

A QUESTÃO DAS OPÇÕES BRASILEIRAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Marcio S. Dias¹, João Roberto L. de Mattos²

¹ Dr. Eng. Química, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG, tel. (31) 3069-3217, e-mail: marciod@cdtn.br,

² Dr. Eng. Química, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG, tel. (31) 3069-3206, e-mail: jrmattos@cdtn.br,

**3º Encontro Técnico-Científico da Ecolatina
16 a 19 de outubro de 2007 – Belo Horizonte – MG**

RESUMO: O Brasil dispõe de muitas opções de fontes primárias para a geração de energia elétrica. Cada uma destas fontes representa um conjunto próprio de impactos socioeconômicos e ambientais. O crescimento do consumo de energia elétrica, da ordem de 140% entre 2003 e 2030, significa mais que dobrar, em 27 anos, a capacidade de geração instalada no século XX e/ou adotar ações que permitam aumentar significativamente a eficiência energética do País. Em face da dimensão do crescimento do consumo de energia elétrica e sua relação com o desenvolvimento econômico, todas as fontes primárias constituem contribuições positivas dentro do conjunto apropriado de soluções socioeconômicas e ambientais. Como discutido neste trabalho, é indispensável a composição de um portfólio de fontes primárias, o que demandará ações coordenadas, participativas e integradas de todos os segmentos da sociedade brasileira: governo e agências reguladoras, setores produtivos da economia, universidades e instituições de C&T, e, em especial, a população brasileira.

PALAVRAS-CHAVES: energia elétrica, fontes primárias, portfólio

THE QUESTION OF THE BRAZILIAN OPTIONS IN THE ELECTRICAL ENERGY GENERATION

ABSTRACT: Brazil has many options of primary sources for electrical energy generation. Each one of these sources represents a set of social, economic and environmental impacts. The increase in the consumption of electrical energy, around 140% from 2003 to 2030, means more than double, in 27 years, the capacity of generation installed in the XX century or to adopt actions that allow for significant increasing in the efficiency of generation, distribution and end use of the energy. In face of the electrical energy consumption increase and its relation with the economic development, all the primary sources represent positive contributions for the appropriate set of social, economic and environmental solutions. As discussed in this paper, a suitable portfolio of primary sources should be built through, co-coordinated, joint and integrated actions from all segments of the Brazilian society: government and regulatory agencies, productive sectors of the economy, universities and institutions of science and technology, and, in special, the Brazilian population.

KEYWORDS: electrical energy, primary sources, portfolio

INTRODUÇÃO: Há milhares de anos, o desenvolvimento da humanidade é determinado pela sua capacidade no uso da energia para a produção de bens e serviços e o próprio bem-estar humano. Ao longo de milênios esta capacidade ficou contida e totalmente atendida no processo de queima de combustíveis de origem orgânica. Atualmente, o padrão

não sustentável do suprimento e uso mundial da energia é questionado no âmbito da própria definição do desenvolvimento econômico e bem-estar humano. No cenário da disponibilidade de recursos energéticos e autonomia de cada país, o aumento crescente dos custos da energia levanta questões como dependência externa e a vulnerabilidade com os combustíveis, os desenvolvimentos e os impactos socioeconômicos e ambientais do uso da energia e suas fontes primárias.

Com características de país em desenvolvimento, dimensões quase continentais e gama ampla de recursos naturais, há duas décadas o Brasil defronta-se com crises e indefinições no desenvolvimento da matriz de energia elétrica, que afetam diretamente o seu desenvolvimento socioeconômico. O presente trabalho discute as soluções para o setor de geração de energia elétrica como resultantes de ações coordenadas e integradas de todos os segmentos da sociedade brasileira.

MÚLTIPLOS FATORES DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: É comum que fontes primárias de energia elétrica sejam apresentadas à população como limpas, seguras e duradouras, com omissão da realidade dos fatos. A geração de energia elétrica, em todas as formas da fonte primária de energia, resulta em impactos socioeconômicos e ambientais, cujos fatores a serem considerados estão sumarizados no Quadro 1. Estes fatores têm inserções diferentes em soluções regionais como, por exemplo, o contraste da geração de energia elétrica a partir do carvão no sul do país e a geração nuclear para o nordeste.

Quadro 1 - Fatores ambientais das fontes primárias de energia (IAEA, 1997)

Combustíveis fósseis: (1) variação climática global; (2) degradação da qualidade do ar (carvão, óleo); (3) acidificação de lagos e danos de florestas (carvão, óleo); (4) contaminação por resíduos tóxicos (cinzas e escória de carvão, redução da poluição); (5) contaminação de água subterrânea; (6) poluição marinha e costeira (óleo); (7) perturbação da terra; (8) requisitos de transporte e grandes quantidades de combustível; (9) redução dos recursos.
Hidrelétrica: (1) remoção de população; (2) perda e mudança no uso da terra; (3) mudanças de ecossistemas e efeitos na saúde; (4) perda de biodiversidade; (5) falha de represa; (6) descomissionamento.
Renováveis (solar; eólica, geotérmica, biomassa): (1) degradação da qualidade do ar (geotérmica, biomassa); (2) uso extenso de terra; (3) mudanças do ecossistema; (4) impactos de fabricação (células solares fotovoltaicas); (5) poluição sonora (eólica).
Nuclear (cadeia completa): (1) liberação de material radioativo em acidente severo do reator; (2) liberação em repositório de rejeitos.

Atualmente, o Brasil está migrando para uma regulação térmica da matriz de energia elétrica e as emissões de cada fonte tornam-se fatores a serem considerados. O portfólio da energia elétrica resultante deve ser transparente e defensável perante a população em termos de seus impactos socioeconômicos e ambientais. O Quadro 2 resume o consumo de combustíveis e as emissões na geração térmica de 1 MWe durante um ano.

Quadro 2 - Consumo e emissões na geração de 1 MWe.ano (BARROS, 2006)

Combustível	Resíduos Produzidos
2.500 t de carvão	5.000 t de CO ₂ , SO ₂ , cinzas e metais pesados liberados para a atmosfera
1.500 t de óleo combustível	4.800 t de CO ₂ , SO ₂ e outros
700 t de gás natural	2.400 t de CO ₂
25 kg de urânio enriquecido	23 kg de resíduos com 1 kg de resíduos de alta atividade

A densidade de energia, expressa em ocupação de terra por unidade de energia, é o fator que permite comparar as opções térmicas e renováveis não-hídricas. A Tabela 3 resume a ocupação de terra para um sistema de 1.000 MWe com valores determinados por requisitos locais e condições climáticas (solar e eólica com fatores de disponibilidade de 20 a 40%).

Quadro 3 - Ocupação de terra na geração de 1.000 MWe (IAEA, 1997)

Instalação	Ocupação (em km ²)
Térmica e nuclear	1 a 4
Parque térmico solar e fotovoltaico	20 a 50
Campo de vento	50 a 150
Plantação de biomassa	4.000 a 6.000

Poluição Ambiental: Em usinas modernas de combustíveis fósseis, as tecnologias modernas de redução da poluição atmosférica podem diminuir, por um fator de 10, a emissão de gases nocivos, mas quantidades significativas de rejeitos sólidos são também produzidas no processo. Dependendo do conteúdo de enxofre, os procedimentos de redução em uma usina de 1.000 MWe ao longo de um ano resultam em resíduos sólidos de 500 mil toneladas a partir do carvão; mais de 300 mil toneladas a partir do óleo e algo em torno de 200 mil toneladas a partir do processo de limpeza do gás natural. O resíduo sólido que contenha substâncias tóxicas deve ser armazenado em tanques.

Gases de Efeito Estufa: O esforço para a redução da emissão de gases de efeito estufa requer a atenção para as emissões ao longo de toda a cadeia de energia, como extração, transporte, fabricação e construção. A queima do gás natural emite menos CO₂ que óleo ou carvão, mas vazamentos na extração ou transporte, que em alguns setores são superiores a 5%, podem eliminar esta vantagem, uma vez que o metano liberado é 7 vezes mais potente que o CO₂ em termos de efeito estufa. Em gramas equivalentes de carbono por kW, cadeias de gás natural podem apresentar emissões comparáveis com as cadeias de energia do carvão. Na cadeia da hidroeletricidade a decomposição de matéria orgânica nas represas pode apresentar emissões de cadeias de gás natural. A cadeia fotovoltaica tem emissão elevada em virtude da emissão no processo de fabricação de chips de silício.

Aspectos de caráter tecnológico e não explicitados anteriormente estão ainda envolvidos nas diversas cadeias. Exemplificando, a energia eólica ainda apresenta questões como fadiga mecânica do eixo da turbina e conseqüente ônus da manutenção, perda de eficiência (até 40%) com a deposição de insetos no frontal aerodinâmico da hélice e necessidade de jato de água para remoção destes insetos. Frente ao cenário mundial de energia e com câmbio favorável, a transformação da lignina em álcool viabiliza que a conversão do bagaço e da palha de cana em álcool passe a competir com o uso direto do bagaço e palha na geração térmica. No contexto nuclear, tecnologias disponíveis em curto prazo permitirão realizar a transição para um ciclo do combustível nuclear estável, de longo prazo, ambiental, política e economicamente aceitável na geração de energia elétrica; de modo que barreiras como custos de capital e destinação dos rejeitos radioativos já demonstram soluções apropriadas. As projeções 2006-2030 de fontes primárias na geração de energia elétrica dos EUA apresentam retomadas acentuadas do carvão e nuclear. A retomada do carvão a partir de 2019 pressupõe o uso ambientalmente amigável deste combustível a partir da evolução dos custos da geração de energia e, principalmente, do desenvolvimento e implementação de tecnologias apropriadas (EIA/DOE, 2007).

A DIMENSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: As Tabelas 1 e 2 contêm os consumos de energia elétrica do Brasil, conforme projeções da Energy Information Administration (EIA/DOE, 2006) e da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2006), expressos em valores absolutos, em termos relativos a 2003 e em valores per capita.

Considerando casos de referência, alto e baixo desenvolvimentos econômicos, a Figura 1 mostra as projeções da EIA e da EPE para o consumo de energia elétrica e PIB per capita do Brasil até 2030. As projeções são comparadas com a média mundial de referência da EIA. Na condição de referência, o consumo brasileiro aproxima-se da projeção média mundial em ambas as projeções, mas o PIB per capita somente na condição de alto desenvolvimento econômico. A projeção de referência do PIB per capita brasileiro aproxima-se pouco do valor médio mundial da EIA. Os valores entre parênteses representam taxas médias anuais com base na avaliação EIA/DOE e dados coletados e trabalhados por MATTOS e DIAS (2007).

Tabela 1 - Consumo de Energia Elétrica (bilhões de kWh e % em relação a 2003)

Ano	EIA/DOE			EPE/MME		
	Ref.	Alto	Baixo	Ref.	Alto	Baixo
2003	371	371	371	371	371	371
2015	610(64%)	662(78%)	563(52%)	618(67%)	658(77%)	563(52%)
2030	871(135%)	1064(187%)	723(95%)	913(146%)	1300(251%)	776(109%)
Anual	3,2 %	4,0 %	2,5 %	3,4 %	4,8 %	2,8 %

Tabela 2 - Consumo de Energia Elétrica (kWh per Capita)

População em milhões		EIA/DOE			EPE/MME		
Ano	Brasil	Ref.	Alto	Baixo	Ref.	Alto	Baixo
2003	179	2073	2073	2073	2073	2073	2073
2015	208,5	2926	3175	2700	2963	3155	2702
2030	237,7	3664	4476	3042	3839	5470	3263

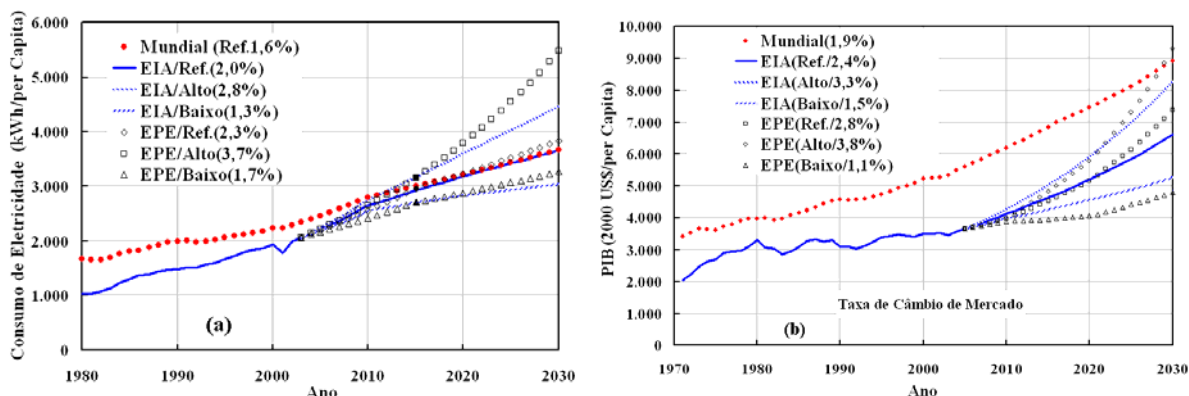


Figura 1 - Projeções do (a) consumo de energia elétrica e (b) PIB per capita brasileiro.

Em termos da geração de energia elétrica de 2003, o Brasil ocupa a 10ª posição entre os maiores geradores mundiais, mas a 90ª posição no consumo per capita (SILVA, 2006). Em termos absolutos, o País fica em 2º lugar, com o Canadá em 1º lugar, na contribuição da fonte hídrica para a geração total de energia elétrica. Em termos relativos, a matriz de energia elétrica em dezembro de 2005 ficou com a distribuição dada na Tabela 3.

Tabela 3 - Fontes na Geração de Energia elétrica (SILVA, 2006)

Fonte	Capacidade Instalada		Geração	
	MWe	%	MWe médios	%
Hidráulica	69.631	76,2	42.272	92,4
Térmica Convencional	19.778	21,6	2.329	5,1
Nuclear	2.007	2,2	1.125	2,5
Total	91.416	100,0	45.726	100,0

Somente as fontes nuclear e hídrica aumentaram a contribuição relativa entre capacidade instalada e geração. Os valores percentuais da Tabela 1 mostram que o crescimento do consumo demandará grande aumento da capacidade de geração e/ou grande aumento da eficiência energética ou rendimento do sistema quando expresso pela relação entre geração média e capacidade instalada da Tabela 3.

A Figura 2 mostra a projeção da elasticidade do consumo de energia elétrica/PIB conforme a avaliação de referência da EIA. Neste gráfico de média decenal, o valor em 2012 representa a média de valores do período 2003 a 2012. Tradicionalmente para o Brasil, este fator situa-se acima de 1,2 e a redução acentuada a partir de 2012 representa que, na projeção da EIA, as taxas de crescimento do consumo de energia elétrica ficarão abaixo das taxas de crescimento econômico do país. Esta tendência é um fator preocupante, uma vez que, para países em desenvolvimento, o consumo de energia elétrica é um dos elementos de sustentação do crescimento econômico e as margens atuais da geração de energia elétrica são limitadas para a plena retomada do crescimento econômico.

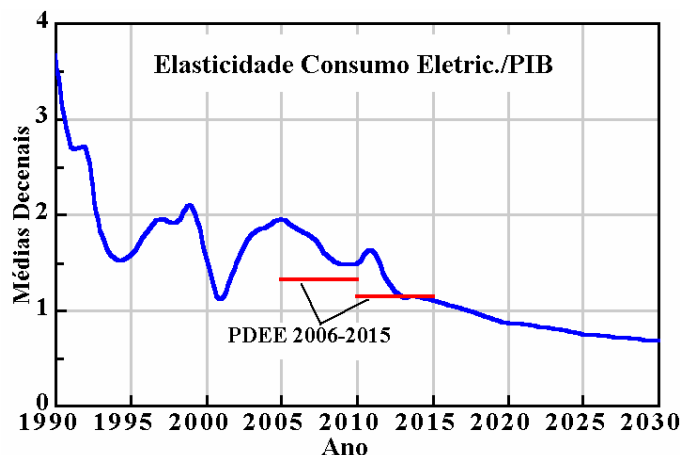


Figura 2 - Projeções da elasticidade do consumo de energia elétrica/PIB.

A crise no setor elétrico de 2001 indicou claramente a vulnerabilidade do sistema elétrico brasileiro, que é baseado na água, uma fonte de energia renovável com uma vantagem indiscutível, mas que inclui também o risco de depender dos ciclos naturais para sua renovação e estes ciclos apresentam sucessões entre estações secas e chuvosas. Adicionalmente, a fronteira para a expansão da geração hidrelétrica, regiões Centro-Oeste e Norte, possui topografia plana o que não favorece o aumento da reservação, fato que conjugado aos ciclos ambientais naturais (secos e chuvosos) pode amplificar o risco de faltas eventuais da água com o crescimento da demanda de energia elétrica.

ANÁLISE: Desenvolvidas em fase anterior ao lançamento do Programa de Aceleração do Crescimento, PAC, as avaliações da EIA e da EPE projetam um crescimento modesto para a economia do Brasil, mesmo em relação à média mundial. Entretanto, o consumo de energia elétrica projeta a necessidade de crescimento referencial da ordem de 140% ao longo de 27 anos. A dimensão deste crescimento ou mesmo uma projeção maior, de modo a contribuir com excedentes na geração de energia elétrica que permitam alavancar um maior crescimento econômico, exige a consideração de todas as fontes primárias. A consideração e análise envolvem os fatores socioeconômicos e ambientais, apontados inicialmente, e ainda 4 fatores adicionais, descritos a seguir.

Variações climáticas: As variações climáticas da última década indicam que fontes de energia com base na natureza passam a ter um risco maior. Assim, as hidrelétricas do centro-oeste e norte, cuja operação deve ocorrer a fio d'água, passam a ter caráter intermitente em função dos ciclos naturais de seca e chuvas. Mesmo as represas da região sudeste com alta capacidade de reservação ficam comprometidas com as altas vazões atuais para atendimento da demanda de energia elétrica. Conseqüentemente, a capacidade de reservação é uma característica necessária para os sistemas futuros de geração.

Evolução tecnológica: Por meio de evoluções tecnológicas, fontes primárias que hoje são pouco atrativas podem se tornar interessantes em futuro próximo e vice-versa. Sempre no contexto de custo e benefício, citam-se a geração limpa de energia elétrica a partir do carvão e a produção de álcool a partir da lignina que transformaria o bagaço e a palha de cana em matéria prima mais nobre em detrimento da geração de calor pura e simplesmente. No mesmo contexto pode se inserir o uso de gases emanados de lixões. Os lixões são hoje um problema para diversos municípios brasileiros e a conscientização social do problema pode reduzir, não só o lixo per capita, como também suas emanações. Em suma, a monitoração da evolução tecnológica é estratégica e envolve o fomento do trabalho conjunto de universidades, instituições de pesquisa e grupos de planejamento energético do País.

Eficiência energética: A crise no setor elétrico de 2001 impeliu na sociedade brasileira uma reação em direção à utilização mais apropriada da energia elétrica tais como o uso de aparelhos domésticos e itens de iluminação novos, que realizam o mesmo trabalho com menor carga de energia, e atitudes positivas e individuais na racionalização do uso da energia. A carga de pico resultante do chuveiro elétrico na região sudeste é um dos elementos que deve ser analisado em termos de aquecedores solares ou reservatórios com

temporizadores automáticos para aquecimento fora do horário de pico. Por meio das conseqüências no uso racional da energia e aumento da eficiência do sistema brasileiro, como um todo, a ação da sociedade brasileira pode ser equivalente ao ganho de várias centrais elétricas novas. A eficiência energética é também estratégica e é essencial o envolvimento da população na aplicação pertinente de seus resultados.

Geração distribuída e concentrada: Os custos da geração de energia elétrica são crescentes em todo o mundo, sem perspectivas de reversão desta tendência (MATTOS e DIAS, 2007). Dentro da dimensão de ação de governo, ação de setores produtivos ou mesmo de indivíduos da sociedade, os investimentos na geração ou na economia de energia elétrica são amortizados em prazos cada vez mais curtos. Assim, investimentos maiores ou menores, como PCH's, devem resultar de parcerias entre governos e setores privados da sociedade para que melhores índices econômicos possam ser alcançados. O volume dos investimentos necessários na matriz de energia elétrica exige a coordenação e integração de ações das partes envolvidas.

CONCLUSÕES: Em face da dimensão do crescimento do consumo de energia elétrica e sua relação com o desenvolvimento econômico, todas as fontes primárias constituem contribuições positivas dentro do conjunto apropriado de soluções socioeconômicas e ambientais para as regiões do País. As fontes com capacidade de reserva devem ser consideradas para atuação na base do sistema gerador de energia elétrica do país, uma vez que fontes dependentes de ciclos da natureza passam a ter a certeza das variações climáticas. Em função desta certeza, a regulação térmica é hoje uma necessidade para o País. A ampla gama de opções energéticas do país e a dimensão do crescimento da demanda tornam as decisões complexas e criam um ambiente competitivo, dentro de um ambiente de recursos de investimentos escassos. Entretanto, ações coordenadas, participativas e integradas de todos os segmentos da sociedade brasileira, governo e agências reguladoras, setores produtivos da economia, universidades e instituições de C&T, e, em especial, a população brasileira, são necessárias para a obtenção do bem maior, o crescimento auto-sustentável da geração de energia elétrica do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, P.M. Energia Nuclear - Uma opção inevitável para Portugal, 22 de fevereiro de 2006, www.ordemengenheiros.pt. [consulta:março/2006].

EIA/DOE – Energy Information Administration, Annual energy outlook – 2007, February 2007, (DOE/EIA-0383(2007)), www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/.

EIA/DOE, International energy outlook – 2006, June 2006, (DOE/EIA-0484(2006)). www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano decenal de expansão de eletricidade 2006-2015 e Plano nacional de energia 2030. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: www.mme.gov.br.

IAEA, Sustainable Development and Nuclear Power. Division of Public Information, IAEA, 1997. <http://www.iaea.org/Publications/Development/index.html>

MATTOS, J.R.L.; DIAS, M.S. Brasil Nuclear: da estagnação ao crescimento, CDTN/CNEN, março 2007. (PubCDTN-960-2007)

SILVA, O.L.P. Energia Nuclear: Inserção no sistema elétrico nacional. Seminário da Confederação Nacional da Indústria, Brasília, 4 Out. 2006.