

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Administração

Erik da Costa Breyer

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO:
Um Estudo de Prospectiva e Estratégia**

Belo Horizonte

2014

Erik da Costa Breyer

CRESCIMENTO ECONÔMICO E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO:

Um Estudo de Prospectiva e Estratégia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador Dr. Paulo Vicente dos Santos Alves.

Belo Horizonte

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

B844c Breyer, Erik da Costa
Crescimento econômico e desenvolvimento energético: um estudo de prospectiva e estratégia / Erik da Costa Breyer. Belo Horizonte, 2014.
91f.: il.

Orientador: Paulo Vicente dos Santos Alves
Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Administração.

1. Política energética - Brasil. 2. Desenvolvimento energético - Planejamento. 3. Desenvolvimento econômico. 4. Energia elétrica – Produção. I. Alves, Paulo Vicente dos Santos. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Administração. III. Título.

Erik da Costa Breyer

CRESCIMENTO ECONÔMICO E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO:

Um Estudo de Prospectiva e Estratégia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de concentração: Administração

Prof. Dr. Paulo Vicente dos Santos Alves (Orientador) - PUC Minas

Prof^a. Dra Glaucia Mendes Souza - (USP)

Prof. Dr. Roberto Patrus Mundim Pena - PUC Minas

Belo Horizonte, 24 de fevereiro de 2014

Às minhas filhas, Lis e Viky, por me mostrarem todo dia a beleza da vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Paulo Vicente dos Santos Alves, pela dedicação e conselhos. Sua orientação levarei para a vida.

Aos professores da Fundação Dom Cabral, que me dedicaram seu talento e esforço.

Ao Coordenador do Mestrado Profissional em Administração (MPA) da Fundação Dom Cabral, Prof. Dr. Roberto Patrus Mundim Pena, pelas suas aulas e enfático exemplo de como ser um excelente professor.

Aos meus colegas de trabalho e amigos da Diretoria Financeira da Neoenergia, que a cada dia me provam que trabalhar muito e com seriedade pode ser bastante divertido.

Aos meus colegas e amigos da Diretoria e do Conselho de Administração da Neoenergia, pelo incentivo e apoio.

À minha secretária, Andrea Barreto Pereira, que foi sempre paciente e cordata, mesmo quando eu não fui.

A minha mãe, Sylvia Maria da Costa, pelo seu carinho e amor. E também pelo exemplo acadêmico de ter feito sua dissertação em condições muito piores: sem internet para consulta ou computador para escrita e reescrita.

À minha esposa, Andrea de Castro Juannes, por tudo, em especial por ter me escolhido para passarmos juntos por esta vida.

As minhas filhas, Lis e Viky Juannes Breyer, por serem as pessoas mais doces e maravilhosas que este mundo já viu.

Ao meu pai, José Maria Breyer Jr., por me ensinar que fazer o certo é a coisa certa.

Ao meu irmão, Sidney Breyer, por ter me ensinado o valor do esforço e dos estudos.

A minha irmã, Ida Breyer, por ter me ensinado a importância de confiar na obstinação e perseverança.

A minha irmã, Daphne Breyer, por ter me ensinado a importância da tranquilidade e da garra, e que esses atributos não são incompatíveis.

Aos meus sobrinhos, Monique Breyer Sirovy, Pietro Breyer Marques, Michele Breyer Sirovy, Caio Breyer Marques, Ana Aduan Breyer e Julia Aduan Breyer, por fazerem minha vida mais feliz.

Aos meus afilhados, Monique Breyer Sirovy, Bernardo Xavier e Hanna Pimenta Juannes, por serem o orgulho do padrinho.

Ao meu amigo e compadre, Leonardo Silveira Xavier, pela amizade e apoio em todos os momentos.

Ao meu amigo, Charles Sirovy, pelo seu exemplo de que liderança, paciência e determinação movem montanhas.

Aos meus amigos, Katsuo Dias Homma e Sophie Aldebert, por nos provarem o valor da vida e das pessoas.

À minha cunhada e amiga, Maria Célia de Castro Juannes, pelo carinho e pioneirismo.

Ao meu amigo e eterno benchmark, Valfredo de Assis Ribeiro, pelo exemplo de ser ótimo marido, excelente pai, amigo fraterno, executivo workholic, boêmio, atleta e ainda escrever uma dissertação de mestrado ao mesmo tempo.

Ao meu amigo, Arnaldo Vollet, por ser o exemplo de profissional e de pessoa que todos deveriam tentar ser.

“Não há dúvida de que a energia é a chave para o desenvolvimento humano.

Na mitologia grega, a raça humana começou a existir
quando Prometeu roubou o fogo dos deuses”.

Alves (2000).

RESUMO

O domínio da primeira tecnologia de energia, o fogo, foi fundamental para a evolução de nossa espécie. Ao domínio do fogo se seguiu o domínio das energias hidráulica, animal, eólica, combustão do carvão e do petróleo e, mais recentemente, o domínio da fissão nuclear. Novas tecnologias de exploração, como o fraturamento hidráulico do xisto e geradores eólicos de alta performance, estão elevando o patamar de produtividade e eficiência de nossas fontes energéticas. Ao mesmo tempo, grandes esperanças são depositadas em tecnologias disruptivas, como a fusão nuclear. Este estudo foca a parcela do consumo energético do Brasil utilizado sob a forma de eletricidade. A distribuição de eletricidade chega hoje em todos os municípios do país e é condição necessária para uma vida civilizada. A principal questão deste estudo é: quais fontes de energia elétrica poderão ser utilizadas para abastecer o país a longo prazo? Para responder a essa questão, foi utilizado o método de pesquisa de cenários. Concluiu-se que são previstos investimentos em usinas hidráulicas, eólicas e, em menor extensão, nucleares. As externalidades desses investimentos precisam ser mitigadas ou compensadas, mas a extensão e descontinuidades das discussões dessas compensações podem impactar sensivelmente o crescimento do nosso parque gerador de energia elétrica.

Palavras-chave: Crescimento econômico. Desenvolvimento energético. Prospectiva. Estratégia.

ABSTRACT

The first energy technology, fire, was critical to the evolution of our species. After the mastery of fire, the hydropower, animal power, wind power, coal and oil combustion, and, more recently, the nuclear fission have appeared. New exploration technologies, such as hydraulic fracturing of shale and high performance wind turbines, are raising the level of productivity and efficiency of our energy sources. At the same time, great expectations are placed on disruptive technologies, as nuclear fusion. This study focuses on the portion of Brazil's energy consumption used under the form of electricity. The electric power distribution system is present today in all municipalities in the country and is required for a civilized life. The key question of this study is: which sources of electrical energy can be used to supply the country in the long term? To answer this question, the futures research methodology was used. Thus, we concluded that investments are required in hydroelectric power plants, wind farms and, to a lesser extent, nuclear power plants. These investment externalities must be mitigated or compensated, but the extension and discontinuity of discussions of such compensation may representatively impact the growth of our electricity generation.

Key words: Economic growth. Energy development. Prospective. Strategy.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Principais agentes e suas funções	48
Tabela 2 Cenário verde geração em TWh	51
Tabela 3 Cenário cinza geração em TWh.....	58
Tabela 4 Cenário preto geração em TWh	61
Tabela 5 Cenário azul geração em TWh.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Human Development Index</i> (HDI) como função do consumo energético	16
Figura 2. Fontes de energia	21
Figura 3. Fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos	28
Figura 4. Matriz Elétrica Brasileira 2012 2013	41
Figura 5. Matriz Elétrica Brasileira 2012 2013	42
Figura 6. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário verde.	52
Figura 7. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário cinza.	59
Figura 8. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário preto.	62
Figura 9. Coeficiente de aumento da demanda energética.	64
Figura 10. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário azul.	66
Figura 11. Funcionamento do setor elétrico de 1879 a 1934.	70
Figura 12. Funcionamento do setor elétrico de 1934 a 1962	71
Figura 13. Funcionamento do setor elétrico de 1962 a 1995	72
Figura 14. Funcionamento do setor elétrico de 1995 a 2003	74
Figura 15. Funcionamento do setor elétrico a partir de 2004	75

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a.a	Ao ano
ACP	Ação Civil Pública
ANA	Agência Nacional de Água
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CANAMBRA	Canadá, América e Brasil
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CIA	<i>Central Intelligence Agency</i>
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO ₂	Dióxido de carbono
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S/A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.
GW	Gigawatt
HDI	<i>Human Development Index</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
KWH	Quilowatt-hora

LASER	<i>Light amplification by stimulated emission of radiation</i>
MAB	Movimento dos Atingidos por Barragens
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MME	Ministério das Minas e Energia
MPA	Mestrado Profissional em Administração
MW	Megawatt
MWH	Megawatt-hora
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
OSC	Organizações da Sociedade Civil
OSI	Operador dos Sistemas Elétricos Isolados
PDE	Plano Decenal de Expansão
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
R\$	Reais
TCU	Tribunal de Contas da União
TWH	Terawatt-hora
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>

SUMÁRIO¹

1.Introdução	15
1.1 Questão de pesquisa e objetivos	20
2. Referencial Teórico.....	21
2.1 Fontes Existentes	23
2.2 Novas Fronteiras	32
a) Gás de xisto.....	32
b) Fusão nuclear	35
2.3 Situação Atual	41
3. Métodos de Pesquisa.....	43
4. Cenários	46
4.1 Cenário verde	50
4.2 Cenário cinza	54
4.3 Cenário preto.....	60
4.4 Cenário azul	63
5. Limitação do Estudo	67
6. Conclusão.....	68
Referências.....	78

¹ Este trabalho foi revisado de acordo com as novas regras ortográficas aprovadas pelo Acordo Ortográfico assinado entre os países que integram a Comunidade de Países de Língua Portuguesa (CPLP), em vigor no Brasil desde 2009. E foi formatado de acordo com o Manual de Submissão da RAC 2012.

1. Introdução

A frase popular “todo mundo quer ir para o céu, mas ninguém quer morrer” demonstra bem um dilema da sociedade moderna em relação à sua perspectiva econômica e o impacto ambiental dessa perspectiva. O combate à pobreza e a inclusão social são objetivos legítimos e consagrados da nossa sociedade. Buscam-se crescimento econômico e desenvolvimento social, comemorando cada crescimento de produto interno bruto (PIB) como uma aproximação desse objetivo. A busca incessante de desenvolvimento e crescimento econômico suscita alguns questionamentos. Qual o limite de recursos naturais que a humanidade tem à disposição? Até onde podemos crescer e consumir?

O desenvolvimento econômico é medido, basicamente, por meio do PIB e PIB/*per capita*. Às vezes o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é usado para ajustar melhor o dados de PIB e PIB/*per capita* em países com produção de *commodities* desproporcional, em especial petróleo, ouro ou diamantes (Alves, 2012). O IDH foi montado pela Organização das Nações Unidas (ONU), a partir do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O IDH é calculado usando-se três elementos com pesos iguais: PIB *per capita* corrigido pelo poder de compra da moeda do país, educação medida pelo índice de analfabetismo e a taxa de matrícula em todos os níveis de ensino, e longevidade, medida pela expectativa de vida ao nascer (Brasil, 2007).

Usando dados do *World Factbook* da *Central Intelligence Agency* (CIA, 2012) e *United Nations Development Programme* (UNDP, 2010), Alves (2012) demonstra que existe forte correlação de $R^2 = 0,83$ ($p < 0,01$) entre o consumo de energia *per capita* (em *kwh/capita*) e IDH, como mostrado na Figura 1. Essa correlação foi calculada utilizando-se apenas as 45 maiores economias, o que representa 90% da economia total do mundo e 80% da população mundial. Foi excluída grande quantidade de pequenas nações que poderiam

distorcer a análise. Herrera (1978, p. 1) declara que o “uso da energia tem sido convencionalmente um dos melhores indicadores e quantificadores do futuro coletivo”.

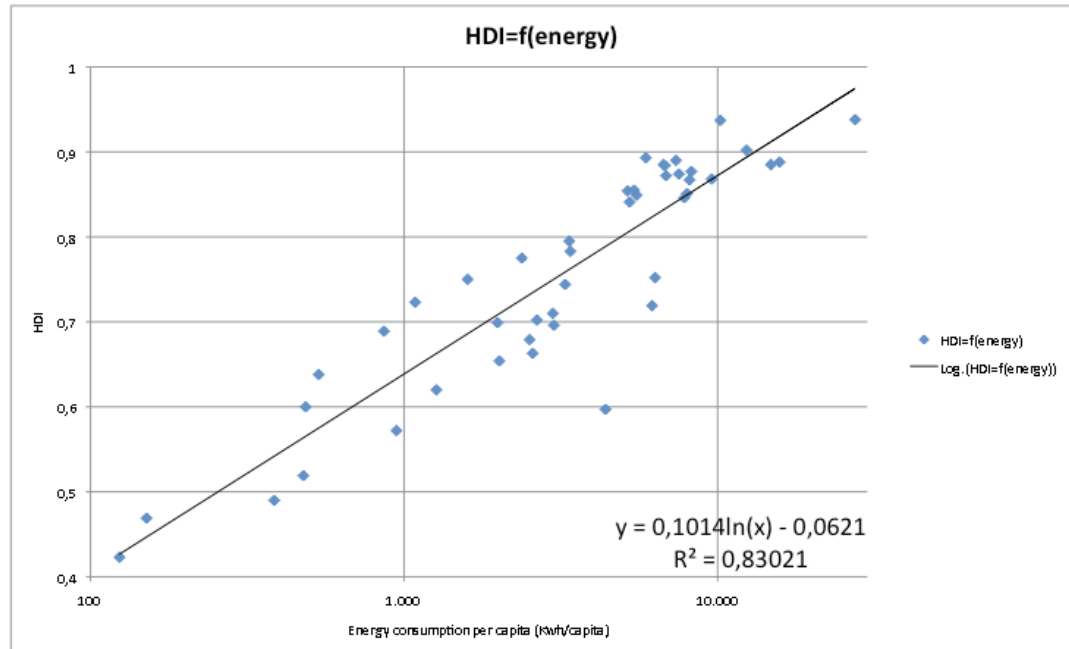


Figura 1. *Human Development Index (HDI) como função do consumo energético*

Fonte: Alves, P. V. S. (2012). Century: utopias, dystopias and the contradictions in development and technological evolution. In: IRSPM XVI 2012 - Panel 08 Constructing Futures: Public Management for Volatile Times Scenarios for the XXIst Rome, Italy. Anais...

A primeira tecnologia de energia foi o fogo, cujo controle se deu antes do aparecimento da nossa espécie. Ao fogo, seguiram-se as tecnologias de domínio das energias hidráulica, animal, eólica, a combustão do carvão e do petróleo e mais recentemente o domínio da fissão nuclear (Alves, 2000). Desde finais do século XVIII, as energias hidráulicas, de combustão de biomassa, carvão e derivados do petróleo têm sido convertidas em energia elétrica devido à sua facilidade de transporte e utilização. A partir de meados do século XX, energia nuclear e conversão direta de raios solares também têm sido largamente usadas para a geração de energia elétrica.

O presente estudo foca a parcela convertida em eletricidade do consumo energético do Brasil, pois a energia elétrica é um excelente indicador da performance da economia do

país e tem progressivamente assumido crescente participação na matriz energética brasileira, guardando relação com o comportamento da economia como um todo (Tolmasquim, 2005).

A constante evolução da energia elétrica na matriz energética brasileira ocorre pelas seguintes características associadas ao seu uso (Brasil, 2007): (i) ubiquidade, utilização cada vez mais frequente e intensa em atividades sociais e econômicas; (ii) vetor de modernidade, principalmente nas utilizações residenciais e nos setores público, de serviços e industrial; (iii) alto rendimento no uso, fator de produção para as atividades industriais que pode ser utilizado de forma limpa e com alto rendimento em quase todos os seus usos; (iv) capilaridade, sistema de distribuição que hoje chega a todos os municípios e praticamente a todas as localidades do país, estando acessível para quase todos os consumidores do país; (v) elemento catalisador de outros serviços públicos, por conta da sua capilaridade, a eletricidade é um serviço de utilidade pública que pode potencializar o suprimento de outros serviços públicos (por exemplo, bombeamento no serviço de saneamento e iluminação na educação).

O uso da energia elétrica no Brasil remonta ao ano de 1879, quando Dom Pedro II inaugurou a iluminação da Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II² no Rio de Janeiro (Mello, 2011).

No ano de 1883, entrou em operação a primeira usina hidrelétrica no país, localizada no Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, na cidade de Diamantina, Minas Gerais (Poulon & Martins Neto, 2000; Tolmasquim, 2005). Funcionou durante 104 anos. A segunda usina hidrelétrica começou a operar em 1887, em Nova Lima, também em Minas Gerais (Tolmasquim, 2005).

² Atual Estrada de Ferro Central do Brasil. Nesse mesmo ano, Thomas Edison construiu a primeira central elétrica para utilização na iluminação pública da cidade de Nova Iorque (Mello, 2011) e em 1882, nos Estados Unidos da América, foi construída a primeira usina que aproveitava somente o fluxo de água para a produção de energia elétrica (Tolmasquim, 2005).

No Brasil, a energia elétrica é fornecida por uma matriz de geração diversificada que inclui: geração eólica; solar; termoelétrica baseada na queima de biomassa, de derivados de petróleo e de carvão; termonuclear; e, principalmente, hidráulica. Em 2011, 81,72% da eletricidade consumida no Brasil tiveram fonte hidráulica (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2012a). A mais antiga barragem de que se tem notícia no território brasileiro - conhecida hoje como açude Apipucos - foi construída no Recife, possivelmente no final do século XVI, antes mesmo da invasão holandesa (Mello, 2011). No final do século XIX, pequenas usinas para suprimento de cargas modestas e localizadas começaram a ser implantadas.

Desde então, o Brasil construiu milhares de plantas industriais de geração de energia elétrica. A opção pela expansão do parque gerador priorizando a construção de usinas hidrelétricas foi feita pelo governo militar por considerá-la estratégica para o país (Brasil, 2007). Segundo dados do Banco de Informação de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2012), existem no país 1.006 usinas e centrais de geração de energia elétrica de base hidráulica, 1.573 usinas termoelétricas, 79 usinas eólicas, duas usinas nucleares e oito usinas fotovoltaicas. Atualmente, o aumento das preocupações com os impactos ambientais da produção e uso de energia transformou a priorização de energia hidroelétrica em uma vantagem comparativa (Brasil, 2007). Mesmo o Brasil tendo participação de 44,1% de fontes renováveis de energia na matriz energética em 2011 contra média mundial de 13,3% em 2009 (EPE, 2012a), 55,9% da energia consumida vêm de fontes não renováveis. E tanto renováveis como não renováveis são finitas. As fontes não renováveis são finitas pela sua própria natureza e as fontes renováveis são finitas nas suas possibilidades de expansão para atender à crescente demanda por energia.

Este trabalho surgiu da necessidade de se estudar e entender a dicotomia entre crescimento econômico ilimitado e fontes de energia finitas e com isso tentar antever

mudanças no ambiente e nas estratégias de fornecimento de energia elétrica para as organizações e indivíduos no país.

As organizações têm que lidar com um ambiente de negócios competitivo e complexo, caracterizado por rápidas e constantes mudanças que demandam decisões ágeis, sob a pressão das oportunidades e com menos exposição de risco possível (Motta, 1994; Wadhwa, Mishra & Chan, 2009). São fatores relevantes nesse ambiente quais as fontes de energia elétrica e em que condições de custo financeiro e ambiental a organização, o indivíduo e a sociedade como um todo têm à disposição de forma sustentável.

À palavra sustentável atribui-se, entre outros, o sentido de manter-se, nutrir-se, subsistir, viver. Desde os anos 80 do século XX, o termo assumiu de forma predominante a conotação definida pela *World Commission on Environment and Development*: “desenvolvimento sustentável é aquele que supre as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades” (Brundtland 1987, p. 8, tradução do autor).

1.1 Questão de pesquisa e objetivos

A principal questão discutida nesta pesquisa é: quais fontes de energia elétrica poderão ser utilizadas para abastecer o crescimento econômico e desenvolvimento social brasileiro no longo prazo?

O objetivo geral será, utilizando a metodologia de cenários descrita a seguir, discutir quais fontes de energia elétrica poderão ser utilizadas para abastecer o crescimento econômico e o desenvolvimento social brasileiro no longo prazo.

Para responder a essa questão de pesquisa, alguns objetivos específicos são discutidos:

- a) Quais fontes de energia elétrica estão disponíveis atualmente no Brasil? Será feita análise retrospectiva da evolução recente do ambiente objeto dos cenários. Se se quiser indicar para onde vamos, precisamos saber onde estamos.
- b) Quais novas fontes de energia elétrica poderão estar disponíveis no futuro? O futuro é diferente do presente e do passado, portanto, buscar-se-ão identificar tendências e incertezas no contexto estudado.
- c) Quais as características, aspectos tecnológicos, sociais e ambientais das fontes de energia que estão e que poderão estar disponíveis no futuro? Isto é, quais são as incertezas e variáveis centrais do futuro incerto?

2. Referencial Teórico

O Brasil teve a lenha como sua principal fonte de energia primária por mais de 450 anos. Com o desenvolvimento econômico e social, a lenha como fonte de energia primária foi ultrapassada pelo petróleo nos anos 80 do século XX e pela energia hidráulica nos anos 90 do século XX (Brasil, 2007). Como o Brasil possui ampla variedade de fontes energéticas (Santos, 2013), optou-se nessa pesquisa pela utilização da taxonomia de Oliveira (1978, p. 201) que descreve que a energia utilizada no mundo é originária, principalmente: a) da energia solar; b) da energia gravitacional; c) da energia nuclear.

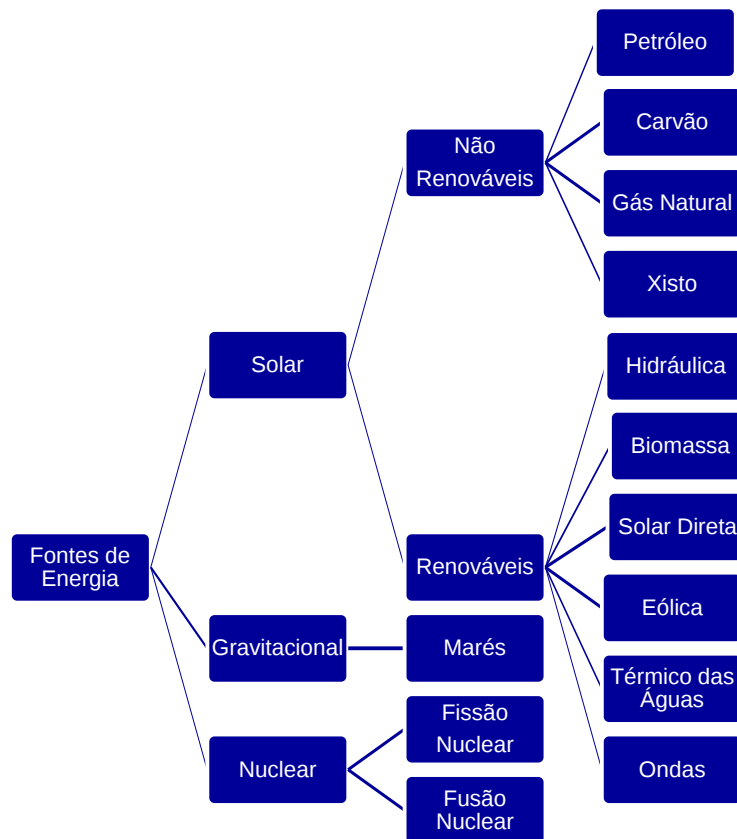


Figura 2. Fontes de energia

Fonte: Oliveira (1978, p. 201), construção do autor.

Como indicado na Figura 2, da energia solar derivam as seguintes formas de energia primária Oliveira (1978, p. 201):

Não renováveis:

- Petróleo.
- Carvão mineral.
- Gás natural.
- Xisto.

Renováveis:

- Recursos hidráulicos.
- Energia da biomassa.
- Energia solar direta.
- Energia eólica.
- Energia do gradiente térmico de oceanos e rios.
- Energia das ondas.

Entre as fontes de energia existentes elencadas por Oliveira (1978), foi utilizado o critério de relevância na matriz elétrica brasileira. Com esse critério, duas exclusões foram feitas: (i) a energia do gradiente térmico de oceanos e rios e (ii) o xisto, devido à inexpressividade dessas duas fontes na matriz elétrica brasileira atual.

Para a questão de quais novas fontes energéticas possíveis, o critério de probabilidade de existência ou alto impacto na matriz energética atual foi considerado determinante. Sendo elencados:

- a) O próprio xisto como nova fonte, em função da alta probabilidade de relevância no cenário energético nacional futuro devido aos recentes desenvolvimentos tecnológicos internacionais;
- b) a fissão nuclear, em função do seu alto impacto.

2.1 Fontes Existentes

Durante a trajetória de ascensão do petróleo e da energia elétrica nos anos 80 e 90 do século XX, o setor energético e o setor elétrico passaram por profundas modificações. Nesse período, as tarifas e investimentos em eletricidade tiveram significativa queda, comprometendo a proporção de recursos destinada aos novos investimentos, que caiu de 71% em 1974 para 54% em 1980, 40% em 1985 e 29% em 1988. O pagamento do serviço da dívida consumia dois terços dos recursos gerados no setor elétrico no final da década de 80 do século XX (Araújo & Oliveira, 2005).

Para enfrentar essa situação, ao longo da década de 90 do século XX o setor elétrico passou por sucessivas reformas, movido em linhas gerais pelas seguintes forças motrizes (Brasil, 2007):

- a) Desenvolver um mercado competitivo nos setores onde fosse possível;
- b) assegurar a expansão do sistema para que este pudesse acompanhar o crescimento do país;
- c) ampliar o uso do gás natural da matriz energética brasileira;
- d) estimular a universalização dos serviços de energia;
- e) garantir qualidade dos serviços de energia;
- f) aumentar a eficiência e a qualidade na prestação dos serviços de energia.

A reestruturação do setor criou as agências reguladoras, políticas de desregulamentação com ênfase no livre acesso às redes de transporte e promoveu a abertura desse setor a novas empresas, estimulando a desverticalização e privatizando, principalmente, as distribuidoras (Brasil, 2007).

No entanto, as reformas não alcançaram o objetivo de atrair os investimentos necessários em geração de energia elétrica e o subinvestimento culminou com racionamento de energia elétrica no início de 2001 (Brasil, 2007).

A partir de 2004, o planejamento estatal determinativo foi implementado e foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Nesse contexto de retomada do planejamento de longo prazo, foi editado pelo Ministério das Minas e Energia (MME), em colaboração com a própria EPE, o Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007). Nas próprias palavras do documento: “tem como objetivo o planejamento de longo prazo no setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas” (Brasil, 2007, p. 6).

O planejamento estatal do que vai acontecer não basta para construir os cenários de quais fontes de energia elétrica poderão ser utilizadas para abastecer o crescimento econômico e desenvolvimento social brasileiro no longo prazo. Existe longa distância entre o planejado e o efetivamente realizável. Como o setor elétrico é altamente regulado e o planejamento estatal, mesmo que não seja um ótimo preditor do futuro, tem relevante influência, serão utilizadas aqui algumas definições do Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007), bem como de autores da área.

O Plano Nacional de Energia 2030 tem como objetivo o planejamento de longo prazo no setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas. É composto de uma série de estudos que buscam fornecer insumos para a formulação de políticas energéticas segundo uma perspectiva integrada dos recursos disponíveis (Brasil, 2007). Esses estudos estão divididos em 11 cadernos temáticos. Os cadernos três a oito tratam de fontes de geração de energia elétrica. Essas fontes são: energia hidráulica (também conhecida com hidrelétrica), termoelétrica de petróleo e derivados, termoelétrica a carvão mineral, termoelétrica a gás natural,

termoelétrica de biomassa, eólica, solar heliotérmico, solar fotovoltaico, energia das marés e correntes marinhas, energia das ondas e geotérmico.

A energia hidrelétrica é produzida a partir do aproveitamento do potencial hidráulico de um curso d'água, combinando a utilização da vazão do rio, quantidade de água disponível em determinado período de tempo, com os seus desníveis, sejam os naturalmente formados, como as quedas d'água, sejam os criados com a construção de barragens (Brasil, 2007). A potência hidráulica disponível em determinado local de um rio é dada pelo produto da vazão, a altura existente entre o reservatório, a montante e o sistema de descarga, a jusante da barragem e a aceleração da gravidade (Souza, 1999).

Em última instância, a energia hidráulica provém da irradiação solar e da energia potencial gravitacional. O sol e a força da gravidade condicionam a evaporação, a condensação e a precipitação da água sobre a superfície da Terra. A gravidade faz a água se concentrar no leito do rio que contém energia cinética que pode ser convertida em energia mecânica e esta em energia elétrica nas centrais hidrelétricas (Tolmasquim, 2005).

No Brasil, diversos estudos sistemáticos de investigação de potencial hidrelétrico foram feitos, refeitos e atualizados. O primeiro grande estudo remonta à década de 60 do século XX. Trata-se das pesquisas da CANAMBRA, sigla pela qual foi identificado e ficou nacionalmente conhecido o consórcio de consultores canadenses, norte-americanos e brasileiros que desenvolveu investigação do potencial hidrelétrico das regiões Sudeste e Centro-Oeste e, posteriormente, Sul (Ferreira, Araújo & Couto, 2013). Conforme o *Final Report of the Power Study of South Central Brazil*, foi possível identificar um potencial hidrelétrico de 30.000 MW. Em 1993, a Centrais Elétricas Brasileiras S/A. (ELETROBRÁS) divulgou o Plano 2015 (Brasil, 2007), estimando o potencial de geração hídrica no Brasil em 260 mil MW.

O Brasil tem amplo potencial hidroelétrico e faz parte do grupo de países em que a maior parte da produção de energia elétrica vem de usinas hidroelétricas (Bronzatti & Iarozinsk, 2008).

Usinas ou centrais termelétricas são plantas industriais baseadas na conversão de energia térmica em energia mecânica e desta em energia elétrica. As usinas termelétricas a vapor são aquelas que utilizam a combustão externa para gerar energia elétrica. Assim, podem utilizar diversos tipos de combustíveis, como: carvão, gás natural, óleo combustível, óleo diesel e biomassa (lenha, bagaço de cana, lixo, etc.). O processo consiste no aquecimento de um fluido que se expande e realiza trabalho rodando eixos nas turbinas térmicas. Por esses eixos é acionado mecanicamente um gerador elétrico acoplado, obtendo-se, assim, a energia elétrica (Tolmasquim, 2005).

As usinas ou centrais termelétricas também podem utilizar turbinas a gás, que são máquinas motrizes de combustão interna, onde o ar atmosférico é misturado com o combustível, resultando em gases com alta temperatura que acionam o compressor e a turbina para gerar a energia elétrica (Corrêa, 2001). Os principais fatores sugeridos por Pinhel (2000), que favoreceram a construção de usinas térmicas, são: o curto prazo de amortização dos investimentos que essas usinas demandam em relação às usinas hidráulicas (não têm custo de capital com barragens e reservatórios), o custo de capital mais baixo e o baixo risco para o setor privado.

O principal combustível das termelétricas no mundo é o carvão mineral, que nada mais é que uma mistura de hidrocarbonetos formada pela decomposição de matéria orgânica durante milhões de anos, sob determinadas condições de pressão e temperatura.

No Brasil, as tecnologias de geração termelétrica a gás natural podem ser divididas em três grupos: a) usinas de ciclo simples; b) usinas de ciclo combinado; c) usinas de cogeração. Usinas de ciclo simples utilizam a combustão interna para a geração de energia

elétrica. Usinas de ciclo combinado acoplam sistemas térmicos a vapor e turbinas a gás. Usinas de cogeração fazem a produção combinada de energia eletromecânica e calor, compatibilizando a geração de energia elétrica com outros processos industriais sinérgicos (Tolmasquim, 2005).

Usinas de geração termoelétrica também podem usar biomassa como combustível. Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia (Brasil, 2007). Embora Walter (1997) considere a produção de eletricidade a partir da biomassa ainda restrita - apesar de ter sido o primeiro vetor energético empregado pelo homem -, a biomassa está entre as fontes renováveis com mais possibilidades em termos de diversidade, origem, tecnologia de conversão e produtos energéticos (Brasil, 2007).

Pode-se observar na Figura 3 como é extensa a variedade de fontes, que vão desde os resíduos agrícolas, industriais e urbanos até as culturas dedicadas ao cultivo de vegetais que serão utilizados exclusivamente como biomassa, com grande quantidade de tecnologias para os processos de conversão, incluindo desde a simples combustão para obtenção da energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos complexos para obtenção de combustíveis líquidos e gasosos (Brasil, 2007).

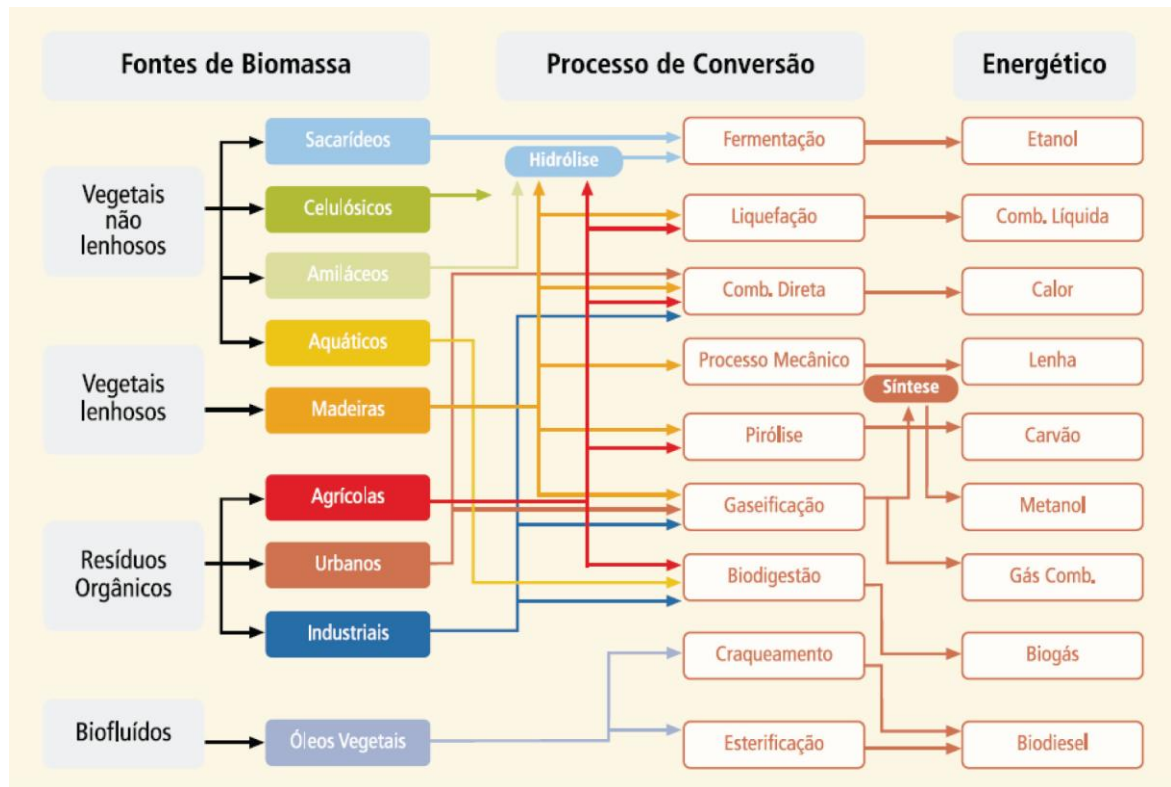


Figura 3. Fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos

Fonte: Brasil. MME. Ministério das Minas e Energia (2007). Plano Nacional de Energia 2030. Elaborado pelo Ministério de Minas e Energia com a colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF: MME EPE.

Uma fonte de biomassa relevante no país é a cana-de-açúcar, que desde o período colonial é a cultura mais amplamente desenvolvida. O setor sucroalcooleiro figura entre as mais tradicionais e antigas indústrias não extrativas de manipulação e processamento da biomassa no Brasil. Da produção de bagaço de cana-de-açúcar se obtém uma biomassa sustentável que apresenta balanço praticamente nulo de emissões de dióxido de carbono (CO_2), pois as emissões resultantes da queima do bagaço são absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento (Brasil, 2007).

A geração de energia elétrica também pode se dar pela energia radioativa dos combustíveis radioativos. Neste caso, o processo é baseado na fissão nuclear, sendo as usinas e centrais denominadas usinas nucleares (Tolmasquim, 2005).

O início do uso da energia nuclear foi marcado pelo evento bélico de 1945, o que ainda repercute na aceitação geral da sociedade por esse aproveitamento. Os acidentes com o reator em Chernobil, em 1986, e Fukushima, em 2011, também contribuíram para reforçar esse estigma. Todavia, é uma alternativa de geração de energia elétrica sem emissão de gases de efeito estufa (Deutch, J., Moniz, E., Ansolabehere, S., Driscoll, M., Gray, P., Holdren, J., & Todreas, N., 2003).

Três características principais são utilizadas para classificar os reatores nucleares: combustível, refrigerante e moderador. O combustível deve conter um elemento físsil, isto é, que se divida espontaneamente emitindo partículas subatômicas (como o nêutron) e grande quantidade de energia. O refrigerante é o fluido que transfere o calor de reator, direta ou indiretamente, através de um trocador de calor para a turbina geradora de eletricidade. O moderador fica no núcleo do reator e tem como função controlar o fluxo de nêutrons para maximizar a proporção de energia (Tolmasquim, 2005).

Reatores nucleares que utilizam água leve comum para moderação e refrigeração e urânio enriquecido como combustível constituem cerca de 90% da capacidade nuclear em operação no mundo e aproximadamente 85% da capacidade em construção (Brasil, 2007).

Usinas de geração eólicas são plantas que utilizam a força dos ventos para geração de energia elétrica. Da mesma forma que a água move o rotor da usina hidrelétrica, o vento move o rotor das usinas eólicas. Denomina-se energia eólica o aproveitamento da energia cinética contida nas massas de ar em movimento que ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação do ar em energia cinética de rotação de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores ou cata-ventos (Brasil, 2007). A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. A quantidade de energia transferida é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás e da velocidade do vento (Silva, 2006). Com as dimensões continentais e áreas de

adequada velocidade do vento, o Brasil é um país de grande potencial eólico (Bronzatti & Iarozinsk, 2008).

Usinas e centrais de geração de energia solar captam irradiação solar e transformam em energia elétrica. A geração solar pode ser classificada como heliotérmica, fotovoltaica e solar térmica (Brasil, 2007).

A energia solar heliotérmica é a conversão de irradiação solar em calor para geração de energia elétrica. Existem tecnologias heliotérmicas utilizando cilindro parabólico, torre central e disco parabólico. Em todas essas tecnologias existem quatro itens básicos: coletor, receptor, armazenamento, transporte e conversão. Os coletores concentram a irradiação usando refletores ou lentes com sistema de rastreamento em um receptor, onde a energia solar é absorvida como calor e convertida em eletricidade ou incorporada como energia química. Cada uma das tecnologias é caracterizada pelo formato da superfície refletora onde a luz solar é coletada e concentrada (Brasil, 2007).

A tecnologia fotovoltaica utiliza pelo menos duas camadas de material semicondutor adaptado para liberar elétrons, as partículas negativamente carregadas que formam a base da eletricidade. O material semicondutor mais comum é o silício. Uma camada de semicondutor é positiva e a outra negativamente carregada. Quando a luz do sol atinge o semicondutor, o campo elétrico entre a junção das duas camadas inicia um fluxo de energia, gerando corrente contínua (Brasil, 2007). Apesar de não precisar do brilho do sol para operar, numa usina fotovoltaica quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de eletricidade.

Diferentemente das células fotovoltaicas, a solar térmica é usada para gerar calor, não somente para aquecimento de água no uso doméstico ou em piscinas, mas também para secagem ou aquecimento industrial (Brasil, 2007).

Desde o século VIII o homem utiliza o movimento das marés para realizar trabalho em moinhos de grãos. O moinho Eling Tide Mill, construído em 1086 na Inglaterra, ainda se encontra em operação.

Diversas técnicas de geração de energia elétrica com a força das marés têm sido experimentadas. Os projetos e equipamentos de geração são bastante semelhantes aos utilizados nos aproveitamentos eólicos. A forma mais tradicional é por meio do barramento de braços de mar, cujas diferenças do nível d'água entre as marés alta e baixa consecutivas proporcionam altura de queda suficiente para o acionamento de turbinas (Brasil, 2007).

A geração de energia elétrica também pode ser feita pela acumulação de água na maré alta e devolução ao mar durante a maré vazante, aproveitando o volume acumulado e a altura das águas na barragem para produzir energia elétrica. Esse tipo de usina é conhecido por maremotriz (Brasil, 2007).

2.2 Novas Fronteiras

Nos próximos subitens abordam-se a energia com gás de xisto e a fusão nuclear.

a) Gás de xisto

As referências iniciais de estudos sobre a eletricidade na Europa (e em tempos mais remotos na China e Oriente Médio) não tiram dos Estados Unidos da América (EUA) a posição de centro inovador no universo da eletricidade (Bodanis, 2008). Para compreensão do impacto recente do gás de xisto, convém detalhar o que está acontecendo nos EUA em relação ao impacto desse energético nas fontes potenciais de geração de energia elétrica, uma vez que aquele país foi sede da gênese das aplicações práticas da eletricidade ao longo dos séculos IX e XX - o telégrafo, o telefone e, posteriormente, a iluminação e força motriz³.

Em termos de política energética, os EUA historicamente buscaram alcançar três objetivos principais: a) garantir o abastecimento; b) viabilizar a indústria petrolífera americana a partir da ampliação das reservas e manutenção da produção nacional americana, que, naturalmente, só ocorre se o preço do petróleo estiver acima do custo de produção em território americano; c) garantir o acesso das empresas americanas às reservas fora do país (Fiori, Medeiros & Serrano, 2008; Parboni, 1981; Rutledge, 2006; Serrano, 2004).

³ John Heilbron (1979, p. 169) esclarece que: “apesar do conhecimento das capacidades eletromagnéticas de atração do âmbar na Antiguidade, foi o trabalho principal de Gilbert Style, ‘*On the Magnet*’, publicado em Londres em 1600, que antecipou e inspirou os melhores trabalhos sobre eletricidade no século XVII”. Afirma ainda John Heilbron (1979, p. 175) que “os historiadores reconhecem no trabalho de Gilbert sobre pedra-ímã (*lodestone*) a diferenciação do efeito âmbar do magnetismo essencialmente o primeiro passo na história da eletricidade”. Enquanto o âmbar quando atritado atrai corpos leves pelo efeito elétrico trazido pelo atrito, a atração dos ímãs naturais sobre pedaços de ferro são efeitos magnéticos. Gilbert é considerado por muitos como sendo o Pai da Eletricidade.

Com os dois choques do petróleo da década de 1970, que coincidiu com o declínio da produção de óleo e gás natural dos EUA, a prioridade daquele país passou a ser o apoio ao desenvolvimento de novas fronteiras energéticas (Parboni, 1981; Yergin, 2011).

Entre essas novas fronteiras está a exploração do gás de xisto. Oliveira (1978) já citava o gás de xisto como uma das fontes de energia não renováveis derivadas da energia solar, junto com o petróleo, carvão mineral e gás natural⁴.

Em 1978, informa Oliveira (1978), as únicas explorações industriais do xisto marcantes eram na Estônia e na Manchúria, além de empreendimentos de dimensões mais reduzidas na Espanha, Alemanha Ocidental, África do Sul e Suécia.

A exploração do xisto esteve sempre ligada à exploração do petróleo, sendo o primeiro substituído pelo segundo em função da facilidade econômica deste (Pereira & Feichas, 1978). A primeira unidade de produção comercial de gás natural nos EUA foi em 1821 (Curtis, 2002).

Esse cenário de protagonismo secundário está mudando para esse combustível fóssil. Na última década, a exploração de óleo e gás de xisto tem apresentado crescimento vertiginoso nos EUA, em função do desenvolvimento de técnicas de perfuração horizontal e fraturamento hidráulico, que tornaram essa fonte energética economicamente possível (Baker Institute, 2011). O crescimento em termos de exploração de gás de xisto foi em torno de 45% a.a. entre 2005 e 2010 (Lage, Processi, Souza, Dores & Galoppi, 2013).

⁴ Mesquita (1978) alerta para o uso incorreto do termo xisto betuminoso. Em suas palavras, “a designação de xisto betuminoso é dada, vulgarmente, a certas rochas sedimentares que contêm, disseminado pela sua parte mineral, um composto orgânico de composição bastante variável, que, sob a ação do calor, se decompõe em gás e óleo, ambos ricos em hidrocarbonetos encontrados no petróleo natural, permanecendo na rocha um resíduo carbonoso. É imprópria, para essas rochas, a designação de xisto, porquanto este nome está classicamente reservado a tipos determinados de rochas de origem metamórfica. Não cabe, tampouco, a designação de betuminoso, uma vez que o composto orgânico a que fizemos referência não tem características de betume: este último, na realidade, só é produzido mediante a pirólise daquele composto, chamado comumente de querogênio. Mas a força da tradição é enorme. Embora sabendo ser duplamente inadequada a designação, já que o material não é betuminoso e nem mesmo é xisto, os próprios técnicos e estudiosos continuam a chamar tais rochas de xisto betuminoso em vez de a elas se referirem como folhelhos pirobetuminosos, que seria o mais correto” (Mesquita, 1978, p. 1).

Essas novas técnicas e escalas de produção vêm reduzindo muito o preço do gás natural americano, o que faz com que aquele país seja a região de mais avanço na exploração, no desenvolvimento e na produção de reservas não convencionais de gás. Lage *et al.* (2013) e Mesquita (1978) referem que desde o século XIX existem no Brasil diversos empreendimentos visando ao aproveitamento industrial do xisto betuminoso. Em 1884, foi montada uma usina para processamento do xisto de Maraú, com o objetivo de produzir óleos iluminantes, ácido sulfúrico e parafinas. Pouco antes, em 1881, um cidadão britânico, Charles Normaton, passou à Companhia de Gás e Óleo de Taubaté a concessão que lhe fora outorgada para produzir gás iluminante e outros derivados a partir do xisto do Vale do Paraíba.

No Brasil, as reservas de gás de xisto não convencionais já mapeadas são consideradas significativas e com boas perspectivas de desenvolvimento (Lage *et al.*, 2013; Matai, & Santos, 2010). O Brasil é o décimo colocado no *ranking* mundial de gás de xisto tecnicamente recuperável. As principais reservas de gás de xisto estão localizadas na China, Estados Unidos, Argentina e México.

Lage *et al.* (2013) acreditam que a perspectiva de significativo incremento da produção de gás de xisto no Brasil se apresenta como uma oportunidade para a indústria brasileira. A entrada de novos *players* e o aumento da oferta de gás nacional (convencional ou não convencional), com a ampliação da infraestrutura de transporte, poderiam viabilizar redução do preço do gás natural no mercado brasileiro, contribuindo para a recuperação da competitividade dos setores que utilizam gás como matéria-prima.

Entre esses setores está o de geração de energia elétrica, em que usinas a gás de xisto no Brasil não têm presença na matriz elétrica. Também nos EUA, a situação do abastecimento de gás natural aumentou as possibilidades de substituição para o gás natural

nos setores de transporte, de energia elétrica, indústria, edifícios e transporte (Brasil, 2011a; Paltsev, Jacoby, Reilly, Ejaz, Morris, O'Sullivan & Kragha, 2011).

b) Fusão nuclear

Como bem definem Cerconi, Melquiades & Tominaga (2010, p. 11):

Energia nuclear consiste no uso controlado das reações nucleares para a obtenção de energia. Tais núcleos, quando sofrem essa modificação, liberam uma quantidade expressiva de energia. Nos reatores nucleares, essa energia é aproveitada para gerar calor e na sequência energia elétrica pela movimentação de turbogeradores.

A reação nuclear gera calor, que é usado para acionar uma turbina a vapor. Ferguson & Reed (2010, p. 54) bem resumem que energia nuclear nada é além de uma outra maneira de ferver água (ou outro fluido de trabalho) para fazer uma turbina a vapor funcionar.

Não é necessário discutir os detalhes técnicos da energia atômica, mas é preciso distinguir a diferença entre fissão e fusão nuclear. A tecnologia atual das usinas termonucleares é de fissão nuclear. A fissão nuclear é o processo de dividir um átomo a partir da introdução de um nêutron no núcleo do átomo, criando, assim, dois átomos mais leves e produzindo calor (Bennet & Thomson, 1989). A fissão nuclear é o processo usado comercialmente nas usinas nucleares para gerar calor e com esse calor mover turbinas a vapor que transformam essa energia em eletricidade.

Desde a sua descoberta, a fissão nuclear sempre foi um campo ativo de pesquisa, tanto em relação ao desafio puramente teórico quanto às suas aplicações práticas (Goriely, Hilaire, Koning, Bauswein & Janka, 2013).

O processo de fissão nuclear para produzir energia elétrica tem dois perigos, no entender de Ferguson & Reed (2010). O primeiro é que a fissão nuclear cria dejetos

radioativos. A radioatividade nociva desses dejetos pode durar de fração de segundos a bilhões de anos. O segundo é o risco de um acidente nuclear, que pode dispersar materiais radioativos no meio ambiente.

A grande vantagem da fissão nuclear é a potência alcançada com uma massa mínima de combustível. No processo de fissão nuclear, com 27 toneladas de urânio não processado é possível acionar um reator nuclear a 1.000 MW por todo um ano. Em contraste, numa central elétrica a carvão, para gerar a mesma quantidade de energia elétrica, seriam necessários mais de dois milhões e meio de toneladas de carvão (*World Nuclear Association*, 2014).

Já a fusão nuclear é o processo de produção de energia a partir do núcleo de um átomo que ocorre naturalmente no interior do Sol e das estrelas. As estrelas transmutam o hidrogênio e o hélio em outros elementos mais pesados a partir da fusão nuclear (Milani, Stunges, Stelato & Quintili, 2013). A fusão é “um processo de produção de energia a partir do núcleo de um átomo, onde dois elementos leves se combinam para formar um átomo mais pesado” (Murray, 2004, p. 73). Esse processo ocorre naturalmente dentro das estrelas, produzindo energia e formando novos elementos químicos (Clayton, 1968; Kaufmann & Freedman, 1998).

Adrados (2004) informa que a fusão nuclear é o processo pelo qual os núcleos de átomos leves (como hidrogênio) se combinam para formarem núcleos de átomos mais pesados, gerando imensas quantidades de energia nas estrelas. Na Terra há grandes quantidades de elementos leves (como o hidrogênio e lítio) que poderiam ser usados para produzir energia por meio de fusão nuclear. No entanto, as condições para a reação nuclear de fusão, com altíssimas temperaturas e pressões, são muito difíceis de conseguir na Terra. O estudo de como conseguir essas reações de maneira controlada e de forma que possa ser

utilizada para a produção de energia começou sistematicamente no final dos anos 50 do século XX.

A tecnologia de fusão nuclear controlada existente hoje ainda é experimental e não comercial, como prelecionam Rocha e Delfino (2013). A proposta tecnológica para promover essa fusão é bombardear o núcleo de hidrogênio com poderosos *light amplification by stimulated emission of radiation* (LASERS) até atingir a temperatura necessária. Só que a matéria com essa temperatura elevada, em estado de plasma, derrete tudo e, por isso, o plasma deve ser aprisionado em campos magnéticos poderosos. Existem muitos problemas técnicos a serem resolvidos e muitos materiais a serem desenvolvidos para tornar isso possível. Na França já existe uma máquina chamada “tokamak” (que custou mais de 12 bilhões de dólares), que é o primeiro protótipo grande de fusão termonuclear, feito inicialmente pela Rússia (Rocha e Delfino, 2013; Tavares, 2013).

O tokamak⁵ foi o dispositivo que até agora conseguiu os melhores resultados no campo da fusão nuclear controlada (Sheffield, 1994). Esse dispositivo foi proposto por Tamm & Sakharov em 1951 (Sakharov & Tamm, 1961). Como a fusão atualmente somente é obtida em altíssimas temperaturas (na ordem de 100 milhões de graus Celsius), o tokamak é um dispositivo que permite o confinamento magnético do combustível em estado de plasma sem contato com a própria câmara de confinamento. Os campos magnéticos são obtidos por bobinas que geram o magnetismo e confinam o plasma em determinada posição flutuando no vácuo.

Os tokamaks experimentais existentes não alcançaram o nível de produtividade no qual gerem mais energia do que gastam no processo. Rocha e Delfino (2013) informam

⁵ Tokamak é o acrônimo do russo “*TO*roidal*naya KA*mera i *MA*gnit*naya KA*tushka” (Adrado, 2004). Equivalente em português à câmara toroidal com bobinas magnéticas (tradução do autor). Toroidal é o adjetivo relativo a toro.

que a perspectiva é de, no mínimo, 30 a 50 anos para o desenvolvimento comercial da fusão nuclear.

Mesmo não tendo como avaliar os riscos e dejetos de um processo industrial da fusão nuclear, pois esse processo ainda não existe, algumas vantagens no campo teórico reforçam o desejo de seu desenvolvimento. Além da possibilidade teórica de inexistência de dejetos radioativos, a fusão é, conforme Tavares (2013, p. 45), “cerca de oito vezes mais eficaz do que a fissão”.

Ainda de acordo com Tavares (2013, p. 44), “as descobertas da fissão e da fusão nuclear aconteceram quase simultaneamente”. A fissão nuclear foi descoberta em Berlim, em dezembro de 1938, quando os químicos alemães Otto Hahn e Fritz Strassman apresentaram as evidências químicas para a fissão de núcleos de urânio e tório quando bombardeados por nêutrons. Também na segunda metade de 1938 foram anunciadas independentemente e simultaneamente pelo físico alemão-norte-americano Hans Bethe e o físico alemão Carl F. Von Weizsacker as relações de fusão termonuclear de núcleos leves para explicar a produção de energia nas estrelas. Ambos os fenômenos nucleares (a fissão de núcleos pesados e a fusão de núcleos leves) tiveram suas características físicas e propriedades estabelecidas praticamente no mesmo período, até setembro de 1939.

O esforço de guerra durante a Segunda Guerra Mundial fez nascer o que foi o maior empreendimento científico-tecnológico-inovador que a humanidade já desenvolveu: o Projeto Manhattan, onde mais de 100 mil pessoas foram mobilizadas por três anos e consumiram perto de 30 bilhões de dólares em valores atuais (Tavares 2013). Ainda nas palavras desse autor:

Embora a energia proveniente de fissão dos núcleos atômicos tivesse sido obtida pela primeira vez de forma controlada, as circunstâncias da guerra fizeram com que ela fosse utilizada de maneira totalmente descontrolada, com finalidade bélica nas

primeiras três⁶ explosões nucleares do final da Segunda Guerra, em 1945 (Tavares, 2013, p. 46).

A gênese bélica da tecnologia nuclear teve duas consequências para essa fonte de energia. A primeira, o fato de a energia nuclear ter sido associada, no senso comum, a bombas nucleares. O aço pode ser utilizado para fazer fuzis de guerra ou enxadas, tratores e colheitadeiras ou tanques de guerra. Como a energia nuclear, o aço teve sua gênese na guerra, mas tem aplicação muito mais ampla na construção do bem-estar humano. A mesma questão é abordada por Tavares (2013, p. 61) nos seguintes termos: “A energia liberada nas transformações nucleares já trouxe muito mais conforto, saúde e bem-estar à sociedade do que morte e destruição. Não há, pois, por que rejeitá-la”.

O ponto da rejeição nuclear é uma consequência dessa percepção “bélica” da energia nuclear. Veiga (2011, p. 1) reporta que a tragédia de Fukushima Daiichi aumentou a desconfiança pública em relação à energia nuclear para geração de eletricidade. No Japão, o percentual dos que se declararam contrários às centrais nucleares subiu de 28 para 47%. Na França, a rejeição passou de 31 para 41% após o acidente; na Alemanha, de 64 para 72%; na Índia, de 17 para 35%; na China, de 16 para 30%; e no Brasil, de 49 para 54%.

Um ponto interessante: quando outros acidentes industriais ocorrem, o debate no âmbito social discute como se evitem novos acidentes. Quando um avião cai, a indústria aeronáutica não é rejeitada. A discussão é o que deve ser mudado para aquela espécie de acidente não ocorrer novamente. Quando uma barragem se rompe, não se discute o fim da hidroeletricidade. Nesses casos, a discussão é sobre o que esses acidentes têm a ensinar para que nunca mais voltem a acontecer.

⁶ Além dos famosos ataques de 6 de agosto sobre a cidade de Hiroshima e 9 de agosto a Nagasáki, uma terceira bomba nuclear foi detonada no deserto de Alamogordo (Novo México, EUA) em 16 de julho. Foi o chamado “Teste *Trinity*” (Tavares, 2013).

A segunda consequência desse contexto de corrida armamentista do início do desenvolvimento da tecnologia nuclear, primeiro com a Alemanha Nazista, que depois se provou estar distante de um desenvolvimento nuclear bélico efetivo, e depois com a Rússia, foi que o massivo esforço do Projeto Manhattan priorizou a fissão nuclear. Uma vez atingido o objetivo do desenvolvimento para uso bélico, a mudança do paradigma da fissão nuclear para a fusão nuclear não conseguiu mobilizar os mesmos recursos e esforços do Projeto Manhattan.

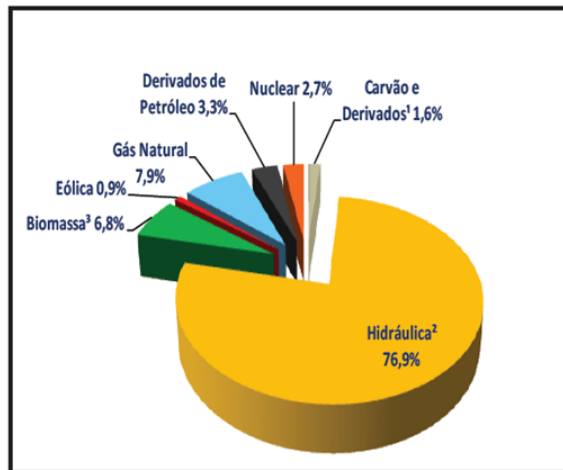
Enquanto o desenvolvimento tecnológico não entregar a possibilidade de geração de energia limpa e praticamente infinita que a fusão nuclear promete, como aludem Ferguson & Reed (2010), a decisão de desenvolver um programa nuclear carrega consigo a responsabilidade de proteger a vida humana e toda a biosfera da radiação resultante por milhares de anos da fissão nuclear. Mas como enfatiza Tavares (2013): “Assim como o homem primitivo aprendeu a lidar com o fogo, o homem da atualidade não deve medir esforços para dominar com segurança o bom uso da energia nuclear, ‘o fogo dos deuses’”.

2.3 Situação Atual

Como se pode observar pelo espectro diversificado de fontes de energia elétrica descritos acima, existem vários tipos de geração de eletricidade. Um aspecto relevante é o impacto sócio ambiental das escolhas de matriz elétrica de um país. Tolmasquim muito bem ressalta que o Brasil é atualmente citado como referência internacional quanto à renovabilidade de sua matriz energética e de produção de energia elétrica. A Figura 4 mostra a importância das fontes hidráulicas na produção de energia elétrica no país.

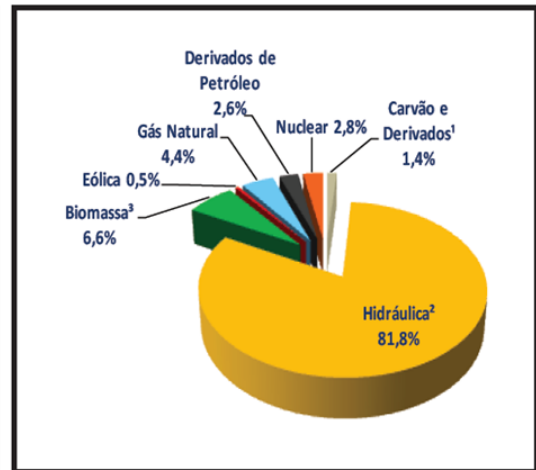
Matriz Elétrica Brasileira

Brasil (2012)



geração hidrúlica² em 2012: 455,6 TWh
geração total² em 2012: 592,8 TWh

Brasil (2011)



geração hidrúlica² em 2011: 464,2 TWh
geração total² em 2011: 567,7 TWh

Figura 4. Matriz Elétrica Brasileira 2012 2013

Na Figura 4, Carvão e Derivados inclui gás de coqueria, hidrúlica inclui importação e biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética. (2013a), p.p. 31. BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ: EPE.

A concentração de energia hidrúlica, reforçada pela energia vinda de fontes eólicas e biomassa, deixa o Brasil numa situação muito favorável em termos de quociente de renovabilidade da matriz elétrica em relação ao resto do mundo, como pode ser observado na Figura 5. Mostrando claramente que o país tem optado por fontes renováveis energia para atendimento do consumo elétrico nacional.

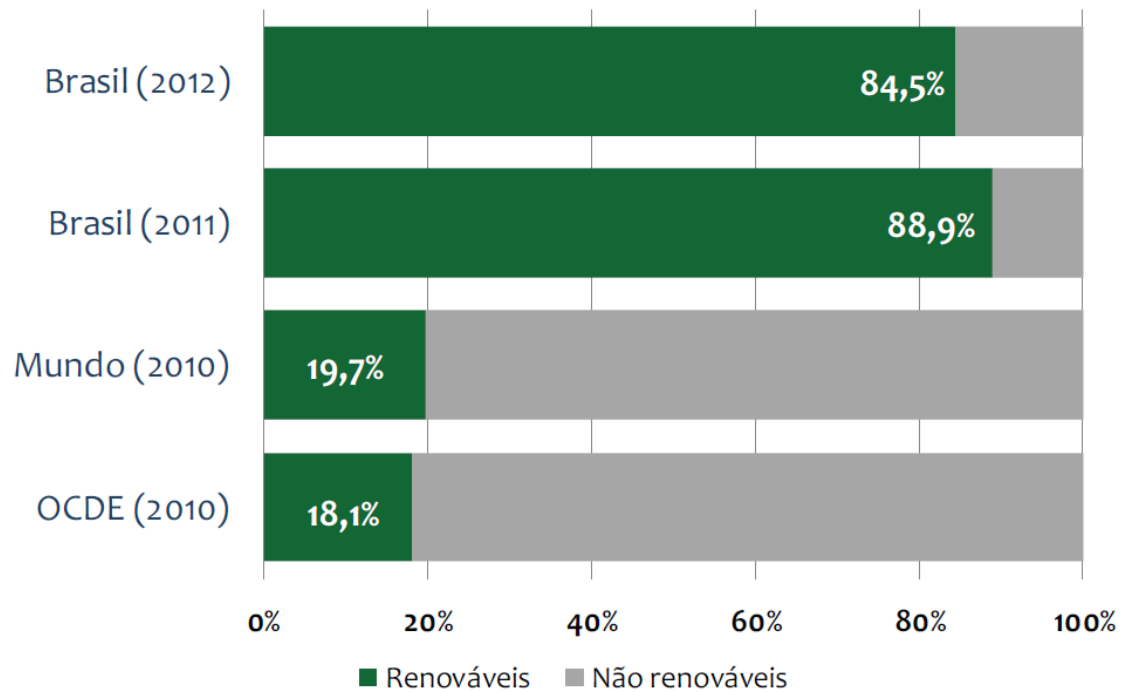


Figura 5. Matriz Elétrica Brasileira 2012 2013

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética. (2013a), p.p. 32. BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ: EPE.

3. Métodos de Pesquisa

O trabalho utilizou a técnica de cenários. Cenários são conjuntos de futuros estruturalmente diferentes, mas logicamente plausíveis (Heijden, 1996). São futuros arquétipos tão possíveis quanto outros diversos. A adequação deste estudo a essa técnica baseia-se no fato de que o futuro ou não é determinístico ou, se for, não pode ser predito com precisão (Alves, 2000). Buscam-se entender os caminhos que o setor de geração de energia elétrica pode percorrer. Não há como afirmar definitivamente o que acontecerá. Não se pode deterministicamente afirmar que o passado se repetirá ou se se desenvolverá num sentido definitivamente conhecido. Para compreender a dinâmica do crescimento e desenvolvimento das fontes de energia elétrica que poderão ser utilizadas para abastecer o crescimento econômico e desenvolvimento social brasileiro no longo prazo, será construído um conjunto de cenários possíveis que auxiliarão na compreensão dessa questão de pesquisa.

Nenhum desses cenários possíveis estará, ou pelo menos não se espera que esteja, totalmente correto, mas espera-se, sim, que a análise de cada uma dessas possibilidades conduza à melhor compreensão do foco do estudo e suas implicações.

A técnica de cenários permite uma visão mais ampla do que as demais técnicas de estudo, pois em vez de tentar prever um único futuro ela se concentra em tentar obter um conjunto de possibilidades (Ringland, 1998). Ao tentar obter esse conjunto de possibilidades, a análise de cenário mostra possíveis sequências de acontecimentos que permitem antecipar as ações e as decisões para colocar o ator da análise em uma posição mais vantajosa no futuro.

O próprio Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007) considera a técnica de cenários como a técnica adequada para escolhas estratégicas de longo prazo num ambiente

de incertezas. O Plano Nacional de Energia 2030 define a elaboração de cenários como “avaliação dos possíveis futuros e das trajetórias associadas, com o fim precípua de fundamentar a definição e a escolha das estratégias mais apropriadas diante de diferentes alternativas” (Brasil, 2007, p. 161).

Paro (2013) relata que a técnica de cenários é encorajada pela Reos, instituição internacional voltada para desafios sociais complexos por meio de processos *multistakeholder*, que trabalha muito com Organizações da Sociedade Civil (OSC) e governos. Paro (2013) acrescenta que cenários são narrativas de futuros possíveis, não são previsões. Os cenários mostram desafios e possibilidades, pois esse método permite que algumas questões sejam discutidas:

- a) Quais sinais são percebidos como indícios de que um dos cenários está se materializando?
- b) Que oportunidades e ameaças eu enfrento em cada um desses cenários? Quais as oportunidades e ameaças para minha organização? E para o país?
- c) O que posso fazer para me preparar para esses cenários? O que posso fazer para influenciar esses futuros? Que desafios e escolhas eu encaro, olhando para esses futuros possíveis?
- d) O que estou enxergando agora que não enxergava antes?
- e) Qual o meu próximo passo? Qual o próximo passo de ação coletiva da instituição, rede, movimento ou comunidade de que faço parte?

Veiga (2011, p. 7) reforça esse entendimento ao afirmar que “existe uma vasta literatura voltada para a previsão das energias que serão mais decisivas no processo de substituição das fósseis. Mas nenhuma das apostas nela contidas consegue ser persuasiva”. Não consegue ser persuasiva, pois a direção em que a matriz energética vai se desenvolver é função de resultados no campo técnico, econômico, ambiental e político, sendo a técnica de cenários a mais adequada para análise da complexidade da interação desses múltiplos fatores.

4. Cenários

Tolmasquim (2012, p. 249) menciona que o Brasil é atualmente citado como:

Referência internacional na produção de petróleo em águas profundas, na produção de etanol, no seu parque de geração hidrelétrica, no exponencial aproveitamento da energia eólica, no seu extenso e integrado sistema de transmissão de energia elétrica e, especialmente, na renovabilidade de sua matriz, tanto energética quanto de produção de energia elétrica.

Não resta dúvida quanto ao fato de esses objetivos terem sido alcançados no passado, o que nos insere na situação presente. Porém, as condições econômicas, sociais e institucionais não são as mesmas das que permitiram expandir a matriz energética nos padrões de renovabilidade do passado.

Atualmente, existe um modelo institucional do setor elétrico brasileiro que busca atingir três objetivos centrais⁷: modicidade tarifária, segurança energética e universalização (Landi, 2006, p. 151). Segurança energética é assegurar a expansão da geração de energia elétrica para atender às necessidades da expansão de consumo. (Tolmasquim, 2011). A essa definição de segurança energética Dhenin (2010; 2011) chama de *soft security*, pois está relacionado aos aspectos que interessam nesta pesquisa. Esse conceito se contrapõe ao de *hard security*, relacionado à proteção de território e fontes de matérias-primas. A

⁷ Apesar da Resolução CNPE número 5 (Brasil, 2003), que aprovou as diretrizes básicas para a implementação do modelo institucional do setor elétrico, em seu artigo primeiro sugerir oito princípios, somente três são centrais. Os oito princípios aprovados pela Resolução CNPE número 5 são:

- I - Prevalência do conceito de serviço público para a produção e distribuição de energia elétrica aos consumidores cativos;
- II - Modicidade tarifária;
- III - Restauração do planejamento da expansão do sistema;
- IV - Transparência no processo de licitação permitindo a contestação pública, por técnica e preço, das obras a serem licitadas;
- V - Mitigação dos riscos sistêmicos;
- VI - Manter a operação coordenada e centralizada necessária e inerente ao sistema hidrotérmico brasileiro;
- VII - Universalização do acesso e do uso dos serviços de eletricidade; e
- VIII - Modificação no processo de licitação da concessão do serviço público de geração priorizando a menor tarifa.

modicidade visa a assegurar que o custo da energia elétrica seja módico, isso é, que o custo não impacte de forma relevante as famílias e empresas. O terceiro objetivo é a universalização da energia elétrica em todo o território nacional. Apesar de serem perfeitamente legítimos, os três objetivos são por naturezas conflitantes. A modicidade tem como vetor reduzir o custo com a energia elétrica. A segurança e a universalização têm como vetores incrementos de investimentos que precisam ser remunerados pela tarifa de quem consome energia elétrica. Investimentos em novas usinas e fontes de energia elétrica são fundamentais para a segurança energética e investimentos em transmissão e distribuição para alcançar os rincões do país são necessários à universalização.

Da mesma forma que para Porter (1992) nenhuma questão é suficiente por si só para orientar a escolha da estratégia competitiva de uma empresa, nenhum dos três objetivos centrais é suficiente para a escolha estratégica do planejamento institucional do setor elétrico brasileiro. Para equilibrar esses objetivos conflitantes, o arranjo institucional do setor elétrico conta com uma série de agentes com funções específicas, como bem resume Landi (2006, p. 145) na Tabela 1.

Tabela 1

Principais Agentes e suas Funções

AGENTES	FUNÇÕES
Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Homologação da política energética, em articulação com as demais políticas públicas.
Ministério de Minas e Energia (MME)	Formulação de políticas para o setor energético; implementação dessas políticas energéticas; e exercício do poder concedente.
Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	Mediação, regulação e fiscalização do funcionamento do sistema elétrico, envolvendo o cumprimento das normas do marco regulatório em geral e das obrigações dispostas nos atos de outorga (contratos de concessão, autorização ou permissão) dos serviços de geração, transmissão e distribuição.
Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	Execução dos estudos de planejamento energético.
Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)	Contabilização e liquidação de diferenças contratuais no curto prazo; e administração dos contratos de compra de energia para atendimento aos consumidores regulados.
Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)	Operação integrada e centralizada do sistema elétrico interligado; e administração da contratação das instalações de transmissão.
Operador dos Sistemas Elétricos Isolados (OSI)	Coordenação da operação dos sistemas elétricos isolados.
Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)	Monitoramento das condições de atendimento, no horizonte de cinco anos, com o objetivo de assegurar a implementação de providências com vistas a garantir a normalidade do suprimento de energia elétrica (coordenação do MME, com apoio da EPE, CCEE, da ANEEL e do ONS).
Centrais Elétricas Brasileiras S/A. (ELETROBRÁS)	Financiamento, em caráter suplementar, da expansão do setor elétrico; exercício da função de <i>holding</i> das empresas estatais federais; administração de encargos e fundos setoriais; comercialização da energia de Itaipu e de fontes alternativas contempladas pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA); e coordenação do OSI

Fonte: Landi, M. (2006). *Energia elétrica e políticas públicas: a experiência do setor elétrico brasileiro no período de 1934 a 2005*. (Tese de Doutorado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, USP, São Paulo, SP, Brasil [pp 145-146].

Landi (2006, p.p. 145-146) descreve a formulação da estratégia de expansão do setor elétrico partindo das diretrizes do CNPE, das projeções e metas do MME, sendo realizado um planejamento global materializado pela EPE a em dois planos:

- a) Plano Nacional de Energia (PNE), cobrindo horizontes não inferiores a 20 anos;

- b) Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), cobrindo horizonte não inferior a 10 anos.

Com base na taxonomia de Mintzberg, Ahlstrand e Lampel (2007), pode-se claramente identificar um alinhamento com o ponto de vista da Escola de Planejamento para essa visão hierarquizada de definição de premissas, planejamento, implantação e revisão. O próprio PDE 2021 (Empresa de Pesquisa Energética, 2013b) se qualifica como: “os planos decenais elaborados no setor elétrico, tradicionalmente, apresentaram-se como um dos principais instrumentos de planejamento da expansão eletroenergética do país”.

Para responder quais fontes de energia elétrica poderão ser utilizadas para abastecer o crescimento econômico e desenvolvimento social brasileiro no longo prazo, apresentam-se quatro cenários possíveis. Parte-se de um cenário verde no qual a expansão de geração elétrica seguirá a racionalidade objetiva do planejamento estatal conduzido pelos agentes da Tabela 1, como um processo estruturado e formalizado pela Escola do Planejamento. Seguindo as críticas de Mintzberg *et al.* (2007) à Escola do Planejamento, que consiste nas três falácias: da predeterminação, do desligamento e da formalização, constroem-se os cenários cinza, preto e azul, com a discussão de impactos possíveis no desenvolvimento da matriz energética brasileira.

4.1 Cenário verde

Cenário verde: a pressão popular por fontes renováveis e o desenvolvimento tecnológico e de escala das fontes solar e eólica levam a uma expansão baseada fortemente em fontes renováveis. Nesse cenário, o poder do Estado e a articulação dos investidores em energia elétrica conseguem vencer as resistências protoambientais de defesa da Amazônia e grandes projetos de geração de energia hidroelétrica podem ir adiante, como indicado no planejamento de longo prazo do Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007).

No cenário verde, “o Estado brasileiro consegue implementar sua estratégia, exercendo as funções de planejamento determinativo para o setor público e indicativo para o setor privado” (Empresa Pesquisa Energética, 2013b, p. 6). Tanto o aspecto técnico quanto o aspecto político das políticas públicas presentes no planejamento, como ressaltam Pimentel e Lima (2013), conseguem fazer a capacidade instalada crescer na direção planejada.

A Tabela 2 mostra a geração elétrica brasileira, por fonte, em 2012 e a projeção para 2030.

Tabela 2

Cenário Verde Geração em TWh

	ano 2012	ano 2030
Hidrelétrica	455,6	823,9
Gás natural	46,8	147,3
Nuclear fissão	16,0	22,8
Eólicas	5,3	113,8
Cogeração & biomassa	40,0	89,8
Carvão e derivados	9,5	0,0
Derivados de petróleo	19,6	0,0
Gás de xisto	0,0	0,0
Nuclear fusão	0,0	0,0
TOTAL	592,8	1.197,60
População (milhões de habitantes)	194,7	239

No total está incluída importação. Hidrelétrica são centrais de serviço público, incluindo autoprodução transportada (geração hidrelétrica de autoprodutores despachada centralizadamente).

Para melhor refletir o indicado pelos agentes de planejamento do setor elétrico, os dados de 2012 refletem os valores do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013a). O total do consumo de 2030 reflete o que consta para esse ano no Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007). Para melhor refletir o crescimento de cada tipo de geração de energia elétrica, o crescimento de cada fonte indicado no PDE 2022 foi extrapolado para 2030, utilizando-se o mesmo percentual sobre o total da demanda do valor previsto em 2022 em 2030.

Fonte: Adaptado de (i) Empresa de Pesquisa Energética. (2013a). BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ: EPE; (ii) Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2007). Plano Nacional de Energia 2030. Elaborado com a colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF: MME/EPE; e (iii) Empresa de Pesquisa Energética. (2013b). Plano Decenal de Expansão de Energia 2022.

Tolmasquim (2012) é confiante nesse cenário, mostrado na Figura 6, ao afirmar que entre 2016 e 2020 deverão ser viabilizados em torno de 19 GW em projetos hidrelétricos. Desse total, 15,5 GW, ou seja, 82% estarão situados na região Norte do país. Merece destaque a hidrelétrica de São Luiz do Tapajós, com capacidade instalada da ordem de 7 GW. Outro grande destaque do Brasil é a energia eólica, que vem apresentando significativa redução de custo ao longo dos últimos anos. Em 2005, a preços atualizados, ela apenas se viabilizava a 300 R\$/MWh. Nos últimos leilões de energia, realizados em agosto e dezembro de 2011, a energia eólica foi comprada pelo preço médio de 99

R\$/MWh e 105 R\$/MWh, respectivamente, um terço do valor de referência de seis anos antes. Com isso, o mercado de geração de energia eólica tem surpreendido. Até 2004, a capacidade instalada era inferior a 30 MW. Em 2016, considerando apenas as usinas já contratadas, existirão instalados pouco mais de 8 GW. Fabricantes mundiais de aerogeradores têm vindo se instalar no país (Tolmasquim, 2012). A capacidade de produção de turbinas eólicas cresce ano a ano. Segundo o *Balanço Energético Nacional* (BEM) (EPE, 2013a), a participação da geração eólica na matriz elétrica brasileira subiu de 0,5% em 2011 para 0,9% em 2012.

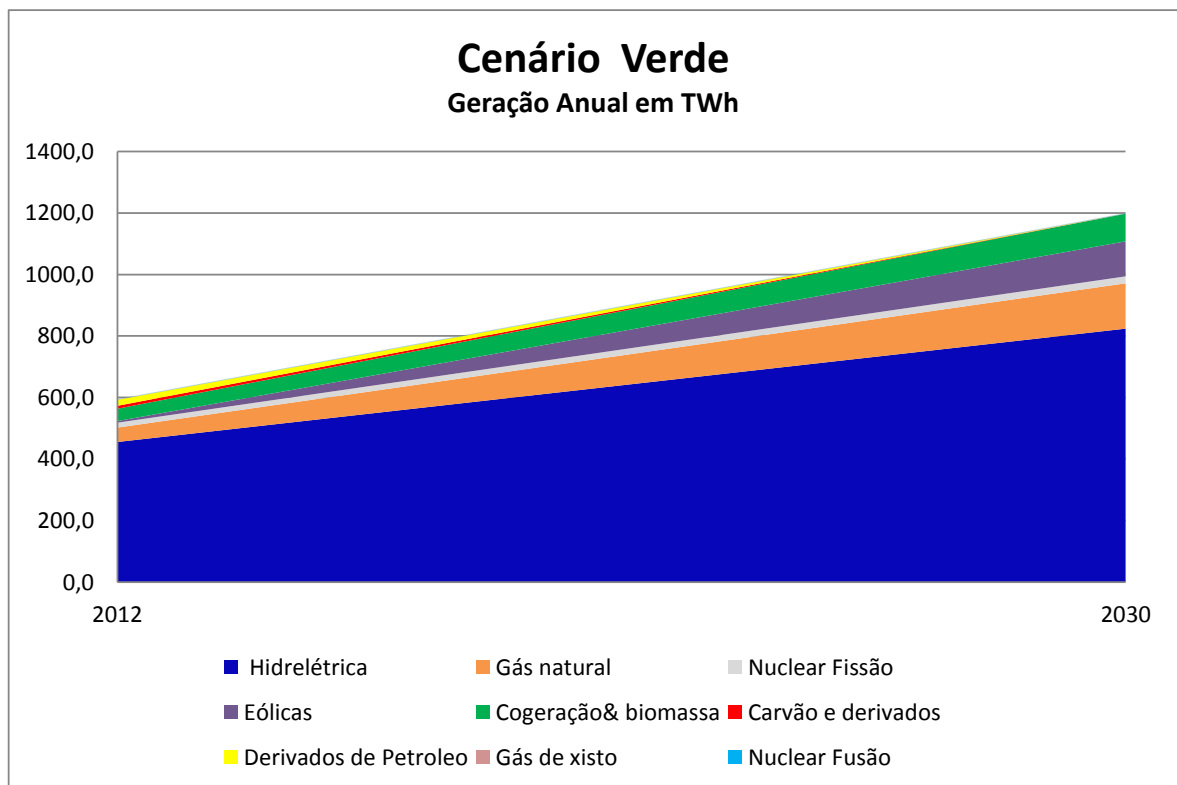


Figura 6. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário verde.

De fato, o PDE 2022 (EPE 2013b, p.p. 99 e 100) prevê que a geração eólica será destaque, aumentando para 9,5% de participação na matriz elétrica brasileira em 2022. Com isso, a fatia de fontes renováveis se manterá acima de 85% em 2022. A capacidade

instalada de geração nos países deve crescer de 119 GW (dezembro de 2012) para 183 GW (dezembro de 2022), com a priorização das fontes renováveis (hidráulica, eólica e biomassa). A participação das hidrelétricas cairá de 71 para 65%, apesar do aumento absoluto de 34 GW. A participação da geração de outras fontes renováveis, como a de usinas eólicas, de térmicas à biomassa e de PCH, deve subir quase oito pontos percentuais.

4.2 Cenário cinza

Acseirad (2010), Porto, Finamore e Ferreira (2013), Vainer (2007) e Zhouri e Oliveira, (2007) levantam controvérsias em relação aos impactos das usinas hidrelétrica, questionando que o desenvolvimento local e nacional, a partir da geração de empregos e da expansão da rede elétrica, é um discurso pró-hidreletricidade que busca tirar a evidência dos impactos negativos dessas usinas. Compartilham com movimentos sociais - como Movimento de Atingidos por Barragens (MAB) e o Movimento Xingu Vivo - o entendimento de que as barragens são geradoras de injustiça ambiental. Nem fontes eólicas são livres desse tipo de controvérsia. Meireles (2011) afirma que “as usinas eólicas estão promovendo profundos impactos ambientais negativos ao longo do litoral nordestino”, mesmo reconhecendo que a energia eólica é importante para reduzir as emissões de poluentes como as emissões de dióxido de carbono e poluentes com a utilização de carvão mineral e outros combustíveis fósseis.

Esses entendimentos estão longe de serem isolados. Ao mesmo tempo, o Estado necessita atrair capital e gestão privados para a expansão da capacidade de geração de energia elétrica. Após o racionamento decretado pelo governo federal em 2001 e 2002, o novo modelo institucional implementado no setor elétrico instituiu uma modalidade de concessão que incentivava a participação do capital privado na expansão da geração de energia elétrica (Ribeiro, 2008). Essa necessidade de atração de capital privado coloca em contato dois mecanismos de ação e pensamento diferentes: os do Estado e os da iniciativa privada. São mecanismos com lógicas de funcionamento diferentes, como diz Przeworski (1995), e que tendem a buscar resultados alocativos e distributivos também diferentes, sendo esperada uma tensão permanente entre o mercado e o Estado.

A existência do constante contraditório e diferença de opinião é uma característica do processo democrático que instrumentaliza essa tensão numa direção produtiva.

No campo da discussão do planejamento energético, principalmente no tocante às aprovações de construção de empreendimentos de geração de energia elétrica, existe um processo dialético de decisões e aprovações com a presença de vários agentes. No Brasil, duas características são marcantes nesse processo: a pluralidade e a precariedade. A pluralidade se apresenta a partir da participação de vários órgãos de Estado, além da concorrência de empreendedores privados ou de economia mista. Os empreendimentos são aprovados pela EPE, ANEEL, MME, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e/ou órgãos ambientais estaduais, Instituto Chico Mendes, Tribunal de Contas da União (TCU), Agência Nacional de Água (ANA), Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e algumas vezes precisam de deliberações legislativas estaduais e/ou federais.

A precariedade emerge da desconsideração desse complexo sistema de estudo, aprovações e deliberações por parte de algumas partes do próprio governo brasileiro e de movimentos sociais. Órgãos como o Ministério Público e o Poder Judiciário constantemente questionam a legitimidade, legalidade e aprovações dos órgãos competentes, paralisando obras e imputando elevados custos e riscos aos empreendedores e à sociedade brasileira como um todo. Movimentos sociais como MAB e Movimento Xingu Vivo desrespeitam o devido processo legal decisório e de aprovação de empreendimentos e utilizam força para impor seus pontos de vista, invadindo obras, quebrando canteiros e impedindo acesso aos empreendimentos, ocasionando, igualmente, também altos custos e riscos aos empreendedores e à sociedade brasileira.

Descartes (2010, p. 69) ensina, como primeiro princípio para o conhecimento humano, que “para examinar a verdade é necessário, uma vez na vida, colocar todas as coisas em dúvida, o mais que se puder”. Essa visão é praticada constantemente por esses agentes de contestação. Mas o próprio Descartes (2010, p. 70), no terceiro princípio, diz que “questões da vida prática não devem ser tratadas com eterna dúvida, pois pereceria a oportunidade de fazer, antes que pudéssemos nos livrar de todas as dúvidas”. Nas suas próprias palavras: “depois de feita a escolha, a sigamos com firmeza”. Essa falta de firmeza sobre o que já foi estudado, debatido, deliberado e aprovado, somado à própria complexidade e lentidão desse processo, é o que cria o cenário cinza.

Um exemplo da complexidade e lentidão das aprovações, que nada mais é do que o processo decisório formal pelo governo brasileiro de quais serão as fontes de geração de energia elétrica que atenderão às necessidades futuras da população, é exposto pela análise combinada do texto de Magalhães (1978) e Ribeiro (2008).

Magalhães (1978) informa que a construção da usina hidroelétrica de Itapebi no rio Jequitinhonha, na divisa dos estados da Bahia e Minas Gerais, teve os estudos de viabilidade desenvolvidos por Furnas Centrais Elétricas S.A. (FURNAS) e tinha, pelos motivos indicados a seguir, o caráter estratégico.

O aproveitamento Salto da Divisa/Itapebi era um projeto estratégico que permitiria interligar os sistemas elétricos das regiões Sudeste e Nordeste, garantindo o suprimento aos projetos industriais que estavam se estabelecendo na região, na época supridos apenas por uma fonte de energia hidráulica proveniente do rio São Francisco. Além disto, deveria agir como elemento de dinamização da economia de uma das regiões mais pobres do país, o Vale do Jequitinhonha, no estado de Minas Gerais (Magalhães, 1978).

Ribeiro (2008), por sua vez, informa que a contratação da construção da Usina Hidrelétrica de Itapebi só foi realizada em 1998, 20 anos após Magalhães (1978) ter

indicado o caráter estratégico desse empreendimento e o estudo de viabilidade ter sido desenvolvido por Furnas.

Processos de aprovação lentos e constantemente questionados também possuem exemplos em andamento. Um caso emblemático é o da Usina de Belo Monte. Belo Monte é um complexo hidrelétrico ainda em construção, localizado nos municípios de Altamira, Anapu, Brasil Novo, Senador José Porfírio e Vitória do Xingu no sudoeste do Pará, numa parte do rio Xingu conhecido como Volta Grande do Xingu (Fearnside, 2010, Zarpelon & Grisotti, 2013).

A história de Belo Monte começou em 1970, (Mello, 2013). De acordo com Zarpelon e Grisotti (2013), Belo Monte começou com o impulso desenvolvimentista do governo militar, que pregava o crescimento da industrialização no país. Mesmo tendo um reservatório pequeno em relação à sua capacidade de geração (Fearnside, 2006), o leilão de outorga somente ocorreu em 2010 (Tolmasquim, 2012). Foi um processo decisório social de 25 anos. Mesmo assim, de acordo com Bermann (2013, p. 97), “desde maio/2001 até junho/2013, o Ministério Público Federal, através da Procuradoria Pública no Pará, entrou com 13 Ações Cíveis Públicas (ACPs), além de duas ações por improbidade, para paralisar as obras da usina de Belo Monte”. Liminares paralisando a obra foram concedidas e, posteriormente, suspensas por determinação de juízes, em várias instâncias. Órgãos do governo brasileiro e as empresas envolvidas na construção da obra entravam com apelações constantes para não parar a obra (Bermann, 2013). Moretto, Gomes, Roquetti & Jordão. (2012) afirmam que é possível que os mesmos desafios que envolvem a Usina Hidrelétrica de Belo Monte sejam intensificados em outras usinas previstas pelo Plano Decenal de Energia Elétrica, especialmente na Amazônia.

No cenário cinza, existem restrições ambientais para fontes de energia hidroelétrica e eólica renovável; e restrições tecnológicas e econômicas não favorecem o desenvolvimento

de fontes solar e de biomassa. Restrições protoambientais não permitem o desenvolvimento de grandes usinas na Amazônia, levando a um distanciamento da matriz hidráulica brasileira do que é previsto no Plano Decenal de Expansão de Energia 2020, diluindo ano a ano a participação de fontes renováveis a partir da implementação de fontes de maior impacto ambiental, mas menos impacto social direto, como usinas térmicas a gás, a gás de xisto e carvão.

Tabela 3

Cenário Cinza Geração em TWh

	ano 2012	ano 2030
Hidrelétrica	455,6	455,6
Gás natural	46,8	147,3
Nuclear fissão	16,0	16,0
Eólicas	5,3	113,8
Cogeração & biomassa	40,0	89,8
Carvão e derivados	9,5	200,0
Derivados de petróleo	19,6	175,1
Gás de xisto	0,0	0,0
Nuclear fusão	0,0	0,0
TOTAL	592,8	1.197,60
População (milhões de habitantes)	194,7	239

No total está incluída importação. Hidrelétrica são centrais de serviço público, incluindo autoprodução transportada (geração hidrelétrica de autoprodutores despachada centralizadamente).

Para melhor refletir o indicado pelos agentes de planejamento do setor elétrico, os dados de 2012 refletem os valores do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013a). O total do consumo de 2030 reflete o que consta para esse ano no Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007). Para melhor refletir o crescimento de cada tipo de geração de energia elétrica, o crescimento de cada fonte indicado no PDE 2022 foi extrapolado para 2030, utilizando-se o mesmo percentual sobre o total da demanda do valor previsto em 2022 em 2030.

Fonte: Adaptado de (i) Empresa de Pesquisa Energética. (2013a). BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ: EPE; (ii) Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2007). Plano Nacional de Energia 2030. Elaborado com a colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF: MME:EPE; e (iii) Empresa de Pesquisa Energética. (2013b). Plano Decenal de Expansão de Energia 2022.

Na Figura 7 pode-se observar a estagnação de novas fontes de energia hidrelétrica e nuclear, crescimento abaixo do esperado em energia eólica e biomassa, compensado pelo crescimento de fontes de mais emissão de CO₂.

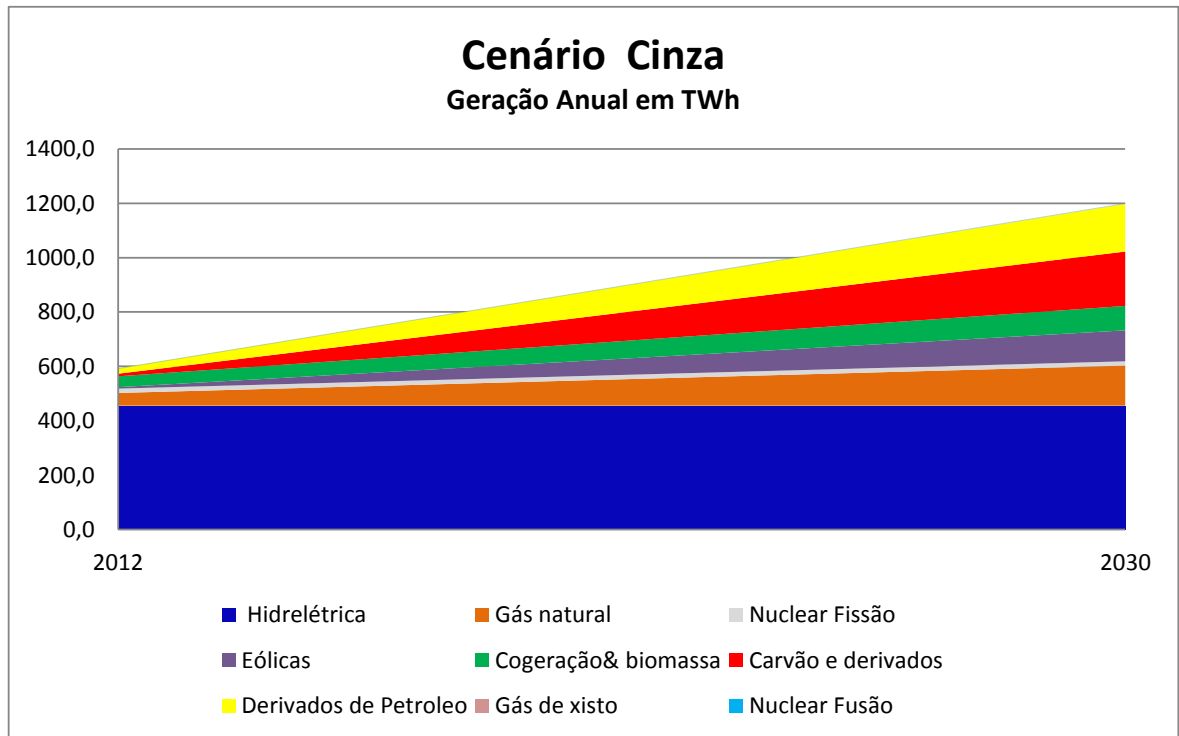


Figura 7. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário cinza.

Nesse cenário, a desarticulação dos agentes não permite alcançar a implantação de fontes mais racionais, conforme o planejado. Mas estratégias contingenciais permitem compensar com outros empreendimentos, sem prejudicar o fornecimento necessário. O custo social se apresenta em três frentes:

- a) Mais impacto nas emissões de poluentes como as emissões de dióxido de carbono devido à utilização de combustíveis fósseis;
- b) custo econômico mais elevado em função do não aproveitamento do potencial hidroelétrico de baixo custo da Amazônia;
- c) não desenvolvimento do domínio da tecnologia nuclear que prepararia o país para um eventual e provável ciclo dessa energia, quando as demais fontes se esgotarem.

4.3 Cenário preto

No cenário preto existe um descompasso entre os agentes de planejamento energéticos e as aspirações econômicas de investidores e atores sociais do entorno dos empreendimentos. Esse descompasso pode surgir de dificuldades de articulação entre os diversos órgãos de governo que participam do processo decisório *latu sensu* (aquele que inclui não só o planejamento energético, mas todas as aprovações ambientais e sociais dos empreendimentos). Mas também pode surgir de acentuada divergência da percepção de risco e exigências de retorno por parte dos investidores privados, sem a correspondente capacidade financeira efetiva de empreendedores estatais e paraestatais de substituir o investimento privado. A existência de litígios é um dos motivos de as empresas aumentarem a necessidade de caixa em determinado período (Vasques, 2008). Com maior necessidade de caixa mobilizado para fazer frente às incertezas do empreendimento, maior o ganho necessário para remunerar esse capital.

Esses descompassos ocasionariam significativa diferença entre oferta e demanda de energia e o Brasil teria o crescimento da demanda energética elétrica restrita por uma oferta não crescente. Nesse cenário, a economia e o desenvolvimento social seriam impactados por constantes blecautes e racionamentos.

Maquiavel (2010, p.p. 41-42) ensina que todos compreendem que é louvável o príncipe manter a palavra e viver com integridade, mas que o “príncipe prudente não pode nem deve guardar a palavra dada quando torne prejudicial e quando as causas que o determinaram cessem de existir”. Processos populistas podem construir contextos políticos que levem o “príncipe” do momento a empenhar sua palavra nas soluções energéticas de longo prazo, mas seja levado a não “guardar a palavra” quando interesses eleitoreiros de

curto prazo se impuserem, como congelamentos de tarifas, subsídios e mudanças unilaterais de contratos (ou bilaterais forçados).

Tabela 4

Cenário Preto Geração em TWh

	ano 2012	ano 2030
Hidrelétrica	455,6	455,6
Gás natural	46,8	46,8
Nuclear fissão	16,0	16,0
Eólicas	5,3	113,8
Cogeração & biomassa	40,0	89,8
Carvão e derivados	9,5	9,5
Derivados de petróleo	19,6	19,6
Gás de xisto	0,0	0,0
DEMANDA REPRIMIDA	0,0	446,5
TOTAL	592,8	1.197,60
População (milhões de habitantes)	194,7	239

No total está incluída importação. Hidrelétrica são centrais de serviço público, incluindo autoprodução transportada (geração hidrelétrica de autoprodutores despachada centralizadamente).

Para melhor refletir o indicado pelos agentes de planejamento do setor elétrico, os dados de 2012 refletem os valores do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013a). O total do consumo de 2030 reflete o que consta para esse ano no Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007). Para melhor refletir o crescimento de cada tipo de geração de energia elétrica, o crescimento de cada fonte indicado no PDE 2022 foi extrapolado para 2030, utilizando-se o mesmo percentual sobre o total da demanda do valor previsto em 2022 em 2030.

Fonte: Adaptado de (i) Empresa de Pesquisa Energética. (2013a). BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ: EPE; (ii) Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2007). Plano Nacional de Energia 2030. Elaborado com a colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF: MME/EPE; e (iii) Empresa de Pesquisa Energética. (2013b). Plano Decenal de Expansão de Energia 2022.

Conceitos de cor são ancorados em experiências humanas universais e essas universalidades podem ser identificadas (Wierzbicka, 1990). Seguindo essa linha, foi escolhida a cor preta para esse cenário, por conduzir à falta de luz, mas também a experiências humanas negativas, ao escuro, ao difícil. Mesmo sendo um cenário bastante negativo, ele é possível.

Goethe & Eastlake (1840, p.p. 6-7) acreditam quando imagens pretas e brancas do mesmo tamanho são analisadas, tem-se a ilusão de que as pretas parecem menores que as

brancas. Da mesma forma, Kepler (1980) afirma que a ilusão de que os objetos claros são menores, ou existe na retina, causado pela visão, ou nos espíritos, causada pela impressão.

Pedrosa (2009, p. 62) considera Goethe o pesquisador que mais exerce influência sobre os intelectuais e artistas contemporâneos no tocante à utilização estética dos princípios cromáticos. Já que escolhemos as cores para indicar os cenários, a ilusão que Goethe descreve serve de alerta para não se iludir de que a possibilidade de ocorrência do cenário preto é menor do que outros.

No cenário preto, o gráfico de área de crescimento anual da geração é acrescido de uma linha indicada como consumo reprimido, que representa aquela parcela de energia necessária ao desenvolvimento social e econômico, mas não atendida. Como a energia é essencial para o desenvolvimento (Goldemberg, 2000), sem esse consumo os desenvolvimentos sociais e econômicos ficam diretamente afetados.

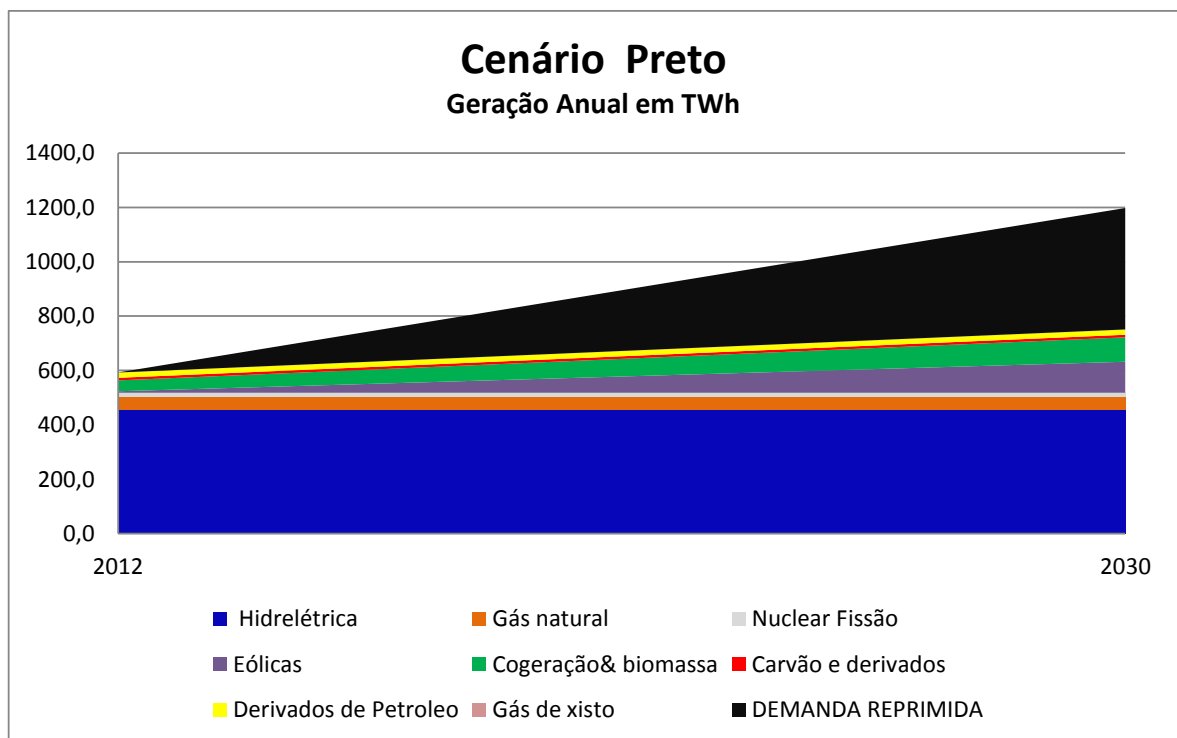


Figura 8. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário preto.

4.4 Cenário azul

Energia, água e ar são essenciais aos seres e civilizações humanas. No começo do desenvolvimento humano, os três eram considerados bens não econômicos, isto é, abundantes o suficiente para não serem valorados (Goldemberg & Lucon, 2007). Com o desenvolvimento das cidades, esses bens passaram a ter cada vez mais valor. Para exemplificar como esses elementos essenciais se tornam escassos com o desenvolvimento, Goldemberg e Lucon (2007) citam o alto valor do ar numa eventual base humana na Lua. Esse processo é contínuo. O crescimento do consumo energético mundial é de 2% a.a., sendo de 1% nos países desenvolvidos e 4% nos em desenvolvimento (Goldemberg, 2000).

Mesmos considerando que na perpetuidade o consumo mundial de energia cresça a taxas de países desenvolvidos, pode-se ver na Figura 9 que o consumo dobra em 70 anos e multiplica por 20 em 300 anos (o que é excessivamente conservador para as próximas décadas; até o consumo *per capita* mundial alcançar o consumo dos países desenvolvidos, as taxas de crescimento do consumo devem ser mais altas, o que eleva a base desta projeção).

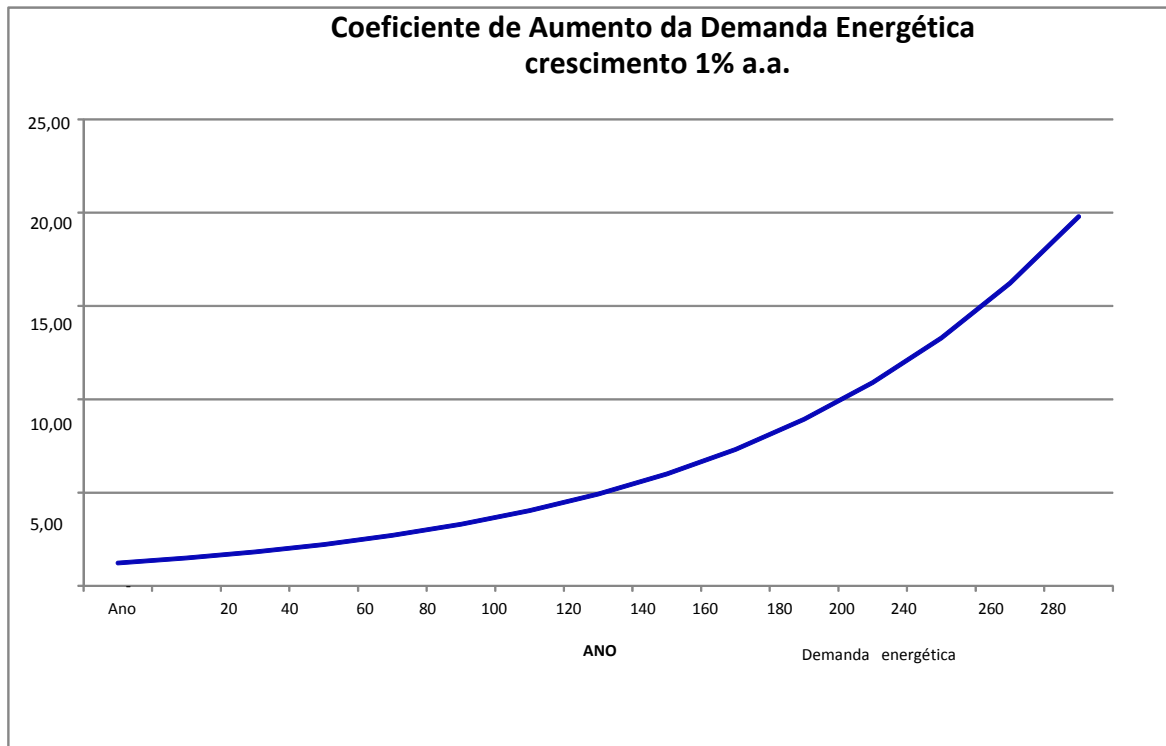


Figura 9. Coeficiente de aumento da demanda energética.

As projeções de consumo futuro de energia dependem criticamente do tipo de desenvolvimento e crescimento econômico que será experimentado (Goldemberg, 2000). As possibilidades de eficiência energética são muito relevantes. Mas até as fontes renováveis têm seus limites quando considerado um crescimento de longo prazo.

A descoberta e o desenvolvimento de novas fontes de energia não são apenas uma oportunidade, mas também uma necessidade no médio e longo prazo⁸.

A fusão nuclear é um candidato a ser uma dessas novas tecnologias, por já ocorrer livremente na natureza e ter os seus aspectos teóricos vislumbrados. No cenário azul encontra-se o desenvolvimento da fusão nuclear que modificaria completamente o cenário tecnológico e transformaria as discussões econômicas e ambientais das atuais fontes

⁸ Knobel (2003) relata que a revista *Science* publicou um artigo de um grupo americano que afirmava ter iniciado a fusão nuclear em um béquer de solvente orgânico. Após uma série de tentativas da comunidade científica de replicar o experimento, ele foi considerado fraudulento e a publicação retirada da revista.

irrelevantes. Novas questões como custo da propriedade intelectual e remuneração dos detentores dessas tecnologias passariam a ser os pontos relevantes de discussão.

Tabela 5

Cenário Azul Geração em TWh

	ano 2012	ano 2030
Hidrelétrica	455,6	455,6
Gás natural	46,8	46,8
Nuclear fissão	16,0	0,0
Eólicas	5,3	113,8
Cogeração & biomassa	40,0	89,8
Carvão e derivados	9,5	0,0
Derivados de petróleo	19,6	0,0
Gás de xisto	0,0	0,0
Nuclear fusão	0,0	691,6
TOTAL	592,8	1.397,62
População (milhões de habitantes)	194,7	239

No total está incluída importação. Hidrelétrica são centrais de serviço público, incluindo autoprodução transportada (geração hidrelétrica de autoprodutores despachada centralizadamente).

Para melhor refletir o indicado pelos agentes de planejamento do setor elétrico, os dados de 2012 refletem os valores do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013a). O total do consumo de 2030 reflete o que consta para esse ano no Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007). Para melhor refletir o crescimento de cada tipo de geração de energia elétrica, o crescimento de cada fonte indicado no PDE 2022 foi extrapolado para 2030, utilizando-se o mesmo percentual sobre o total da demanda do valor previsto em 2022 em 2030.

Fonte: Adaptado de (i) Empresa de Pesquisa Energética. (2013a). BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ; EPE; (ii) Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2007). Plano Nacional de Energia 2030. Elaborado com a colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF: MME:EPE; e (iii) Empresa de Pesquisa Energética. (2013b). Plano Decenal de Expansão de Energia 2022.

Sem conhecer os aspectos técnicos do processo fabril não é possível fazer considerações das externalidades desse novo tipo de energia. Para efeito da construção desse cenário, está-se considerando que a fusão nuclear se impõe em economicidade e impacto ambiental a qualquer outra forma termoeletrica de geração, descontinuando a geração com combustíveis fósseis. No cenário azul, é mantida a geração hidráulica nos patamares atuais. É razoável supor que novas usinas não serão construídas e que as

existentes atualmente serão mantidas. Existe impacto ecológico relevante no represamento dos rios e formação e reservatórios, da mesma forma que existem impactos nos desfazimentos dos lagos artificiais.

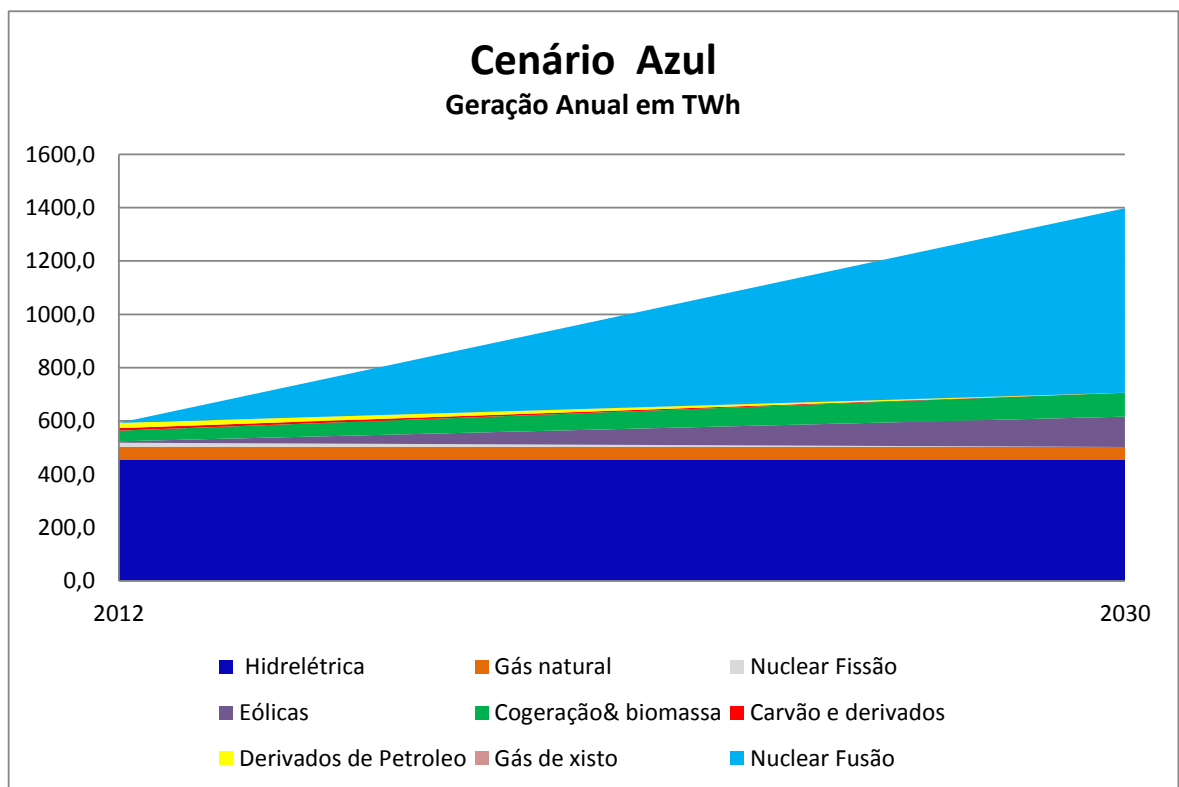


Figura 10. Gráfico de área de crescimento anual da geração no cenário azul.

Um elemento complementar que pode ser observado no gráfico de área de crescimento anual da geração de energia elétrica do cenário azul é que a demanda de energia elétrica cresce mais que nos demais cenários. É razoável supor que a entrada de uma tecnologia de impacto tão relevante tenha efeitos em redução de custos e até aquecimento econômico diferenciado em relação aos demais cenários.

5 Limitação do Estudo

Mesmo trabalhando com a técnica de cenários, limitações importantes se impõem ao estudo. A primeira em relação à quantidade de cenários. Qualquer extremo prejudica a análise e utilidade das discussões apresentadas. Um número reduzido muito próximo da unidade descaracteriza o método. Um número muito elevado de cenários prejudica a concisão e leva a uma diferenciação muito sutil que não favorece a análise. A opção foi por quatro cenários, que agrupam fontes de geração de energia elétrica com semelhantes aspectos socioeconômicos e ambientais.

A segunda limitação refere-se a quais fontes de geração de energia elétrica existentes devem ser tratadas e quais novas fontes de geração de energia elétrica completamente disruptivas - como a captura de energia no espaço sideral ou a criação de algas transgênicas com características energéticas - devem ser tratadas. Como o Brasil possui ampla variedade de fontes energéticas (Santos, 2013), para as fontes existentes foi utilizado o critério de relevância entre as fontes presentes na taxonomia de Oliveira (1978, p. 201), com duas exclusões devido à inexpressividade na matriz elétrica: a energia do gradiente térmico dos oceanos e rios e o xisto. Para a questão de quais novas fontes energéticas possíveis, o critério de probabilidade de existência ou alto impacto na matriz energética atual foi considerado determinante. Sendo incluídos o próprio xisto e a fissão nuclear.

Outra importante limitação refere-se ao descasamento relevante do incremento de produtividade entre as fontes de energia existentes. São esperados incrementos pontuais em todas as formas de geração de energia elétrica pela constante evolução tecnológica e aperfeiçoamento dos métodos produtivos e fabris. Porém, ganhos de produtividade disruptivos não são considerados neste trabalho.

6 Conclusão

A eletricidade começou seu uso global com o telégrafo. Mas foi com a iluminação que ela se transformou no ente ubíquo espalhado pelas cidades. Foi na luz que a eletricidade mostrou seu potencial. Atualmente, ela está presente no nosso dia-a-dia em refrigeração, transporte vertical, movimentação de água, motores domésticos e fabris, telecomunicações e até na fechadura de hotéis. Hoje, sem a eletricidade não se vê, não se sobe, não se lava, não se refrigera, não se comunica, não se imprime, não, não, não...

As fontes de energia elétrica que estão atualmente disponíveis no Brasil foram amplamente discutidas nos capítulos iniciais, mas quais fontes de energia elétrica poderão estar disponíveis no futuro? A discussão dos cenários descritos nessa pesquisa leva a duas vertentes conclusivas diversas, mas não antagônicas.

A primeira é a discussão tecnológica do que se avizinha. Há que se concordar com Veiga (2011) que no futuro, próximo ou distante, inovações disruptivas como a fusão nuclear produzirão profundas e revolucionárias mudanças. O problema, como diz Veiga (2011), é saber como se pode chegar até lá. De acordo com Ferguson & Reed (2010, p. 53), dezenas de países têm demonstrado interesse em adquirir capacidade de geração de energia nuclear. Esse interesse vem pela constatação de que a transição para uma economia de baixo carbono acaba convergindo para energia nuclear. Fissão ou fusão, o que estiver disponível. É bom recordar, como faz Tavares (2013), que “toda a energia primária de que o homem necessita é de origem nuclear” (fissão de núcleos pesados e fusão de núcleos leves).

Outro ponto interessante, também levantado por Ferguson & Reed (2010), é que, dos países que possuem geração de energia elétrica nuclear, praticamente nenhum é autossuficiente em todos os componentes necessários para seus programas de energia

nuclear, incluindo reatores, urânio, manufatura do combustível e pessoal treinado. A energia nuclear é uma das indústrias mais globalizadas. Se a conhecida indústria da fissão nuclear é globalizada, a busca pela fusão também deveria sê-lo. Uma questão de pesquisa interessante a se propor é estudar quanto se gasta em subsídios de fontes alternativas e o que poderia ser feito com esse dinheiro se ele fosse direcionado para pesquisa em fusão nuclear.

Outra vertente conclusiva é de natureza político-social. Vem do fato de se estar falando de fusão nuclear num planeta onde a população mundial já beira os 7 bilhões e ao menos 2,5 bilhões ainda cozinham com lenha, carvão, resíduos agrícolas e estrume. Por volta de 1,6 bilhão não têm acesso à eletricidade (Veiga, 2011). Atender a essa demanda não parece compatível com uma transição a uma economia de baixo carbono sem que ocorra um pesado choque tecnológico de geração e eficiência energética. Essa demanda reprimida por eletricidade em pleno século XXI também é uma realidade brasileira.

Dessas duas vertentes conclusivas também podemos qualificar quais as incertezas e variáveis centrais do futuro incerto. A primeira é o desenvolvimento tecnológico discutido no Cenário Azul. Da segunda vertente, como bem pontua Monteiro (2011, p.14) “o estudo da relação entre “interesse político” e “energia ou empresa energética” é recorrente e tem gerado inúmeras reflexões, com óticas metodológicas e focos distintos. Trata-se de questão complexa, cujo tratamento está longe da exaustão”. Para tentar entender o impacto do “interesse político” nos diversos cenários de fornecimento de energia elétrica discutidos, vamos fazer uma breve análise de cinco diferentes fases institucionais que o setor elétrico atravessou, para apontar a relevância da unidade entre consumidor e eleitor.

A primeira fase foi de 1879 até 1934, quando foi editado o Código das Águas. Nesse primeiro período, os atuais benefícios sociais da eletricidade ainda não eram completamente desenvolvidos. Os investimentos eram fundamentalmente privados, as

empresas verticalizadas, isso é, a mesma empresa que investia em geração, fazia também a transmissão e distribuição da eletricidade e o mercado não era regulado. Os municípios brasileiros conferiam autorização para o funcionamento de empresas verticalizadas (Gomes, 2009). Essas autorizações utilizavam critérios casuísticos. Muitas vezes baseadas na cláusula ouro, que permitia as concessionárias corrigirem suas tarifas pela depreciação da moeda (Lima, 1983).

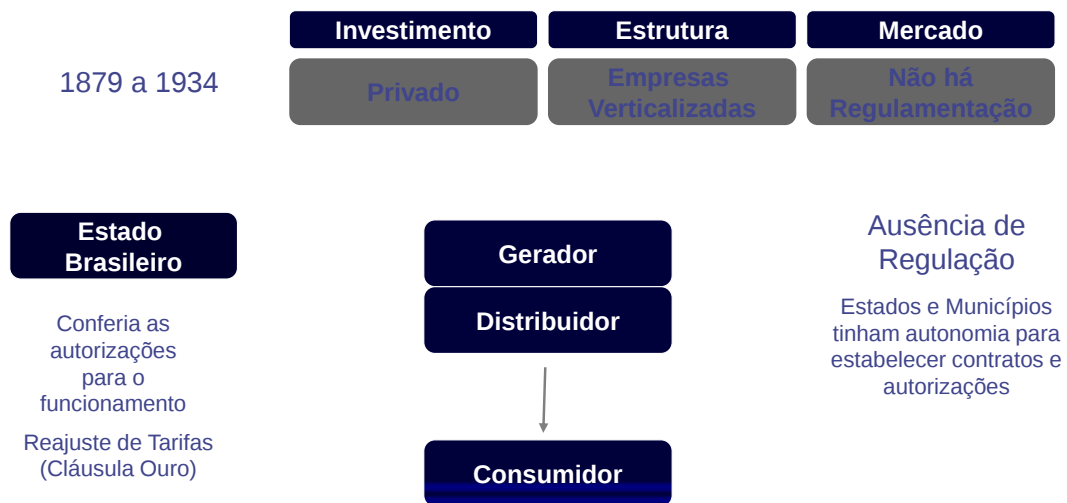


Figura 11. Funcionamento do setor elétrico de 1879 a 1934.

A partir da promulgação em 1934 do Código das Águas, primeiro marco regulatório do setor elétrico, passou a existir uma centralização do poder concedente no Governo Federal (Gomes, 2009) e uma separação entre o detentor do aproveitamento hidrelétrico (rio e cachoeira) do proprietário da terra. A grande alteração em relação ao modelo anterior tem como pano de fundo a consolidação de duas realidades. De um lado, a maior aspiração de participação popular, que culminou com o fim da República Velha, e de outro lado os investimentos realizados em geração de energia elétrica apresentaram à sociedade os benefícios da eletricidade como vetor de modernidade, o que trouxe um sentimento de

necessidade de tratar essa energia como serviço público. Com isso, surgiu um fator político fundamental para a compreensão do setor elétrico: a unidade de personificação do consumidor com o eleitor. Ao mesmo tempo em que o Estado trouxe para si a responsabilidade de fornecer energia elétrica ao consumidor, tratando esse bem como serviço público, o consumidor é o cidadão que escolhe (nos períodos democráticos) ou dá suporte (nos períodos ditatoriais) ao agente político que comanda o Estado. Essa é a unidade de papéis entre consumidor e eleitor que muito condiciona as estratégias seguidas pelo Estado no setor elétrico. Muito embora, neste período, os investimentos no setor ainda se encontrassem adstritos principalmente ao âmbito privado, as empresas eram verticalizadas e o mercado ainda não regulamentado.

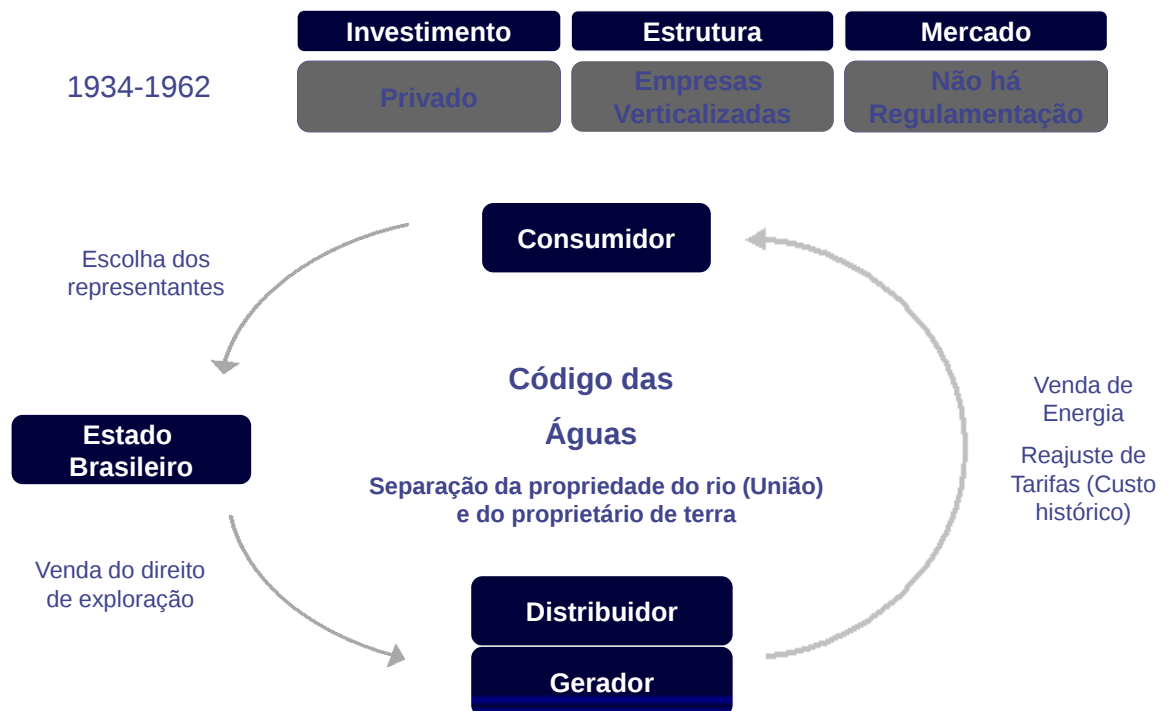


Figura 12. Funcionamento do setor elétrico de 1934 a 1962

Nas palavras de Gomes (2009, p.p. 308) “a partir da criação da Eletrobrás começou um novo período na história do setor elétrico, que teve integral apoio, tanto político quanto econômico, do regime militar instaurado em 1964”. Foi o período em que o investimento no setor elétrico migrou em sua maioria da esfera privada para a esfera pública. Grandes obras de usinas hidrelétricas foram implantadas e houve um crescimento significativo na oferta de energia elétrica no país. Ao longo desse período, empresas estatais assumiram a liderança do setor.

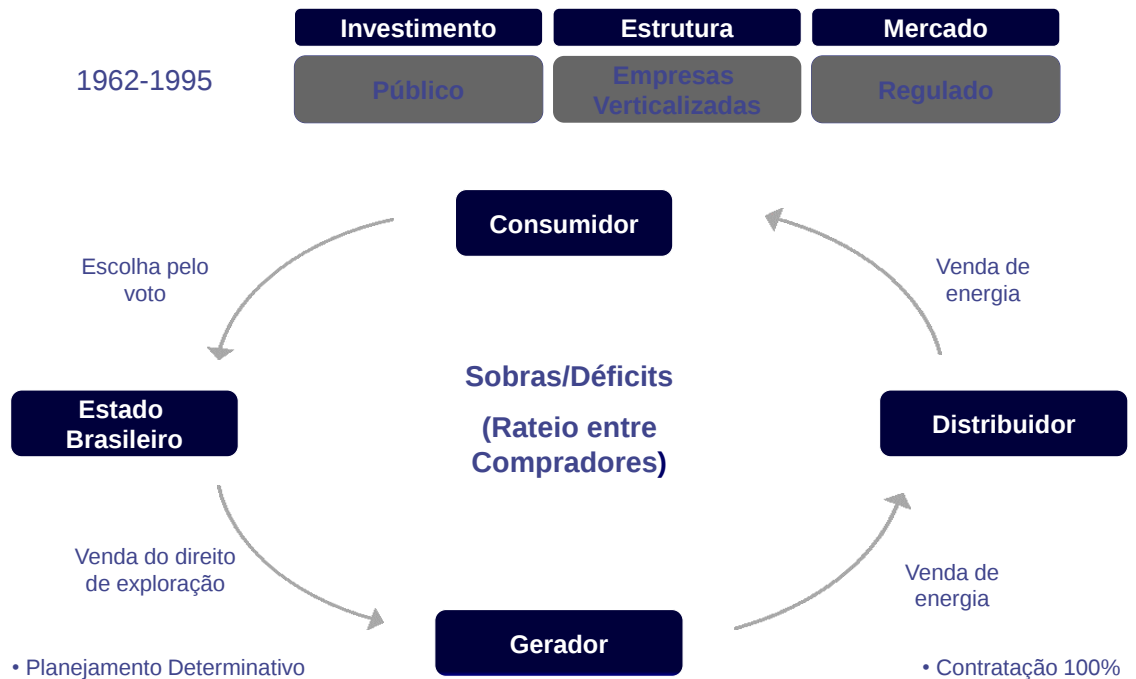


Figura 13. Funcionamento do setor elétrico de 1962 a 1995

Com o fim do período conhecido como milagre brasileiro, o modelo de investimento estatal se esgotou. Uma política anti-inflacionária com perspectivas de curto prazo realizada pela área econômica do governo comprimiu as tarifas e receitas das empresas do setor elétrico, o que levou a uma crise de inadimplência intrasetorial (Gomes, 2009). Para

sanear financeiramente as empresas do setor elétrico, o Tesouro Nacional assumiu dívidas da ordem de US\$ 20 bilhões, (Gomes, 2006). Aqui a unidade entre consumidor e eleitor deixou muito claro uma outra conotação: a unidade não uniforme entre consumidor e contribuinte. Toda a economia realizada pelo consumidor ao não se ter reconhecido nas tarifas o real custo da geração, transmissão e distribuição da energia elétrica - o que Monteiro (2011) chamou de populismo tarifário - foi arcado pelo contribuinte, acrescidos de todos os custos de transação que uma crise de inadimplência traz. Essa unidade consumidor & contribuinte não é uniforme, pois existe uma grande disparidade entre o impacto do custo de energia elétrica e do custo dos impostos nas diferentes camadas da população.

Como consequência dessa crise e de um direcionamento governamental para a redução da presença do Estado na economia, a partir de 1995 foi implantada uma reestruturação do setor elétrico na qual foi criada uma figura central: a possibilidade de grandes consumidores negociarem livremente com geradores o valor da energia elétrica. Esses consumidores foram chamados de consumidores livres. Eram livres para escolher de quem comprar energia elétrica (apesar de continuarem pagando em separado o serviço de transmissão e distribuição por uma tarifa específica denominada tarifa fio). Dessa forma, o planejamento estatal determinativo seria paulatinamente substituído por uma curva de oferta, representada por produtores de energia elétrica, e uma curva de demanda, relativa à necessidade elétrica dos consumidores livre. Nesse novo modelo, a distribuição e transmissão continuavam como um mercado regulado, mas geração e comercialização de energia elétrica seriam mercados livres. Uma série de medidas foram tomadas para implementação dessa nova filosofia, entre elas a criação da agência reguladora do setor – Aneel, a criação do ONS, a privatização ampla de distribuidoras e de algumas geradoras pontuais, a criação do Mercado Atacadista de Energia, entre outras.

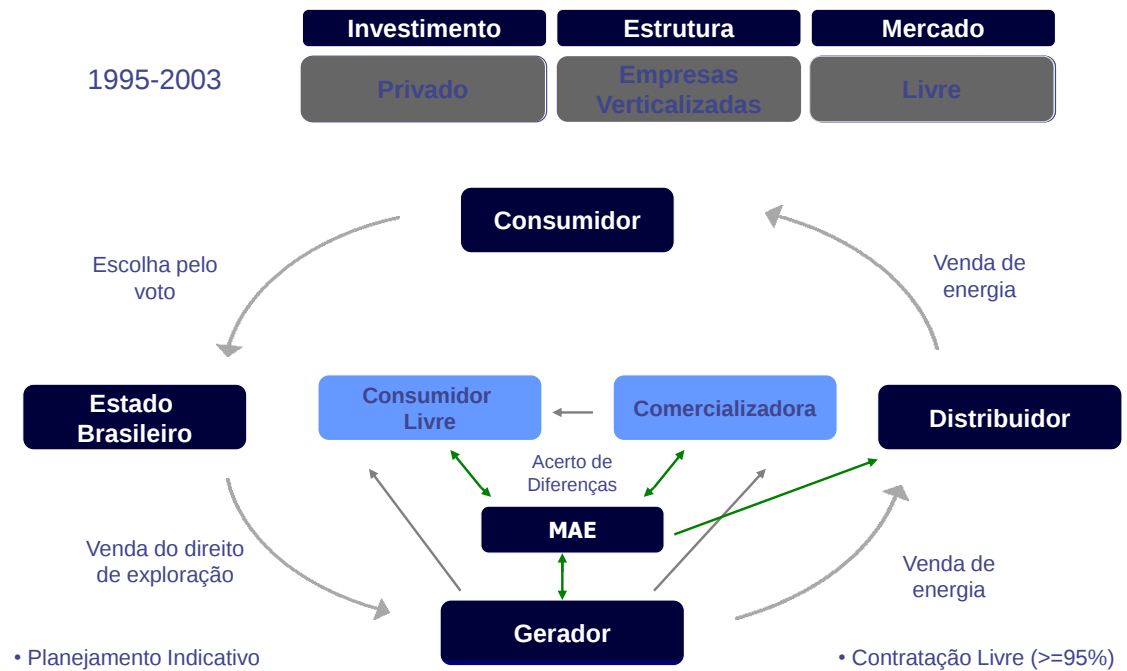


Figura 14. Funcionamento do setor elétrico de 1995 a 2003

Em julho de 2001, a população ficou perplexa com as medidas de racionamento implementadas pelo governo (Jabur, 2001). A unicidade entre consumidor e eleitor havia sido fortalecida ao longo das últimas décadas pela importância econômica e social do fornecimento de eletricidade e o desenvolvimento da democracia brasileira. O racionamento decretado em julho de 2001 perdurou até fevereiro de 2002, ano de eleição presidencial. Após a eleição do candidato do Partido dos Trabalhadores ao executivo federal, foi implantada uma reforma conhecida como Novo Modelo do Setor Elétrico. Uma das principais mudanças foi alterar o planejamento estatal de indicativo para determinativo, mantendo a figura do consumidor livre, mas tirando a centralidade que ele tinha no modelo anterior.

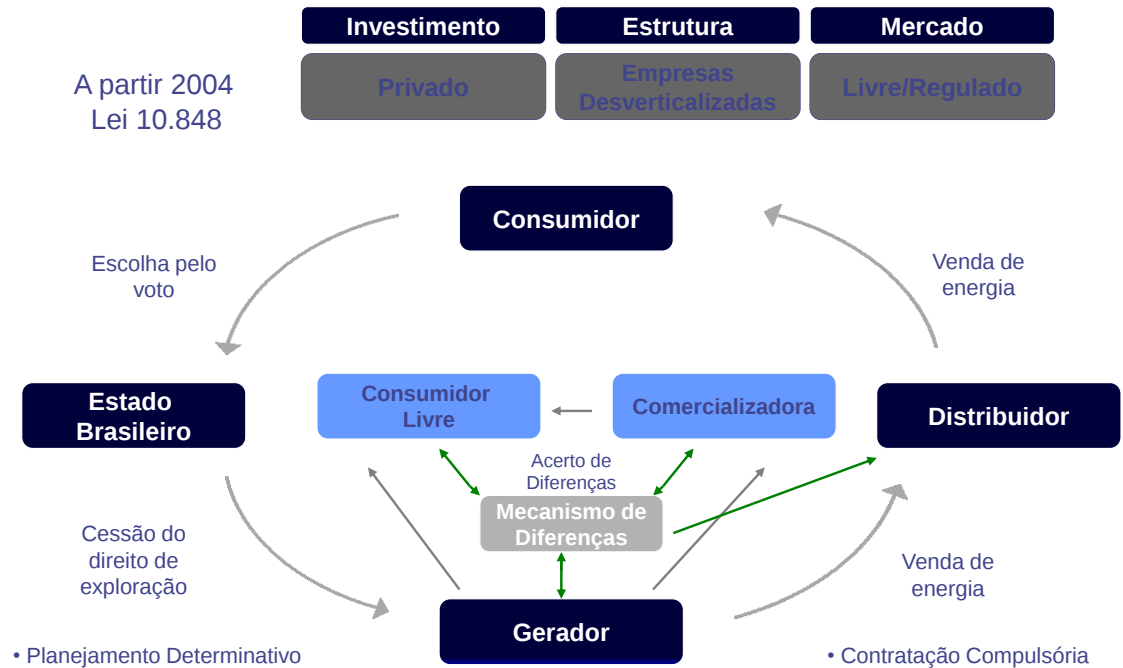


Figura 15. Funcionamento do setor elétrico a partir de 2004

Como se pode ver nessa brevemente resumida evolução institucional do setor elétrico, a importância da unicidade entre consumidor e eleitor na execução das estratégias governamentais de expansão da oferta de energia elétrica é de importância destacada. O impacto político da gestão do setor elétrico, principalmente no que tange à expansão da capacidade de geração, é ainda influenciado por grupos de pressão organizados como MAB, Movimento Xingu Vivo e outras organizações da sociedade civil, como discutido no capítulo do Cenário Preto.

Para assegurar o fornecimento de energia elétrica, pode-se concluir que é fundamental o cumprimento das decisões das instituições nomeadas democraticamente para fazer as escolhas dos atributos de economicidade, qualidade de fornecimento e externalidades sociais e ambientais. Acusações vazias de que os atores institucionais do setor elétrico são instituições tecnocratas, corruptas e qualquer outro adjetivo pejorativo sem provas concretas não podem ser suficientes para desvirtuar decisões institucionais

tomadas pela sociedade através de seus agentes democraticamente nomeados. Se a decisão - tomada com base nos processos de planejamento energético da EPE, ANEEL, TCU, ONS e MME e nos processos de aprovação ambiental conduzidos por IBAMA, FUNAI, IPHAN, ANA, etc. – for pela utilização de nossos potenciais hídricos e eólicos, essa decisão tem que ser honrada sem invasões e liminares sem fim.

Os benefícios sociais da energia elétrica como a ubiquidade, capilaridade, modernidade, alto rendimento energético e agregador de outros serviços públicos (Brasil, 2007) são percebidos de forma geral, mas dificilmente são associados a um empreendimento de geração isolado. Enquanto as externalidades e impactos sociais e ambientais da construção de uma planta de geração de energia elétrica são relacionados diretamente ao empreendimento, o benefício coletivo fica diluído entre todo o parque gerador existente e futuro.

Como todo empreendimento industrial, as externalidades dos empreendimentos de geração precisam ser mitigadas ou compensadas, em especial nas usinas hidrelétricas, por conta da modificação na paisagem natural e da grande área afetada. O processo de mitigação e compensação é, em última análise, uma negociação entre empreendedores e afetados. Quanto maior a percepção da intensidade do impacto ambiental, maior a compensação. É natural que os atingidos maximizem seus interesses econômicos sendo enfáticos quanto ao prejuízo socioambiental sofrido. Quanto maior a percepção de impacto, maior o ganho de compensação.

Numa sociedade democrática, essa ênfase nos impactos ambientais de um empreendimento atrai forças políticas que desejam capturar o benefício eleitoral do discurso de maximização do impacto socioambiental. Um empreendimento de baixo número de impactados provavelmente atrairá alguém com interesses eleitorais municipais,

um empreendimento de médio porte, interesses eleitorais estaduais e um empreendimento de grande porte, interesses políticos federais e, possivelmente, globais.

Iniciei esta dissertação com um adágio e termino com dois: pior que uma mentira, é uma meia verdade. A mentira se confronta e se prova sua natureza. A meia verdade, pelas nuances e diferentes perspectivas, é resiliente. Não se pode construir usinas hidrelétricas e parques eólicos sem as devidas compensações e mitigações socioambientais, mas também não podem os cidadãos locais e os agentes políticos populistas furtar da população brasileira o uso da inteligência na determinação de sua matriz energética, pois a energia mais cara é aquela que falta.

Referências

- Acsehrad, H. (2010). Ambientalização das lutas sociais: o caso do movimento por justiça ambiental. *Estudos Avançados*, 24(68), 103-119.
- Adrados, A. B. (2004). *Caracterización cuantitativa de detectores luminiscentes para plasmas de fusión*. (Doctoral dissertation), Universidad Complutense de Madrid. Madrid, Espanha.
- Alves, P.V.S. (2000). *Admirável Estado Novo: um estudo de prospectiva e estratégia*. (Dissertação de Mestrado). Fundação Getúlio Vargas Escola Brasileira de Administração Pública Centro de Formação Acadêmica e Pesquisa. Rio de Janeiro-RJ. Brasil.
- Alves, P.V.S., (2012). Century: utopias, dystopias and the contradictions in development and technological evolution. In: IRSPM XVI 2012 - Panel 08 Constructing Futures: Public Management for Volatile Times Scenarios for the XXIst. Rome. Italy. *Anais...*
- Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica (2012). *Banco de Informação de Geração* (BIG). Recuperado de: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>.
- Araújo, J. L., & Oliveira, A. (2005). *Diálogos da energia: reflexões sobre a última década 1994-2004*. Rio de Janeiro: 7 Letras.

Baker Institute (2011). Shale gas and U.S. National Security. *Baker Institute Policy Report*, (49). Houston, Texas. Retrieved from: http://www.howardenergypartners.com/pdf/resources_shalegassecurity.pdf.

Bennet, D. J., & Thomson, J. R. (1989). *The elements of nuclear power*. London: Longman Scientific & Technical.

Bermann, C. (2013). A resistência às obras hidrelétricas na Amazônia ea fragilização do Ministério Público Federal. *NCN-Novos Cadernos NAEA*, 16(2).

Bodanis, D. (2008). *Universo elétrico*. Rio de Janeiro: Record.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2007). *Plano Nacional de Energia 2030*. Elaborado com a colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF: MME:EPE.

Brasil. Ministério de Minas e Energia (2003). *Resolução CNPE número 5*. Elaborado pelo Ministério de Minas e Energia e aprovado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Brasília, DF: MME.

Bronzatti, F. L., & Iarozinski Neto, A. (2008). Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-16. *Anais...*

Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on environment and development: "our common future"*. United Nations.

Cerconi, C., Melquiades, F., & Tominaga, T. (2010). Energia nuclear, o que é necessário saber? *Revista Ciências Exatas e Naturais (RECEN)*, Guarapuava. Recuperado de: <http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/119/887>.

Cia. Central Intelligence Agency (2012). *World Factbook*. Retrieved from: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>.

Clayton, D. D. (1968). *Principles of stellar evolution and nucleosynthesis*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Corrêa, V. (2001) *Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural*. (Tese de Mestrado). Rio de Janeiro-RJ: COPPE/UFRJ.

Curtis, J. B. (2002). *Fractured shale-gas systems*. AAPG Bulletin, 86(11), 1921-1938.

Descartes, R. (2010). *Discurso sobre o método e princípios de Filosofia*. São Paulo-SP: Folha de São Paulo.

Deutch, J., Moniz, E., Ansolabehere, S., Driscoll, M., Gray, P., Holdren, J., & Todreas, N. (2003). *The Future of Nuclear Power. an MIT Interdisciplinary Study*. Retrieved from: <http://web.mit.edu/nuclearpower>.

Dhenin, M.P.P. (2011), A segurança energética do Brasil: ameaças perspectivas e desafios para 2012. *Revista Eletrônica Estratégia Brasileira de Defesa*. Recuperado de: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/politica/article/view/18876>.

Dhenin, M. P. P. (2010). *O papel das Forças Armadas no planejamento e na implantação da matriz energética brasileira: os casos do petróleo e da energia nuclear* (Dissertação de mestrado) Programa de Pós-Graduação em Estudos Estratégicos da Segurança e da Defesa da Universidade Federal Fluminense-UFF. Niterói-RJ. Brasil.

Empresa de Pesquisa Energética. (2012a). *Balanço Energético Nacional (BEN) 2012*. Rio de Janeiro-RJ: EPE.

Empresa de Pesquisa Energética. (2012b). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2021*. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética e aprovado pelo Ministério de Minas e Energia. Brasília-DF: MME/EPE.

Empresa de Pesquisa Energética. (2013a). *BEN Balanço Energético Nacional (BEN) 2013*. Resultados Preliminares Rio de Janeiro-RJ: EPE.

Empresa de Pesquisa Energética. (2013b). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*. Elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética e aprovado pelo Ministério de Minas e Energia. Brasília-DF: MME/EPE.

Fearnside, P. M. (2010). As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *NCN-Novos Cadernos NAEA*, 12(2).

Fearnside, P. M. (2006). Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu river basin. *Environmental Management*, 38(1), 16-2.

Ferguson, C. D., & Reed, P. D. (2010). Seven Principles of highly effective nuclear energy programs. In: *Nuclear Power and Energy Security* [pp. 53-62]. Springer Netherlands.

Ferreira, M. F., de Araújo, J. F. L., & Couto, M. I. M. (2013). Pensar pra frente, fazer pro mundo! (Thinking forward, making for the world!). *Cadernos de História*, 14(20), 132-142.

Fiori, J. L., Medeiros, C., & Serrano, F. (2008). *O mito do colapso do poder americano*. Rio de Janeiro-RJ: Record.

Goethe, J. W., & Eastlake, C. L. (1840). *Goethe's Theory of Colours: Translated from the German*. London: John Murray.

Goldemberg, J. (2000). Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. *São Paulo em Perspectiva*, 14(3), 91-97.

Goldemberg, J., & Lucon, O. (2007). Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, 21(59), 7-20.

Gomes, A. C. S., Abarca, C. D. G., Faria, E. A. S. T., & Fernandes, H. H. D. O. (2006). O setor elétrico. BNDES. BNDES, 50, 1964-1973.

Gomes, J. P.P., & Vieira, M. M. F. (2009). O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. *Rap—Rio de Janeiro*, 43(2), 295-321

Goriely, S., Hilaire, S., Koning, A. J., Bauswein, A., & Janka, H. T. (2013). Towards predictions of fission probabilities for astrophysics applications. *Physics Procedia*, 47, 115-124.

Heijden, K. V. D. (1996). *Scenarios: the art of strategic conversation*. New York: John Wiley & sons.

Heilbron, J. (1979). *Electricity in the seventeenth and eighteenth centuries: a study of early modern physis*. Berkeley: Unifversity of California Press.

Herrara, F. (1978). A balcanização energética. Brasil, *Revista de Administração Pública (RAP)*, 12(4). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/7474/5943>.

Jabur, M. A. (2001). *Racionamento: do susto à consciência*. São Paulo, Terra das Artes.

Kaufmann, W. J., & Freedman, R. A. (1998) *Universe*. 4. ed. New York: W. H. Freeman and Company.

Kepler, J. (1980). *Les fondements de l'optique moderne: paralipomènes à Vitellion*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin.

Knobel, M. (2003). Fraudes sacodem a comunidade científica. *Ciência e Cultura*, 55(3), 17-18.

Lage, E. S., Processi, L.D., Souza, L. D. W, Dores, P. B. & Galoppi, P. P. S. (2013). *Gás não convencional: experiência americana e perspectivas para o mercado brasileiro*. BNDES Setorial 37, p. 33-88. Rio de Janeiro-RJ: BNDES.

Landi, M. (2006). *Energia elétrica e políticas públicas: a experiência do setor elétrico brasileiro no período de 1934 a 2005*. (Tese de Doutorado), Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, USP, São Paulo-SP. Brasil.

LIMA, J. L. (1983). Estado e desenvolvimento do setor elétrico no Brasil: das origens à criação da Eletrobrás. 1983. 142 f (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Economia e Administração, USP, São Paulo.

Magalhães, L. (1978). Energia hidrelétrica. Brasil, *Revista de Administração Pública*, 12(4). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/7476/5944>.

Maquiavel, N. (2010). *O príncipe e escritos políticos*. (2012). São Paulo: Folha de São Paulo.

Matai, P. H. L. S, & Santos, M. M. (2010). A importância da industrialização do xisto brasileiro frente ao cenário energético mundial. *Revista Escola de Minas (REM)*, 63(4), 673-678.

Meireles, A. J. A. (2011). Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais, *Confins*, 11. Recuperado de: <http://confins.revues.org/6970>.

Mello, F. M. (2011). *A história das barragens no Brasil, séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens*. Rio de Janeiro-RJ: CBDB.

Mello, C. C. A. (2013). Se houvesse equidade: a percepção dos grupos indígenas e ribeirinhos da região da Altamira sobre o projeto da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. *NCN-Novos Cadernos NAEA*, 16(1).

Mesquita, H. (1978). Xisto betuminoso. Brasil, *Revista de Administração Pública*, RAP 12(4). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/7480/5952>.

Milani, N., Stunges, G. M., Stelato, É. D. S., & Quintilio, M. S. V. (2013). Química estelar e estrelas apocalípticas: estudo comparativo. *Colloquium Exactarum*, 4(2), 37-46.

Mintzberg, H., Ahlstrand, B., & Lampel, J. (2007). *Safári de estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico*. (2. ed.). Porto Alegre: Bookman.

Monteiro, E.M (2011). Métricas e Estratégias de Bloqueio de Uso Político nas Empresas do Setor Elétrico Brasileiro (Tese de Doutorado). São Paulo: Instituto de Energia e Eletrotécnica-Universidade de São Paulo.

Moretto, E. M., Gomes, C. S., Roquetti, D. R., & Jordão, C. O. (2012). Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. *Ambiente & Sociedade*, 15(3), p.p. 141-164.

Motta, P. R. (1994). Reengenharia: utilidades e futilidades da nova onda administrativa. *Reengenharia ou Readministração*, 87-107.

Murray, R. (2004). *Energia nuclear*. São Paulo: Hemus.

Oliveira, C. C. (1978). Fontes alternativas de energia elétrica. *Revista de Administração Pública*, 12(4), 199-226.

Paltsev, S., Jacoby, H. D., Reilly, J. M., Ejaz, Q. J., Morris, J., O'Sullivan, F., & Kragha, O. (2011). The future of US natural gas production, use, and trade. *Energy Policy*, 39(9), 5309-5321.

Parboni R. (1981). *The Dollar and its rivals*. Londres: NLB and Verso Editions.

Paro, R. (2013). *Diálogos sobre a sociedade civil 2023*. Relatório da reunião de coordenação entre as organizações da sociedade civil e o governo: Reos Brasil, Articulação D3 e Secretaria Geral da Presidência da República. Coordenação Técnica: Núcleo de Sustentabilidade FDC. São Paulo-SP: Fundação Dom Cabral.

Pedrosa, I. (2009). *Da cor à cor inexistente*. Rio de Janeiro-RJ: Senac.

Pereira, A., & Feichas, S. (1978). A situação mundial do xisto. Brasil, *Revista de Administração Pública*, 12(4). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/7481/5953>.

Pimentel, G., & Lima, S. H. P. N. (2013). A incorporação da dimensão ambiental no plano de longo prazo do setor elétrico: aspectos estratégicos. *Revista de Administração Pública*, 25(4), 43-a.

Pinhel, A.C.C. (2000). *Simulação de uma usina térmica a gás no novo contexto do setor elétrico brasileiro: uma análise risco x retorno*. (Tese de Mestrado). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ. Brasil.

Porter, M. E. (1992). *Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior*. 22. ed. Rio de Janeiro-RJ: Campus.

Porto, M. F., Finamore, R., & Ferreira, H. (2013). Injustiças da sustentabilidade: conflitos ambientais relacionados à produção de energia "limpa" no Brasil. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, (100).

Poulon, J. E., & Martins Neto, J. (2000). Pequenas centrais hidrelétricas: histórico e perspectivas. In: II Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Canela-RS. Brasil. *Anais...*

Przeworsky, A. (1995). *Estado e economia no capitalismo*. Rio de Janeiro-RJ: Relume-Dumará.

Ribeiro, V. D. A. (2008). *Modelo de contrato engineering, procurement and construction (EPC) como instrumento de redução de riscos e de custos em project finance de geração hidrelétrica no Brasil* (Dissertação de mestrado). Universidade UNIFACS. Salvador-BA.

Ringland, G. (1998). *Scenario planning: managing for the future*. New York: John Wiley & sons.

Rocha, É. G., & Delfino, M. S. D. C. (2013). Fissão e fusão nuclear: presente e futuro do uso da energia nuclear pela humanidade. *Revista CAITITU - aproximando pesquisa ecológica e aplicação*, 1(1), 125-129.

Rutledge, I. (2006). *Addicted to oil: America's relentless drive for energy security*. New York: IB Tauris.

Santos, F. M. (2013). A segurança energética brasileira e as relações bilaterais: um cenário de instabilidade e desconfiança. *In: ABED-PB 2012, 1(1). Anais...*

Serrano, F. (2004). *Relações de poder e a política macroeconômica americana, de Bretton Woods ao padrão Dólar flexível: o poder americano*. Petrópolis-RJ: Vozes, 179-222.

Sheffield, J. (1994). The physics of magnetic fusion-reactors. *Rev Mod Phys*, 66, 1015

Silva, N. F. (2006). *Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica*. (Tese de Doutorado). Rio de Janeiro. PPE/COPPE/UFRJ.

Souza, Z. (1999). *Centrais hidrelétricas: estudos para implantação*. Rio de Janeiro-RJ: Eletrobrás.

Tamm, I. Y., & Sakharov, A. I. (1961). Theory of a magnetic thermonuclear reactor. *In: Plasma physics and the problems of controlled thermonuclear reactions*. Pergamon. Reino Unido: Oxford.

Tavares, O. (2013). Conversando sobre o núcleo atômico. *Ciência e Sociedade*, 1(1).

Tolmasquim, M. T. (2005). *Geração de energia elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro-RJ: Interciência.

Tolmasquim, M. T (2011). *Novo modelo do setor elétrico brasileiro*. Rio de Janeiro-RJ: Synergia.

Tolmasquim, M. T. (2012). Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. *Estudos Avançados*, 26(74), 247-260.

Undp. *United Nations Development Programme*. (2010). *Human development report 2010*. New York: Undp.

Vainer, C. B. (2007). Recursos hidráulicos: questões sociais e ambientais. *Estudos Avançados*, 21(59), 119-137.

Vasques, T. Q. (2008). *Determinantes da liquidez nas empresas: uma investigação das especificidades brasileiras*. (Dissertação de Mestrado) Fundação Getúlio Vargas Escola de Pós-Graduação em Economia. Rio de Janeiro-RJ. Brasil.

Veiga, J. E. (2011). Perspectiva nuclear pós-Fukushima. *Política Externa*, 20(1), 153-9.

Wadhwa, S., Mishra, M., & Chan, F. T. (2009). Organizing a virtual manufacturing enterprise: an analytic network process based approach for enterprise flexibility. *International Journal of Production Research*, 47(1), 163-186.

Walter, A.C.S. (1997). O setor sucroalcooleiro e a produção de eletricidade a partir de subprodutos da cana. In: O uso da biomassa no Brasil. *Potenciais para uma Política de Desenvolvimento Regional* (7), Rio de Janeiro-RJ

Wierzbicka, A. (1990). The meaning of color terms: semantics, culture, and cognition. *Cognitive Linguistics* (includes Cognitive Linguistic Bibliography), 1(1), 99-150.

World Nuclear Association. Retrieved from: <http://www.world-nuclear.org/Nuclear-Basics/How-is-uranium-ore-made-into-nuclear-fuel/>.

Yergin, D. (2011). *The quest: energy, security and the remaking of the modern world*. New York: Penguin Press.

Zarpelon, J., & Grisotti, M. (2013). Entre discursos e práticas: análise do discurso do Governo Lula (2003-2010) no contexto da construção da usina Belo Monte. *Estudos de Sociologia*, 18(35).