm<sup>3</sup> por dia) e da importação de GNL (20 Mm<sup>3</sup> por dia), regaseificado em três terminais localizados na Baía de Guanabara (RJ), em Pecém (CE) e na Bahia, que totalizam capacidade de processamento de 41 Mm<sup>3</sup> por dia<sup>20</sup>.

18 Dados da Energy Information Administration – EIA *apud* Dantas, L.O. *Tecnologia faz reposição de reservas americanas superar amplamente consumo de gás natural*. Texto de 14/11/2008. Disponível em <<http://www.gasnet.com.br>>, acesso em dezembro de 2014.

19 *BP Statistical Review of World Energy June 2014*, 63rd edition. BP: London, 2014. p. 208.

20 MME [Ministério de Minas e Energia]. *Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural*, nº 90. Brasília: MME, setembro de 2014.

A participação desse energético na matriz, considerando a demanda esperada, aumenta dos atuais 10,8%<sup>21</sup> para mais de 14% em 2023<sup>22</sup>. Colabora para este aumento da demanda, a crescente inserção do gás na geração termelétrica. Ao longo do horizonte, porém, a menos de situações hidrológicas desfavoráveis, espera-se que a indústria responda pela maior parte da demanda projetada.

Para atender a tal crescimento, estima-se que os recursos atualmente existentes e as novas descobertas possam garantir uma oferta nacional em torno de 130 Mm<sup>3</sup>/dia. Essa oferta interna, acrescida das importações do gás da Bolívia e da capacidade de regaseificação hoje instalada permite que a oferta total seja ampliada para mais de 200 Mm<sup>3</sup>/dia (majoritariamente, na zona de influência da malha integrada de gasodutos).

A exemplo do petróleo, as descobertas no pré-sal têm potencial para modificar o panorama do país com relação ao gás natural, embora questões relacionadas ao custo da exploração dos poços de gás não associado introduzem elementos de incerteza quanto à produção. Confirmadas as expectativas, haverá oferta firme a preços competitivos. O desafio que restará é o desenvolvimento da infraestrutura de escoamento, fator fundamental para o sucesso da indústria do gás no país.

## OUTRAS FONTES DE ENERGIA

■ Ainda que não figurem agora na agenda energética nacional com a relevância que tem sido atribuída aos tópicos acima abordados, não se pode deixar de comentar quatro outros importantes temas. Trata-se da energia solar, da energia do carvão, da energia nuclear e da integração regional.

Os fatores que privilegiam o Brasil quando a questão é a bioenergia, também favorecerem o país no caso da energia solar. De fato, o Brasil, “por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano”<sup>23</sup>. O sol aparece em média 280 dias por ano<sup>24</sup>. A região onde a irradiação solar é menor apresenta, em termos médios anuais, o índice entre 1.640 e 1.700 kWh/m<sup>2</sup>. Onde a radiação é maior,

21 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Balanco Energético Nacional 2014 – Ano base 2013*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

22 EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

23 Pereira, E. B. et alii. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. Projeto SWERA. São José dos Campos: INPE, 2006.

24 Cabral, I. S. et alii. *Energia Solar – Análise comparativa entre Brasil e Alemanha*. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Salvador: IBEAS, 2013.

pode ser atingido o índice médio de até 2.300 kWh/m<sup>2</sup>. Apenas para efeito de comparação, a região na Alemanha onde a irradiação média é maior este índice está em torno de 1.300 kWh/m<sup>2</sup><sup>25</sup>.

Para além do uso direto para aquecimento de água, emprego em que já se percebe certa difusão no país, há real perspectiva para a conversão em energia elétrica tendo em vista a queda sistemática dos custos dos painéis fotovoltaicos.

Mas, até este ano, a capacidade instalada para produção de energia elétrica a partir da energia solar se limitava a projetos de pesquisa e desenvolvimento, usinas instaladas nos estádios da Copa do Mundo de 2014 e usinas de microgeração distribuída. Esse panorama dá sinais de que pode mudar, seja na geração distribuída, seja na geração centralizada. Neste último caso, em leilão de expansão da oferta de energia realizado em 2014, foram contratadas 31 centrais solares, somando 1.048 MW. No horizonte decenal, considera-se contratar mais 2.600 MW, mas, dependendo do desenvolvimento do mercado e dos incentivos que possam ser dados a essa fonte, esse número poderá ser maior.

Por oportuno, deve-se frisar que o país detém uma das maiores reservas de silício do mundo, com grau de pureza relativamente elevado. O silício é matéria-prima básica na fabricação de painéis solares. A exemplo do que ocorreu no caso da energia eólica, há oportunidade para avanços na área industrial, avanços que podem se traduzir em redução de custos e aumento da competitividade da fonte.

O carvão é abundante no mundo. As reservas do mineral são suficientes para suportar a produção atual por mais de 150 anos. Mas o comércio internacional do carvão é relativamente pequeno. Apenas 16% da produção mundial é transacionada entre os países, bem diferente do que ocorre com o petróleo, em que 50% da produção circulam entre as economias. As grandes restrições ao uso do carvão estão ligadas aos impactos da mineração e às emissões de gases e poluição do ar. Não por acaso, são pesados os investimentos para o que se convencionou chamar de *clean coal technologies*.

A importância do carvão no Brasil é menor do que em outros países ou regiões (no mundo, 70% do carvão mineral se destinam à produção de eletricidade, geralmente próxima das regiões produtoras) talvez porque o carvão nacional não tenha uso competitivo na siderurgia e por mais de 90% das reservas estarem localizadas no extremo sul do país. Contudo, as reservas de carvão encontradas no Brasil não são desprezíveis.

---

25 Id. Id.

Ainda que as restrições ao uso deste combustível tendam a aumentar em razão das preocupações com as emissões de GEE, não se deve simplesmente renunciar ao uso deste recurso. Os avanços tecnológicos podem viabilizar no futuro um uso sustentável do carvão mineral.

Se, por um lado, a preocupação em restringir as emissões de GEE pode limitar o uso do carvão, por outro pode ser o argumento basal para a retomada da energia nuclear como alternativa para o atendimento do crescimento da demanda. De fato, não obstante as controvérsias com relação à deposição dos rejeitos de alta atividade e, principalmente, a preocupação com a proliferação de armas nucleares, a energia nuclear foi recentemente recolocada na agenda mundial como estratégia na busca de soluções que aumentem a segurança energética e contribuam para redução das emissões de carbono.

O Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo e faz parte do restrito clube de países que dominam todo o ciclo de fabricação do combustível nuclear. Além disso, é signatário do acordo internacional de não-proliferação de armas nucleares e, ao longo de sua história, tem reforçado sua atuação como país pacífico. O que se pode concluir é que, independente da avaliação do mérito da opção nuclear, se este for o caminho a ser seguido, também por ele o país poderá trilhar com autonomia e segurança. E, em face das dificuldades crescentes para o desenvolvimento do potencial hidrelétrico, a opção nuclear se oferece como alternativa confiável – as performances operativas das usinas Angra I e II evidenciam a confiabilidade dessa geração – para atendimento da demanda de energia elétrica a médio e longo prazo.

Por fim, com relação à integração energética regional, deve-se considerar que determinados aproveitamentos energéticos podem se constituir efetivamente em um elemento de integração. Isto não só é desejável, como possível. O Brasil, sendo não só um grande produtor como também um importante consumidor de energia, terá inequívoco papel no fomento de uma integração regional que permita tanto o aproveitamento mais sustentável do potencial energético quanto o pleno desenvolvimento das demais potencialidades da América Latina.

Nesse sentido, o aproveitamento compartilhado de recursos energéticos primários, a diversificação das matrizes energéticas e a complementaridade dos mercados dos diferentes países latino-americanos poderão trazer maior segurança e confiabilidade ao suprimento energético da região, bem como reduções importantes nos custos das cadeias produtivas.

Existem, por óbvio, dificuldades a transpor, como é o caso da convivência de ambientes regulatórios nem sempre compatíveis. Alguns passos têm sido dados

no sentido de contornar esses problemas, permitindo um maior aproveitamento das sinergias existentes. Mas ainda há um longo percurso a percorrer.

## CONCLUSÃO

■ Ao longo do século XX, o Brasil desenvolveu tecnologia e construiu um moderno e eficiente sistema energético, em que se destacam o pioneirismo e a liderança na produção de petróleo e gás em águas profundas, o aproveitamento energético de fontes renováveis, usinas hidroelétricas de grande porte e uma rede elétrica de dimensões continentais.

A condição de potência energética que eventualmente se atribui ao país não deve ser vista apenas em função das condições atuais das reservas ou mesmo das perspectivas dos novos aproveitamentos que surgem no horizonte. Na realidade, esta condição tem sido construída continuamente desde que o país foi chamado a responder a grandes desafios e, fundamentalmente, como resultado dos esforços devotados à expansão da produção energética.

O Brasil, de fato, é um manancial rico em alternativas de produção de energia a partir das mais variadas fontes. A oferta de matéria-prima e a capacidade de produção em larga escala são exemplos para diversos países.

Hoje se pode dizer que, na área de energia, as perspectivas brasileiras são extremamente confortáveis na medida em que compreendem uma importante produção de petróleo, a consolidação da utilização da bioenergia e do vasto potencial hidráulico ainda a ser aproveitado.

A composição da matriz energética brasileira faz com que o Brasil ocupe a 14ª posição no *ranking* mundial de emissões de GEE por conta da produção e do uso de energia. No setor elétrico, a posição no *ranking* de emissões é a 39ª (dados de 2011). Em termos comparativos, o Brasil emite 19 vezes menos CO<sub>2</sub> do que a China e 13 vezes menos que os EUA no setor energético. No setor elétrico a diferença é ainda maior já que as emissões de CO<sub>2</sub> da China representam 110 vezes as emissões do Brasil, a dos EUA 61 vezes e a da Rússia e da Índia cerca de 25 vezes.

A matriz energética e elétrica brasileira vão continuar limpas. Essa é a diretriz básica da política energética nacional. Para tanto, a continuidade do aproveitamento do potencial hidroelétrico nacional, a expansão de outras fontes renováveis de produção de eletricidade, como centrais eólicas e de energia solar, e o avanço da bioenergia, tanto para a produção de energia elétrica quanto para a expansão da oferta de combustíveis líquidos, são elementos presentes na estratégia brasileira de preservar limpas suas matrizes.

E, ao lado disso, a expansão da produção doméstica de petróleo e gás natural, com perspectivas concretas de exportação de volumes expressivos de óleo, permitirá que o país se consolide como importante *player* no cenário energético mundial.

Nessas condições, considerando ainda as dimensões da economia brasileira, o equilíbrio macroeconômico conquistado e consolidado nos últimos 20 anos, a histórica estabilidade político-administrativa que o país apresenta, reconhecido como a maior democracia do hemisfério sul, tem-se reunidos os ingredientes essenciais para que o país possa superar adequadamente os desafios que se apresentam em face da expansão da demanda por energia. E, em adição, deve-se convir que essas condições reservam para o país um papel relevante no cenário mundial, na discussão da agenda energética proposta, de privilegiar as fontes renováveis e limitar emissões de gases de efeito estufa.

---

MAURICIO TIOMNO TOLMASQUIM · Engenheiro de Produção – UFRJ, Economista – UERJ, Mestre em Planejamento Energético – COPPE/UFRJ, Doutor em Economia do Desenvolvimento pela École des Hautes Études en Sciences Sociales – EHESS/Paris. É presidente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE); membro do Conselho Nacional de Política Energética e do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico. Foi Secretário-Executivo do Ministério de Minas e Energia, coordenador do grupo técnico de formulação e implementação da reforma institucional do setor elétrico; membro do grupo de trabalho que elaborou o novo marco regulatório do Pré-Sal.

AMILCAR GUERREIRO · Engenheiro de produção pela UFRJ, pós-graduado em Planejamento Energético (COPPE) e Engenharia Econômica (UERJ) e extensão em Desenvolvimento de Executivos para a Alta Administração do Setor Elétrico (USP). É diretor de Estudos de Economia da Energia e Meio Ambiente da EPE. Foi Secretário de Energia do MME e coordenador do Comitê Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (CCPE) e do grupo de energia do Mercosul. Foi gerente executivo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL.



## Publicações anteriores dos *Cadernos Adenauer*

- Governança e sustentabilidade nas cidades (n. 2, 2014)
- Justiça Eleitoral (n. 1, 2014)
- Relações Brasil-Alemanha / Deutsch-Brasilianische Beziehungen (caderno especial, 2013)
- Novas perspectivas de gênero no século XXI (n. 3, 2013)
- Candidatos, Partidos e Coligações nas Eleições Municipais de 2012 (n. 2, 2013)
- Perspectivas para o futuro da União Europeia (n. 1, 2013)
- Democracia Virtual (n. 3, 2012)
- Potências emergentes e desafios globais (n. 2, 2012)
- Economia verde (n. 1, 2012)
- Caminhos para a sustentabilidade (edição especial, 2012)
- Municípios e Estados: experiências com arranjos cooperativos (n. 4, 2011)
- Ética pública e controle da corrupção (n. 3, 2011)
- O Congresso e o presidencialismo de coalizão (n. 2, 2011)
- Infraestrutura e desenvolvimento (n. 1, 2011)
- O Brasil no contexto político regional (n. 4, 2010)
- Educação política: reflexões e práticas democráticas (n. 3, 2010)
- Informalidade laboral na América Latina (n. 2, 2010)
- Reforma do Estado brasileiro: perspectivas e desafios (n. 1, 2010)
- Amazônia e desenvolvimento sustentável (n. 4, 2009)
- Sair da crise: Economia Social de Mercado e justiça social (n. 3, 2009)
- O mundo 20 anos após a queda do Muro (n. 2, 2009)
- Migração e políticas sociais (n.1, 2009)
- Segurança pública (n. 4, 2008)
- Governança global (n. 3, 2008)
- Política local e as eleições de 2008 (n. 2, 2008)
- 20 anos da Constituição Cidadã (n. 1, 2008)
- A mídia entre regulamentação e concentração (n. 4, 2007)
- Partidos políticos: quatro continentes (n. 3, 2007)
- Geração futuro (n. 2, 2007)
- União Europeia e Mercosul: dois momentos especiais da integração regional (n. 1, 2007)
- Promessas e esperanças: Eleições na América Latina 2006 (n. 4, 2006)

- Brasil: o que resta fazer? (n. 3, 2006)
- Educação e pobreza na América Latina (n. 2, 2006)
- China por toda parte (n. 1, 2006)
- Energia: da crise aos conflitos? (n. 4, 2005)
- Desarmamento, segurança pública e cultura da paz (n. 3, 2005)
- Reforma política: agora vai? (n. 2, 2005)
- Reformas na Onu (n. 1, 2005)
- Liberdade Religiosa em questão (n. 4, 2004)
- Revolução no Campo (n. 3, 2004)
- Neopopulismo na América Latina (n. 2, 2004)
- Avanços nas Prefeituras: novos caminhos da democracia (n. 1, 2004)
- Mundo virtual (n. 6, 2003)
- Os intelectuais e a política na América Latina (n. 5, 2003)
- Experiências asiáticas: modelo para o Brasil? (n. 4, 2003)
- Segurança cidadã e polícia na democracia (n. 3, 2003)
- Reformas das políticas econômicas: experiências e alternativas (n. 2, 2003)
- Eleições e partidos (n. 1, 2003)
- O Terceiro Poder em crise: impasses e saídas (n. 6, 2002)
- O Nordeste à procura da sustentabilidade (n. 5, 2002)
- Dilemas da Dívida (n. 4, 2002)
- Ano eleitoral: tempo para balanço (n. 3, 2002)
- Sindicalismo e relações trabalhistas (n. 2, 2002)
- Bioética (n. 1, 2002)
- As caras da juventude (n. 6, 2001)
- Segurança e soberania (n. 5, 2001)
- Amazônia: avança o Brasil? (n. 4, 2001)
- Burocracia e Reforma do Estado (n. 3, 2001)
- União Europeia: transtornos e alcance da integração regional (n. 2, 2001)
- A violência do cotidiano (n. 1, 2001)
- Os custos da corrupção (n. 10, 2000)
- Fé, vida e participação (n. 9, 2000)
- Biotecnologia em discussão (n. 8, 2000)
- Política externa na América do Sul (n. 7, 2000)
- Universidade: panorama e perspectivas (n. 6, 2000)
- A Rússia no início da era Putin (n. 5, 2000)
- Os municípios e as eleições de 2000 (n. 4, 2000)
- Acesso à justiça e cidadania (n. 3, 2000)
- O Brasil no cenário internacional (n. 2, 2000)
- Pobreza e política social (n. 1, 2000)

Para assinar ou adquirir os Cadernos Adenauer, acesse: [www.kas.de/brasil](http://www.kas.de/brasil)



Este livro foi composto por  
Cacau Mendes em Adobe Garamond c.11/14 e  
impresso pela Oficina de Livros em papel pólen 90g/m<sup>2</sup>  
para a Fundação Konrad Adenauer  
em janeiro de 2015.