

Foresight energético, cenários e políticas para energias renováveis no Brasil

Nathaniel Horner¹, Antonio de Paula-Oliveira², Richard Silbergitt³, Barbara Rocha⁴ e Marcelo Poppe⁵

Resumo

O Brasil é líder em energia renovável, mas considerar e avaliar as políticas são alguns pontos críticos para manter essa liderança, tendo em vista sua forte dependência de energia hídrica para obter eletricidade, o aumento da demanda energética a partir do crescimento econômico e a necessidade

Abstract

Brazil is a leader in renewable energy, but considering policies is critical to maintaining this leadership in light of its strong dependence on hydropower for electricity, rising energy demand from economic growth, and need to support the aspirations of a growing middle class. The Center

- 1 Formado em Ciências da Computação, com título de doutor em Engenharia e Políticas Públicas, pela Universidade Carnegie Mellon. Atua principalmente nas áreas de políticas e análise de sistemas, com foco em energia renovável, transporte e campos da defesa. É professor do departamento de Engenharia de Sistemas da Universidade Johns Hopkins e pesquisador no *Climate and Energy Decision Making Center (CEDM)*, em Carnegie Mellon.
- 2 Graduado em Engenharia Mecânica, com doutorado em Química e Ciências Aplicadas pela Universidade de Aston, no Reino Unido. Tem trabalhado há mais de 10 anos na área de energia, com foco especial em fontes renováveis. É assessor técnico do CGEE, onde trabalha principalmente com subsídios a políticas públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação.
- 3 Formado em Física, com doutorado em Física do Estado Sólido, pela Universidade da Pensilvânia - EUA. Tem trabalhado na academia, no governo e no setor privado, por mais de 40 anos, com avaliação, gestão de pesquisa e foresight em áreas de tecnologia avançada. Lecionou Tecnologias Emergentes nos Estados Unidos e na Ásia, foi presidente do Conselho Consultivo Internacional do Centro de Tecnologia da APEC Foresight, em Bangkok, Tailândia. Atualmente é Cientista Sênior da Rand Corporation em Washington-DC, EUA.
- 4 Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em análise e planejamento de energias renováveis, pela Universidade de Brasília (UnB), e MBA em Gerenciamento de Projetos, pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Trabalhou no setor privado com desenvolvimento de projetos de energia crítica, automação e eficiência energética e na Associação do Grandes Consumidores Industriais de Energia, onde atuou com temas relacionados, principalmente, a aspectos regulatórios do setor de energia. É assistente técnica do CGEE.
- 5 Graduado em Engenharia Elétrica, pela Escola Politécnica da UFRJ, e diplomado em Estudos Aprofundados em Economia da Inovação e de Sistemas Energéticos, pelo Instituto Nacional de Ciências e Técnicas Nucleares e Universidade de Paris-Dauphine, da França. Tem mais de 40 anos de experiência profissional como engenheiro, pesquisador, consultor e gestor em empresas, na academia, no governo e em associações, nos temas energia, tecnologia, inovação, mudança do clima e desenvolvimento sustentável. É assessor sênior do CGEE.

de sustentar as ambições de uma classe média em crescimento. O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) está participando de estudos prospectivos em tecnologias para aumentar a eficiência energética e manter altos índices de energia renovável na matriz energética, assim como relacionados a cenários de redução de carbono para mitigação das mudanças climáticas. Este artigo aplicará técnicas de análise de cenário para avaliar os efeitos do desenvolvimento e da implementação de políticas e tecnologias no consumo total de energia primária, na eficiência econômica no uso de energia e na descarbonização da matriz energética. Cenários de consumo total de energia *versus* (vs.) produto interno bruto por unidade de energia e nível de descarbonização da Agência de Energia Internacional e de atuais estudos brasileiros serão comparados e transformados em metacenários, com ramificações políticas. Finalmente, será discutido o uso de *Future-Oriented Technology Analysis* (FTA) para subsidiar decisões políticas, usando esses metacenários.

Palavras-chave: Recomendações para tomada de decisão. Energia. Metacenários.

for Strategic Studies and Management in Science, Technology and Innovation (CGEE) is participating in ongoing prospective studies of technologies to increase energy efficiency and maintain high levels of renewable energy, as well as of carbon reduction scenarios to mitigate global climate change. This paper will apply scenario analysis techniques to evaluate the effect of policy and technology development and implementation on total primary energy consumption, economic efficiency of energy use, and decarbonisation of the fuel mix. Scenarios of total energy consumption versus (vs.) GDP growth per unit of energy and level of decarbonisation from the International Energy Agency and from current Brazilian studies will be compared and developed into meta-scenarios with policy ramifications. Finally, we will discuss the use of FTA to inform and support policy decisions using these meta-scenarios.

Keywords: Policy recommendations. Energy. Meta scenarios.

1. Introdução

Devido à afortunada geografia e ao planejamento político, o Brasil é líder em energia renovável, possuindo uma das economias menos intensivas em carbono no mundo. O sistema de energia do Brasil é único em diversas maneiras. Primeiro, o País obtém três quartos de sua eletricidade por meio de geração hidrelétrica. Segundo, foi feito um esforço conjunto para introduzir os biocombustíveis à base de cana-de-açúcar no setor de transporte – a partir dos anos 70, em veículos movidos a etanol e, mais recentemente e com mais sucesso, via exigências de mistura de etanol na gasolina e pelo estímulo à produção de veículos flex, que agora constituem 50% dos veículos de passageiros.

Todavia, uma mudança pode estar para acontecer. O rápido crescimento da demanda de energia pode pressionar o atual sistema de fornecimento, restrito por leis ambientais que dificultam aumentar a exploração da capacidade da energia hídrica. O Brasil vivenciou grandes blecautes em 2001, devido aos baixos níveis pluviométricos, levando a um aumento na construção de

usinas de gás natural. Além disso, uma descoberta recente de extensas reservas de petróleo em águas profundas, fora da costa, pode acelerar ainda mais a volta do uso dos combustíveis fósseis. Ao mesmo tempo, as últimas políticas promoveram um crescimento robusto da capacidade de geração eólica, que tem se mostrado um forte recurso renovável para o País.

As políticas que o Brasil decretará em um futuro próximo poderão ter um efeito significativo na possibilidade de continuar sendo líder em baixos índices de emissões do setor energético. Os cenários estudados aqui buscam fornecer melhor entendimento de possíveis futuros para o País, assim como uma comparação do Brasil com outros países do BRICS⁶.

2. História energética brasileira e contexto político

Para analisar os cenários da política energética brasileira, é importante entender como a matriz nacional de energia evoluiu. A posição favorável do Brasil como um líder em baixo carbono resulta de decisões de políticas-chaves, tomadas no decorrer das últimas quatro décadas. Por exemplo, após o choque do petróleo de 1970, as importações desse combustível foram reduzidas drasticamente, a produção interna aumentou e os mandatos de mistura de combustível resultaram em um robusto desenvolvimento do etanol de cana-de-açúcar, fazendo com que o Brasil se tornasse autossuficiente no setor de transporte.

A Figura 1 mostra a tendência do consumo de energia do Brasil (superior) e a mistura proporcional de combustível (inferior), desde 1970. Como um mercado emergente, o País vivenciou um rápido crescimento na demanda de energia. Desde 1990, a demanda nacional de energia duplicou, alcançando aproximadamente 300 milhões de toneladas de petróleo equivalente (Mtep), em 2013, e ultrapassou o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) ao longo do período, registrando uma taxa de crescimento anual composta de 3.1% vs. 2.8% para o PIB.

Com a finalidade de satisfazer tal demanda, o setor de energia brasileiro encarou imensos desafios para manter o fornecimento em crescimento. Gás natural, petróleo e derivados representam 80% do crescimento no fornecimento energético, ao longo dos últimos dez anos (EPE, 2014a). Todavia, as fontes de energia renovável continuam sendo um forte componente na mistura de combustível doméstico, representando 41% do seu total em 2013 (inferior a aproximadamente 60% em 1970⁷). Isso faz do Brasil uma das economias menos intensivas em carbono do mundo,

⁶ Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

⁷ É importante notar que quase metade do consumo de energia do Brasil, em 1970, veio da lenha e do carvão que. Vale ressaltar que o uso desses recursos renováveis pode ter vastas consequências no uso do solo, além de não ser neutro em carbono se não houver replantio. Na atualidade, aproximadamente 10% desse consumo vem da madeira, geralmente originada em cultivos de florestas de rápido crescimento.

com um fator de emissão de 1,55 tonelada de dióxido de carbono por tonelada de petróleo equivalente (tCO_2/tep) versus a média mundial de 2,37 tCO_2/tep (EPE, 2014a.).

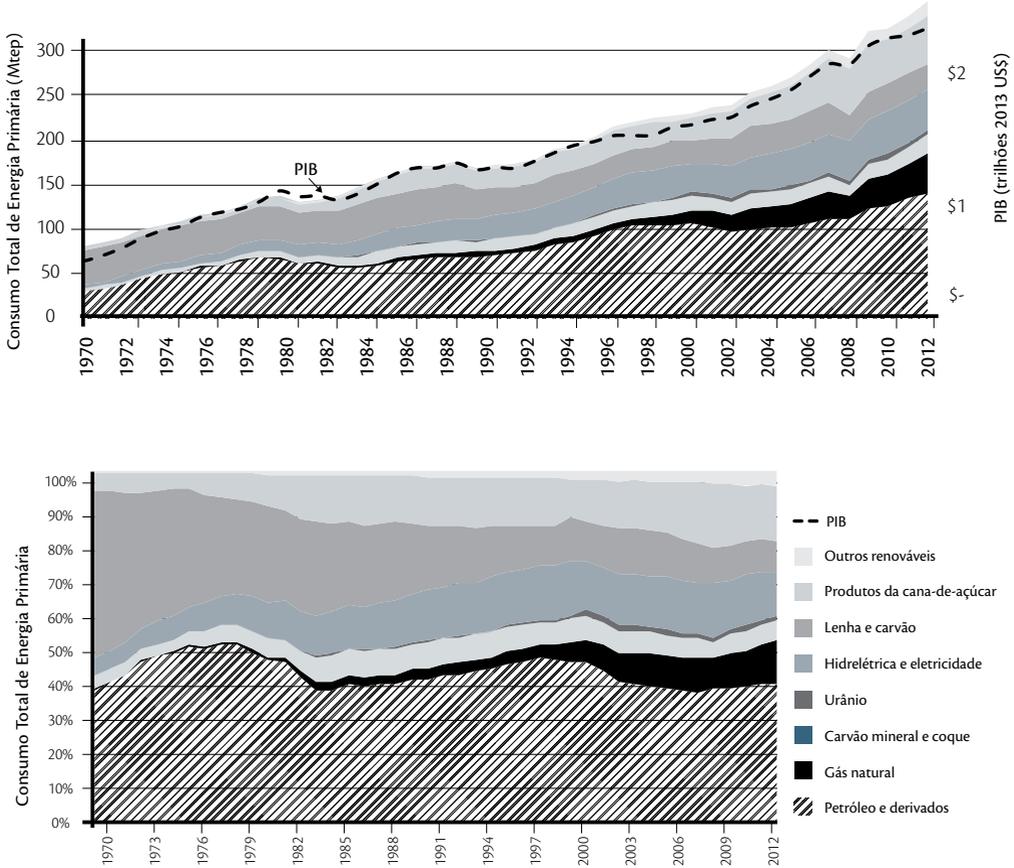


Figura 1. Consumo total de energia primária do Brasil por fonte, 1970-2013. Superior: projeções do consumo de energia primária; linha sublinhada = PIB. Inferior: mistura de combustível proporcional.

Após duas décadas sob regime militar, foi promulgada a Constituição Brasileira de 1988, colocando os recursos naturais, incluindo o potencial de energia hidráulica e depósitos minerais, sob controle federal, definindo, ainda a obrigatoriedade de processos licitatórios para que concessionários obtivessem o direito de explorá-los. Entretanto, o processo para realização dessas licitações não foi definido até 1995. Sete anos depois, o novo governo - eleito em 2002 - revisou esse processo. A partir de então, o controle federal do setor de energia permitiu que o Brasil ditasse seu desenvolvimento na área. Contudo, as séries resultantes de mudanças na legislação e

as novas organizações institucionais, necessárias para responder aos eventos em transformação, criaram incertezas para agentes e investidores do mercado.

Três principais focos da política energética do Brasil permitiram que a pegada descarbonizada fosse mantida: biomassa, energia hídrica e eficiência energética. O Programa Nacional do Álcool (Proálcool), destinado a aumentar a participação do uso do bioetanol de cana-de-açúcar no País, foi criado em 1975, após o primeiro choque petrolífero. A mistura obrigatória de até 25% de bioetanol (E25) na gasolina foi um fator importante para o desenvolvimento desse mercado e uma resposta aos crescentes preços do petróleo. Atualmente, mais de 90% dos carros fabricados no Brasil são flex - aceitando tanto E25 como bioetanol puro (E100) - e o bioetanol e a bioenergia da cana-de-açúcar representam 17% do fornecimento de energia primária do País (EPE, 2014a.).

A proporção crescente de fornecimento não renovável ao longo dos anos 2000 – particularmente de gás natural – é explicada pela falta de condições meteorológicas favoráveis e pelas barreiras para a expansão de energia hídrica. Um período de seca contribuiu para diminuir os níveis de reservatórios e, conseqüentemente, ocasionar grandes blecautes em 2001, o que provocou a construção de plantas termelétricas a gás como uma prevenção contra esse risco no futuro (OECD/IEA, 2013a.). Além disso, cerca de 70% do potencial hidrelétrico do Brasil está localizado na região da Amazônia (EPE, 2007), onde legislações rigorosas limitam seu aproveitamento. Todavia, a Agência Internacional de Energia (AIE) estima que uma capacidade hidrelétrica adicional de 67 gigawatts (GW) esteja disponível fora de áreas ambientalmente sensíveis e assinala que usinas “a fio d’água”, ao invés daquelas com grandes represas, podem mitigar algumas preocupações, embora tais usinas tenham diferentes características de desempenho (OECD/IEA, 2013a.).

A criação, em 2002, do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e direcionado a incentivar novas renováveis, fortaleceu o desenvolvimento de pequenas usinas hidrelétricas, bioenergéticas, fotovoltaicas e parques eólicos. Sendo a última a próxima grande tendência de geração de energia do Brasil. Embora o vento seja sazonal, alguns parques eólicos registram, regularmente, um fator de capacidade de mais de 50%, o que é considerado extremamente alto (OECD/IEA, 2013a. ; SPATUZZA, 2014). A capacidade eólica instalada do País aumentou 84% em 2014 (SPATUZZA, 2014).

Sobre a eficiência energética, dois programas nacionais foram criados: em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel)⁸ e, em 1991, o Programa Nacional de

8 Promove o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais. Criado pelo governo federal em 1985, é executado pela Eletrobras, com recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e de entidades internacionais. Fonte: <<http://www.eletobras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>. Acesso em 12 de abril de 2015 .

Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet)⁹. O estabelecimento de etiquetagem voluntária, em 1986, e programas de prêmios, em 1993, para aparelhos e equipamentos, foi seguido por padrões obrigatórios de desempenho mínimo em 2001. Foram fornecidos recursos financeiros, principalmente para aparelhos utilitários, por meio da obrigação em eficiência energética, introduzida em 1998. As principais políticas discutidas anteriormente estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais programas e legislações brasileiros criados desde 1970.

Ano	Política	Foco	Impactos e Consequências
1975	Decreto 76.593	Proálcool - Programa Nacional do Álcool	20% de Bioetanol na mistura de combustível; Cana-de-açúcar 17% de matriz de energia
1980s	Petrobras e esforços de P&D dos Centros de Pesquisa	Exploração e extração de petróleo em águas profundas	Autossuficiência em petróleo
1988	Nova Constituição Federal	Processos obrigatórios de licitações para recursos naturais de energia	Apropriação de recursos naturais pelo governo federal
1993	Lei 8.631	Fixação de tarifas para o setor elétrico	Transparência e preços baseados em custo
1995/6	Leis 8.987 & 9.074	Normativo para Concessões e Permissões	Utilidades públicas e privadas sob regime do serviço público
1996	Lei 9.427	Fundação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)	Regras justas para concessionários e clientes
1997	Lei 9.478	Fundação da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)	Expansão do setor de combustíveis e confiabilidade dos produtos
1997	Lei 9.478	Fundação do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Coordenação interministerial
1998	Lei 9.648	Mercado livre para compra e venda de eletricidade	Desenvolvimento e consolidação do setor elétrico
2002	Lei 10.438	Instituição do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa)	Preços mais baixos para eólica US\$ 55 MWh
2004	Lei 10.847	Criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	Profissionalização do planejamento do setor de energia

⁹ Criado pelo governo federal, em 1991, para promover o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil. O programa é vinculado ao MME e executado com apoio técnico e administrativo da Petrobras. Fonte: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml>. Acesso em 12 de abril de 2015.

3. Metodologia

Para compreender o desempenho do sistema de energia brasileiro, adotamos um conjunto de métricas usadas anteriormente para analisar os setores de energia dos Estados Unidos e de vários países do Sudeste Asiático (SILBERGLITT; HOVE; SHULMAN, 2003; SILBERGLITT; KIMMEL, 2013). Primeiro, examinamos a **eficiência energética**, o PIB por unidade de consumo total de energia primária (TPEC), mensurado em dólar americano de 2013 por toneladas equivalentes de petróleo (tep).

Também verificamos o desempenho das emissões. Definimos, ainda, carbonização (C) como a proporção das emissões de carbono do setor de energia com relação às emissões de carbono do mesmo setor, se toda a energia usada fosse baseada em carvão:

$$C = \frac{\text{emissões de carbono reais}}{\text{emissões de carbono normalizadas a 100\% de carvão}} = \frac{t_p E_p + t_g E_g + t_c E_c}{t_c E},$$

onde t_p , t_g , e t_c são os fatores de emissão para petróleo, gás natural e carvão, respectivamente, em megatoneladas de carbono por megatoneladas de petróleo equivalente (Mt-C/Mtep), e E_p , E_g , e E_c correspondem ao total de energia primária daquelas mesmas três fontes de combustível. E , no denominador, é uso total de energia primária pelo país; note que esse termo inclui energia primária de todas as fontes, abarcando as renováveis. Assim, essa métrica trata, implicitamente, fontes renováveis brasileiras importantes como hidrelétrica e biomassa, como se tivessem um fator de emissão zero. Esse tratamento segue a convenção do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ao assumir que, entre colheita e recrescimento, não há emissões líquidas de carbono (IPCC, 2014). Se as colheitas da biomassa resultarem em mudanças no uso do solo, essa hipótese não poderá ser aplicada.

Um país que consumiu apenas energia do carvão teria uma *carbonização* de 1.0. Definimos, então, *descarbonização* como o inverso de C; portanto, países com sistemas de energia “mais verdes” terão maiores proporções de descarbonização ($1/C$). A métrica final é a *eficiência de carbono* ou PIB por tonelada emitida de carbono.

Plotamos cada uma dessas métricas contra o consumo total de energia primária, tanto para tendências históricas como para vários cenários futuros, com o intuito de: (1) termos uma ideia de quanto a produtividade muda enquanto o uso de energia muda; e (2) entender se as mudanças no consumo de energia levam a mudanças no desempenho de emissões de GEE.

4. Definições de cenário

Nessa análise, traçamos dois cenários de política específicos para o Brasil, contra três cenários de energia gerais publicados pela AIE (IEA, 2014), os quais serão brevemente descritos nesta seção.

4.1. Cenários políticos do Brasil

Dois cenários políticos brasileiros são focos deste estudo. O primeiro é baseado no relatório do Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE, 2014b.), que considera o cenário das políticas atuais. O segundo diz respeito às novas políticas, de acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE 2050) (EPE, 2014c.).

4.1.1. Cenário das políticas atuais

Este é fundamentado no PDE 2023 (EPE, 2014b.), um plano de expansão de energia de 10 anos, que projeta mudanças no setor de energia até 2023, baseado em políticas atuais.

Em combustíveis líquidos, o cenário antecipa que o Brasil será, em dez anos, um dos maiores produtores e exportadores de petróleo do mundo, produzindo 5 milhões de barris por dia (bpd) e exportando 1,5 milhões de bpd. O petróleo das bacias do pré-sal transformará o País em um grande produtor e exportador até 2023.

A crescente demanda por combustível por parte de veículos do ciclo Otto (4,1% anualmente) ainda leva a um grande aumento no fornecimento de combustível de etanol hidratado, a uma taxa média de 7,6% ao ano. Assim, espera-se que a produção de etanol doméstico cresça de 28 bilhões de litros para 48 bilhões de litros em 2023. O gás natural deverá ter sua produção líquida elevada para 134 milhões de m³/dia até 2023, o que representará um ganho de 150% sobre os níveis de 2013.

Espera-se que a porcentagem de renováveis na mistura de combustível do Brasil se mantenha por volta de 42%, um nível bem acima da média mundial de 13% e da média da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) de 9%. Apesar da perda de porcentagem relativa de hidrelétrica, de 67%, em 2014, para 60%, em 2023, ainda é esperado que uma importante expansão de mais de 28 mil MW de capacidade de geração ocorra durante esse período.

O cenário também antecipa o crescimento em outras renováveis como um resultado de políticas recentes. De forma mais significativa, é esperado um aumento de seis vezes na capacidade instalada dos parques eólicos, alcançando 22400 MW até 2023. A este nível, a energia eólica irá representar 11,5% da capacidade de geração, refletindo a competitividade dessa fonte no

horizonte decenal. Além disso, a energia solar irá alcançar 3500 MW – cerca de 2% da capacidade instalada total.

O cenário inclui a expansão de 7500 MW em usinas termoelétricas nos últimos cinco anos do horizonte, a fim de satisfazer a crescente demanda de eletricidade. Contudo, espera-se que a participação de fontes não renováveis na matriz da energia caia de 17%, em 2014, para 16%, em 2023.

4.1.2. Cenário de novas políticas

O cenário de novas políticas também tem como fundamento o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (EPE, 2014c). No período de 2013-2015, é estimado que a demanda total de energia no Brasil aumente um pouco mais que o dobro, comparada ao ano base, com ênfase no avanço de gás natural e eletricidade e no declínio do consumo de petróleo e lenha/carvão, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Projeções da demanda de energia brasileira no contexto das novas políticas

	2014	2020	2030	2040	2050
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	%	%	%	%	%
Petróleo e derivados	38.60	42.20	42.3	41.7	39.4
Gás natural	11.70	9.90	10.3	10.8	11.2
Carvão e coque	6.40	4.60	4.5	4.4	4.1
Urânio (U308)	1.30	0	0	0	0
ENERGIA RENOVÁVEL					
Hidrelétrica e eletricidade	13.60	16.70	18.1	20.1	23.1
Lenha e carvão	8.60	6.60	5.4	4.7	4.5
Produtos da cana-de-açúcar	15.40	17.70	16.8	15.8	15.2
Outros	4.50	2.30	2.6	2.5	2.5
TOTAL (Mtep)	311.98	353.00	460.00	549.00	605.00

Esses resultados refletem a introdução crescente do gás natural na mistura do combustível nacional, substituindo o consumo de petróleo na indústria e no setor residencial (óleo combustível e GLP, principalmente). A queda no percentual de petróleo também se deve à inserção dos biocombustíveis no setor de transporte, particularmente do etanol, em veículos de transporte individual. Lenha e carvão também apresentaram queda, o que foi um resultado da

substituição do carvão na indústria siderúrgica e da substituição do GLP e gás natural no setor residencial. Outras fontes de energia contribuíram levemente no longo prazo.

Em termos de transporte, o cenário inclui mandados de mistura de etanol-gasolina de 18% a 25% de etanol e etiquetagem de eficiência de combustível voluntária para veículos de passageiros ligeiros. A mistura obrigatória de biodiesel também irá aumentar o atual nível, que é de 5%.

Com essas projeções em mente, o cenário de novas políticas antecipa uma redução de 36% em emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), comparadas com *business as usual* até 2020. As políticas que estão guiando essa redução incluem maior implementação das medidas no Plano Nacional de Eficiência Energética, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem, o Programa de Conservação de Energia e o Programa de Eficiência Energética, sob os quais as concessionárias devem gastar, no mínimo, 0,5% de seu rendimento total em eficiência energética e 0,5% em P&D.

4.2. Cenários ETP

O *World Energy Outlook* (WEO) da AIE publicou três futuros cenários olhando para 2035: o cenário das *políticas atuais*, que extrapola as tendências em um caso de “*business as usual*”; o cenário das *novas políticas*, que inclui adoção de promessas e outras políticas atualmente sob consideração; e o cenário 450, que demonstra o que seria necessário para ter uma chance de 50% para limitar o aumento da temperatura média global para 2°C, no longo prazo (OECD/IEA, 2013b).

A AIE publicou três cenários parecidos, correspondendo aos aumentos de temperatura global de 6°C, 4°C, e 2°C, com um horizonte temporal de 2050, no relatório das Energy Technology Perspectives (ETP) [Perspectivas da Tecnologia Energética] (IEA, 2014). Nos referimos a estes como ETP-6, ETP-4 e ETP-2, sendo “amplamente consistentes” com as políticas atuais do WEO, novas políticas e o cenário 450, respectivamente (IEA, 2014). Para essa análise, usamos os cenários ETP com o horizonte temporal mais longo.

Esses cenários relatam o uso da energia primária por tipo de combustível, em acréscimos de cinco anos para vários países e regiões de interesse. As principais diferenças entre os cenários são a taxa de crescimento de uso de energia (por meio de ganhos de eficiência) e taxas de emissão de CO₂ (por meio da descarbonização). Embora seja concebível para o crescimento do PIB entre diferentes cenários de energia, os cenários ETP e WEO assumem o mesmo crescimento do PIB em cada caso.

Usamos os cenários ETP para comparar o possível futuro dos sistemas de energia do Brasil com os de outros países.

4.3. Cenários U.S. EIA

Dois cenários da Energy Information Administration (EIA) dos Estados Unidos também foram usados como um meio de colocar os cenários ETP no contexto. A EIA emite um relatório anual com os resultados do National Energy Modeling System (NEMS) que podem rodar vários cenários diferentes para o setor de energia americano. Mostramos o Caso de Referência, que representa as políticas atuais, e o cenário GHG25, que representa políticas não especificadas, resultando em um preço de carbono de \$25/t-CO₂, começando em 2015 e aumentando 5% anualmente, de acordo com o relatório de 2014 (EIA, 2014).

5. Resultados e discussão

A tendência e os cenários de futuro do Brasil para cada uma das três métricas de interesse são mostrados na Figura 2. Observamos que a eficiência energética, descarbonização e eficiência de carbono do Brasil continuaram – em média – geralmente estagnadas ao longo das últimas quatro décadas. De fato, a tendência mais recente ao longo dos últimos cinco anos é retrógrada, com redução nas três métricas.

Para entender melhor a taxa de descarbonização, recordamos as proporções de mistura de combustível na Figura 1, mostrando que ainda que a demanda de energia tenha quintuplicado desde 1970, a taxa de fontes renováveis para não renováveis alterou de 60%/40% para 40%/60%. Consequentemente, o índice de descarbonização reduziu gradualmente.

Também notamos, na Figura 1, que a taxa de crescimento do consumo de energia ultrapassou a taxa de crescimento do PIB, levando à redução gradual da eficiência energética desde 1980, como observado na Figura 2. Espera-se, para uma economia emergente, uma falta de crescimento da eficiência energética, considerando que o foco está no crescimento e não na eficiência. Como um exemplo, o Brasil tem estado envolvido em projetos de eletrificação para populações isoladas ao longo dos últimos 20 anos. Inicialmente, essa política acarretou uma taxa de aumento no consumo de energia maior que a taxa de crescimento do PIB.

Importantes elementos nesse contexto são o fato do Brasil inicialmente apresentar um sistema de energia eficiente e descarbonizado e estar focando suas políticas para mantê-lo estável, em vez de direcioná-lo para maiores progresso, balanceando o crescimento econômico com o desenvolvimento da energia. Com efeito, uma comparação com países pares (Figura 3) verifica se o Brasil continua sendo um líder nas três métricas. Sua descarbonização, em particular, é acentuada sob os cenários ETP-6 e ETP-4, pois nenhum dos outros países irá alcançar essa taxa brasileira atual de descarbonização, até o ano de 2050. Esse fator de descarbonização

se deve à grande proporção de geração de energia hidrelétrica e à promoção antecipada em biocombustíveis. Além disso, o Brasil tem o potencial para melhorar ainda mais seu desempenho, apesar do crescimento contínuo do uso de energia, ao passo que os ganhos em outros países (por exemplo, Estados Unidos, China e África do Sul) estão mais dependentes quando se trata de manter ou até mesmo diminuir o consumo de energia. Quão realísticos são esses ganhos? O consumo decrescente de energia para alguns países, mostrado no cenário ETP-2, parece ser extremamente otimista – particularmente, devido à queda na demanda –. Então, nós comparamos esses cenários contra dois cenários da U.S. EIA para os Estados Unidos, como demonstrado na (Figura 4) (EIA, 2014). O caso referência da EIA acompanha o caso ETP-6, no que diz respeito à eficiência energética e de carbono, mas é mais parecido com o cenário ETP-4, no tocante à descarbonização. O caso GHG25 – que é o cenário mais “verde” segundo a EIA – localiza-se entre os cenários ETP-6 e ETP-4, para a eficiência energética, e acompanha o ETP-4 na eficiência de carbono. Em relação à descarbonização, localiza-se entre os cenários ETP-4 e ETP-2. Importante notar que: nenhum dos cenários EIA mostra declínio no consumo de energia implicado pelo cenário ETP-2; e os altos níveis alcançados nas três métricas desse cenário continuaram bem fora de alcance no cenário GHG25. Certos aspectos do ETP-4, por outro lado, parecem realmente razoáveis.

Como a comparação com outros países está além do escopo deste artigo, os resultados americanos fornecem algumas bases para considerar o cenário ETP-2 como sendo bastante otimista. Para o caso do Brasil, análises futuras podem construir cenários políticos específicos para verificar se é possível dobrar as medidas de descarbonização do País até 2050.

Uma ferramenta útil para a análise de cenário é a definição de *metacenários*, ou seja, a criação de um conjunto de possíveis futuros mais genéricos, porém unicamente identificados, baseados nas faixas de alcance de diversos cenários publicados. Metacenários contribuem para que a discussão não seja aprofundada em detalhes de hipóteses de cenários específicos, enquanto preservam as características gerais de diversos estados futuros possíveis do sistema.

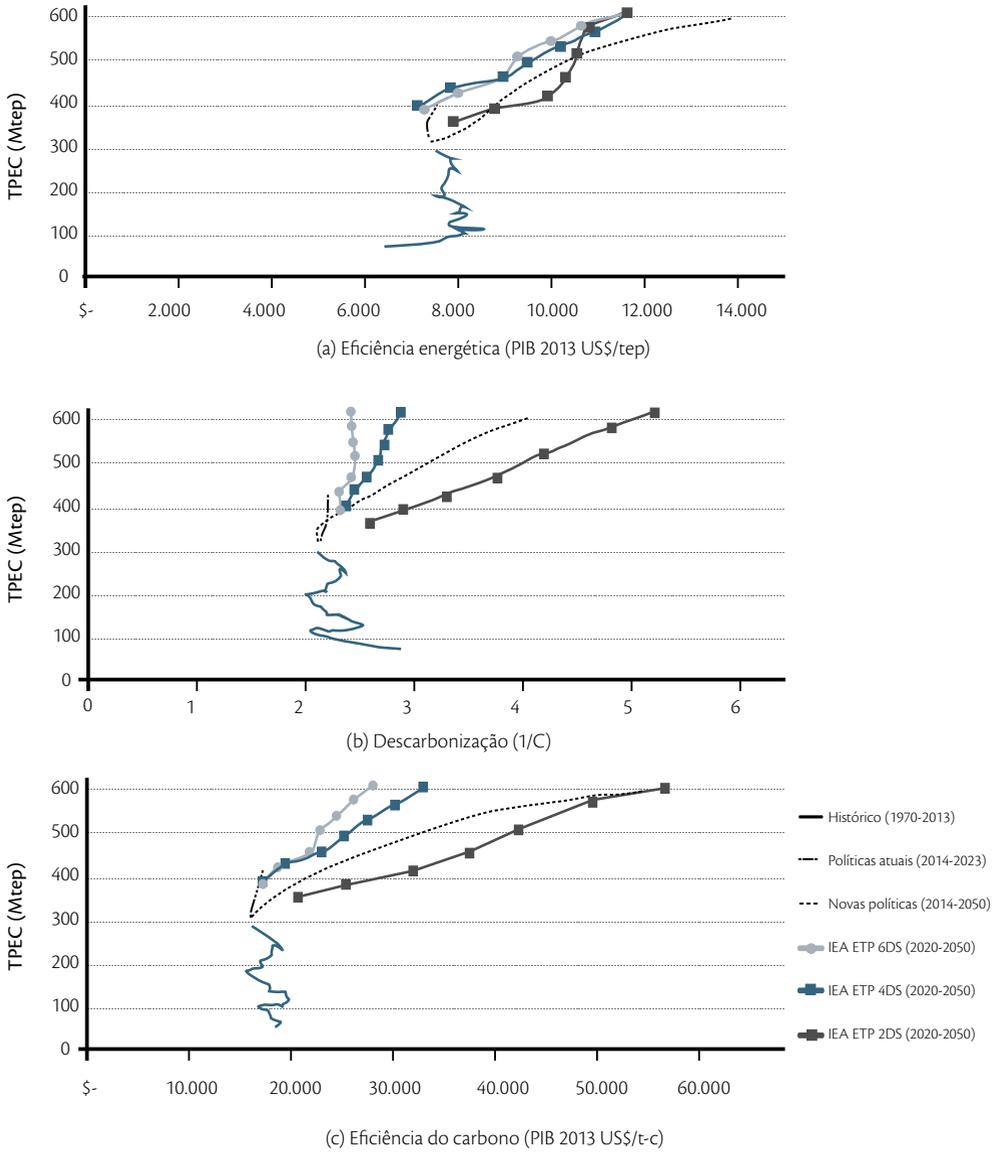


Figura 2. Métricas, histórico e futuros cenários do setor de energia do Brasil.

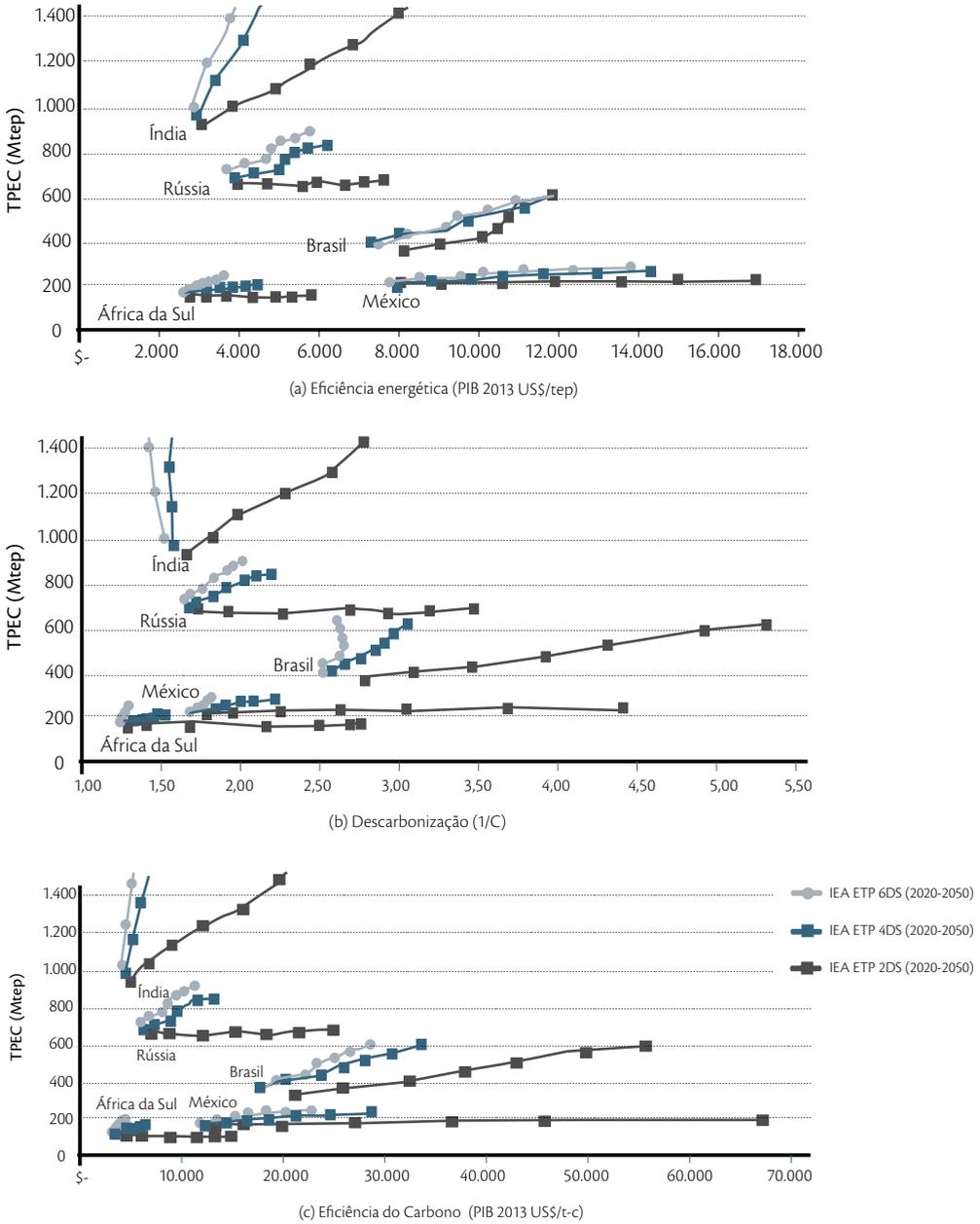
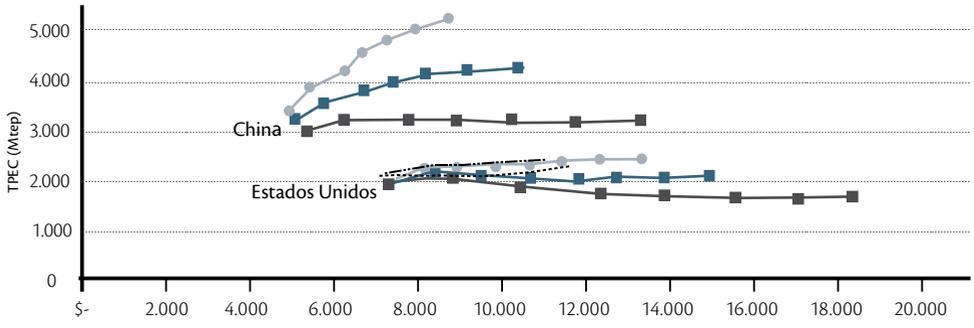
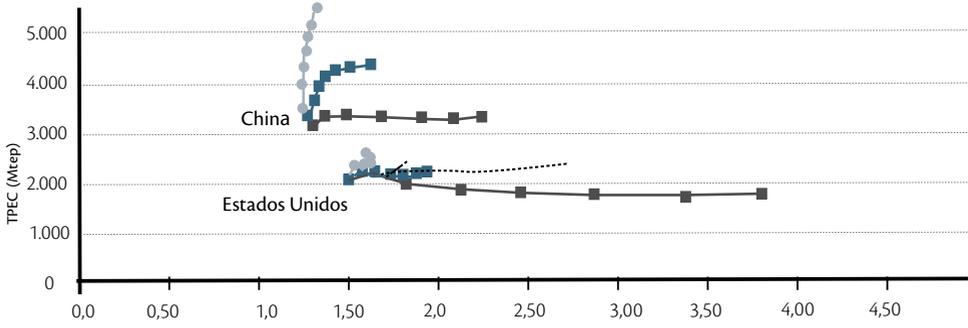


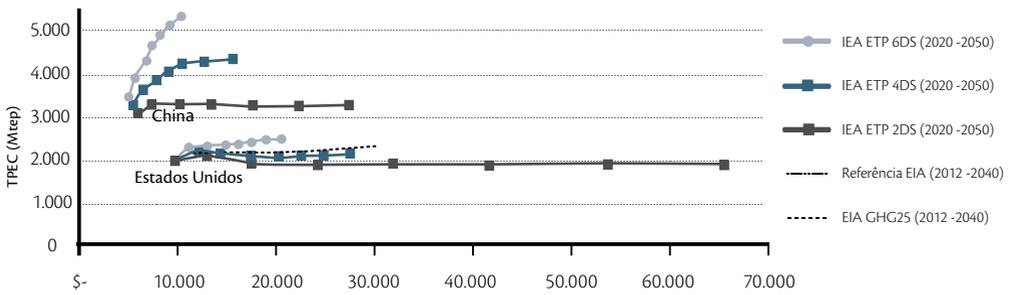
Figura 3. O setor de energia no Brasil e em países correlatos em cenários futuros



(a) Eficiência energética (PIB 2013 US\$/tep)



(b) Descarbonização (1/C)



(c) Eficiência do carbono (PIB 2013 US\$/t-c)

Figura 4. O setor de energia dos EUA e da China em cenários futuros

Para o Brasil, definimos três metacenários: Business as Usual (BAU), que corresponde aproximadamente às políticas atuais; *Um Brasil mais verde*, no qual novas políticas são adotadas para quebrar a estagnação e começar a descarbonizar o sistema de energia; *Sustentabilidade Global*, no qual o Brasil se junta aos maiores esforços mundiais para limitar o aumento da temperatura. Apresentamos, na Figura 5, os três metacenários, justapostos com os cenários específicos apresentados anteriormente.

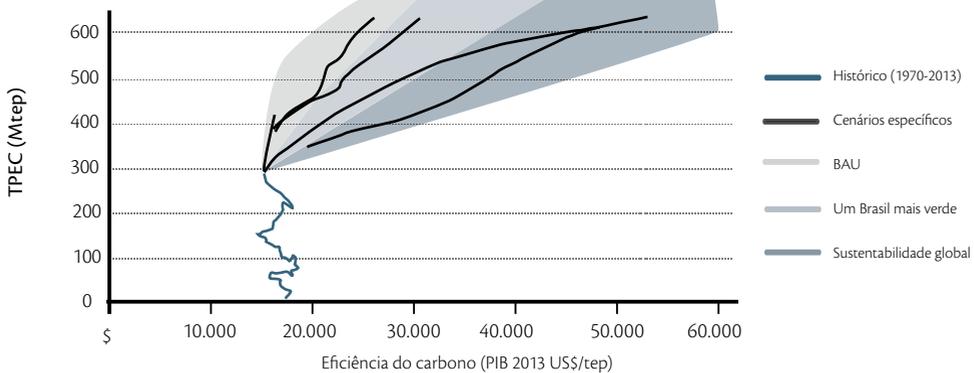


Figura 5. Descarbonização nos metacenários do Brasil. As linhas pretas representam cenários publicados individuais para o Brasil. Regiões coloridas indicam metacenários.

6. Implicações políticas

Observamos, nas seções anteriores, que o sistema de energia do Brasil é notavelmente descarbonizado. Apesar disso, evitar o cenário BAU está diretamente relacionado a realizar escolhas políticas que apoiem a descarbonização. Enquanto nossa análise – que compara os cenários WEO com cenários detalhados específicos dos EUA – indicou que os cenários de *Sustentabilidade Global* podem estar fora dos limites das previsões de políticas atuais, o fato é que certo grau de descarbonização adicional do sistema de energia do Brasil é possível. Tomando como base os pontos em comum entre os cenários examinados, sair da posição de BAU e passar para um “Brasil mais verde” depende de implementação de políticas que apoiem:

- desenvolvimento contínuo de geração hidrelétrica, cuja maioria da produção seja de tecnologia a fio d’água, em vez de represas;
- menor dependência em transporte rodoviário de mercadorias, implicando na necessidade de investimentos na infraestrutura de transporte precária do Brasil;

- aumento do uso de biocombustíveis no transporte; e
- aumento de programas de eficiência energética.

Avançar em direção a um mundo mais sustentável requer políticas mais agressivas nas áreas citadas, considerando, inclusive, o preço do CO₂ - não só no Brasil, mas em outros países.

Examinar os metacenários nos permite desenvolver sinais para determinar qual caminho está sendo traçado atualmente e alertar sobre potenciais barreiras. Algumas das barreiras para a descarbonização adicional do sistema de energia brasileiro são:

- **Acesso limitado ao capital.** Investimentos em projetos hidrelétricos, parques eólicos e infraestrutura de transporte requerem capital para a construção. Outra recessão ou a inabilidade de introduzir investimento estrangeiro poderia dificultar a conclusão desses projetos.
- **Combustíveis fósseis domésticos baratos.** A competição de petróleo e gás domésticos baratos pode dificultar a justificativa do governo por mandatos de altas misturas de biocombustíveis, assim como colocar pressão em outras renováveis. Enquanto a extração do petróleo em águas profundas apresenta desafios técnicos, a explosão do gás de xisto dos EUA mostrou o quão rápido o acesso aos combustíveis fósseis pode mudar o retrato da energia. O caso da *Sustentabilidade Global* envolve reduções no uso do petróleo de 10%, no Brasil, e 30%, globalmente, o que não irá acontecer se a gasolina continuar sendo um combustível veicular competitivo.
- Contudo, o desejo de apoiar a indústria brasileira de cana-de-açúcar pode equilibrar a pressão pelo uso da produção de petróleo nacional. As políticas do Brasil que determinam como as bacias do pré-sal são exploradas e onde os produtos são vendidos serão importantes.
- **Secas e mudanças climáticas.** A crise energética de 2001 demonstrou o quão dependente do regime de chuvas é a matriz elétrica brasileira. Usinas hidrelétricas a fio d'água - provavelmente o tipo dominante a ser instalado no futuro - são ainda mais dependentes das chuvas. Qualquer mudança climática que reduza as vazões dos rios e o nível dos reservatórios irá forçar o uso de usinas termoelétricas de reserva.
- **Preço mais elevado do açúcar.** Um aumento no preço do açúcar poderia aumentar o preço do etanol e diminuir sua proporção na mistura de gasolina. Além disso, como a maioria das frotas brasileiras consiste em veículos flex e os consumidores optam facilmente por um combustível ou outro, espera-se que a demanda do bioetanol tenha elasticidade de preço cruzada com a gasolina.
- **Falta de um preço para o carbono.** O caso da *Sustentabilidade Global* parece requerer que um preço para o carbono seja implementado em diversos países nos próximos anos.

A trajetória da política atual (BAU) do Brasil parece ser de estagnação continuada em descarbonização – embora continue sendo um líder mundial em energia verde –, ao passo que os ganhos de eficiência eventualmente acontecem enquanto o País se torna mais desenvolvido. No entanto, novas políticas que apoiam o desenvolvimento da geração hidrelétrica e o aumento na quantidade de mistura de etanol e na eficiência energética, atreladas com investimentos na infraestrutura, levando a mudanças estruturais no setor de transporte, podem levar a ganhos futuros alinhados com um Brasil mais verde. A comparação com outros pontos de referência indica que alcançar o cenário de Sustentabilidade Global será extremamente desafiador, fazendo-se necessária uma intervenção política significativa.

Em trabalhos futuros, planejamos examinar cenários políticos mais específicos para o Brasil, colocando-os dentro do contexto da estrutura do metacenário que descrevemos.

Referências

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional - 2014**, Rio de Janeiro, 2014a.
- _____. **Plano nacional de energia – PNE 2030**, Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **Studies of energy demand**, Rio de Janeiro: 2014c. (Technical Note).
- _____. **Ten-year energy expansion plan 2023**. Rio de Janeiro: 2014b.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Frequently asked questions: Q2-10**, Intergovernmental panel on climate change - task force on national greenhouse gas inventories, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html>>. Acesso em: 08 Nov. 2014.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy technology perspectives 2014: Harnessing electricity's potential**, 2014.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT AND INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - OECD/IEA. **Brazil Energy Outlook**. In: _____. **World energy outlook 2013**, Paris: OECD/IEA, 2013a, pp. 301–417.
- _____. **World energy outlook 2013**. Paris: OECD/IEA, 2013b.
- SILBERGLITT, R.; HOVE, A.; SHULMAN, P. Analysis of US energy scenarios, **Technol. Forecast. Soc. Change**, v. 70, n. 4, p. 297–315, May 2003.
- SILBERGLITT, R.; KIMMEL, S. Energy scenarios for Southeast Asia, **Technol. Forecast. Soc. Change**, In press 2013.
- SPATUZZA, A. Brazil wind capacity factor at 50%. **Recharge**, 21-Oct-2014. Disponível em: <<http://www.rechargenews.com/wind/1380860/Brazil-wind-capacity-factor-at-50>>. Acesso em: 10 Nov. 2014.
- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - EIA. **Annual Energy Outlook 2014**. Washington, DC: Apr. 2014.