



Texto de Discussão do Setor Elétrico

TDSE n.º 50

**Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro e
o Potencial Hidroelétrico da Região
Amazônica**

Nivalde José de Castro
Pedro Bara Neto
Roberto Brandão
Guilherme de A. Dantas

Rio de Janeiro
Maio de 2012

Sumário

Introdução	3
1- Peculiaridades do Desafio do Setor Elétrico Brasileiro	5
2- O Paradoxo da Abundância.....	9
3- A Viabilidade da exploração do potencial hidroelétrico da Região Amazônica	19
4- Parâmetros para o estabelecimento de uma Matriz Elétrica Estratégica...23	
Conclusão.....	28
Referências.....	30

Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro e o Potencial Hidroelétrico da Região Amazônica

Nivalde José de Castro¹
Pedro Bara Neto²
Roberto Brandão³
Guilherme de A. Dantas⁴

Introdução

O Brasil é uma exceção no setor elétrico mundial na medida em que conta com recursos naturais endógenos e renováveis suficientes para expandir a oferta de energia elétrica nas próximas décadas sem estar sujeito a restrições impostas pela necessidade de mitigar as alterações climáticas.

No caso brasileiro, a questão central é a definição de quais dentre as várias fontes primárias de energia disponíveis devem ser priorizadas na expansão da matriz de geração com vistas ao atendimento da demanda crescente por energia elétrica. Este “problema” pode ser denominado como o “paradoxo da abundância” e deve ser equacionado de forma tal que a garantia do suprimento esteja associada à manutenção do caráter renovável e sustentável da matriz elétrica brasileira em bases competitivas de custos.

A prioridade da política energética brasileira é a exploração do potencial hídrico remanescente para ampliar a capacidade do parque gerador brasileiro. Trata-se de

¹ Professor da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico do Instituto de Economia da UFRJ.

² Líder da estratégia de infraestrutura da iniciativa Amazônia Viva da rede WWF.

³ Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ.

⁴ Doutorando do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ.

uma estratégia adotada sempre que os benefícios energéticos se apresentarem superiores aos impactos sócio-ambientais decorrentes da construção de centrais hidroelétricas. Como o potencial hídrico remanescente concentra-se na Região Amazônica o processo de decisão torna-se extremamente complexo, devendo ser realizado de forma cuidadosa embasada em critérios ambientais, técnicos e econômicos.

Neste contexto é preciso destacar que a expansão hídrica na Região Norte do país terá implicações diretas sobre o *modus operandi* do sistema elétrico. Estes condicionantes devem-se ao fato da configuração geográfica da região ser essencialmente plana. E em respeito à legislação em vigor é necessário minimizar os impactos ambientais das usinas que venham a ser construídas nesta região, sendo que a principal restrição é a construção de UHE com grandes reservatórios associados.

Esta mudança no paradigma operativo do sistema elétrico brasileiro irá exigir a diversificação da matriz de forma a permitir a complementação da geração hídrica ao longo do período seco do ano. Cabe destacar que a necessidade de contratação de projetos de fontes complementares torna-se ainda maior diante ao lento ritmo de implementação das hidroelétricas na Região Norte em função da complexidade das variáveis sócio-ambientais do bioma amazônico.

Para analisar estas questões o estudo está dividido em quatro partes, além desta introdução. Inicialmente, é desenvolvida análise das características e peculiaridades dos principais desafios do setor elétrico brasileiro (SEB). A segunda parte dedica-se ao exame das alternativas disponíveis para a expansão da matriz elétrica brasileira. Em seguida, é estudada a viabilidade da construção de usinas hidroelétricas na Amazônia de forma condizente com os preceitos do desenvolvimento sustentável. Na quarta parte discutem-se os critérios que deverão

ser adotados na determinação das fontes e a consequência sobre a operação do sistema elétrico com a inserção de usinas hidroelétricas sem reservatórios de grande porte.

Ao final são formuladas as principais conclusões indicando que é possível a exploração do potencial hídrico da Região Norte de forma sustentável, entretanto, devido ao ritmo que estes projetos deverão ser implementados e a mudança do paradigma operativo do sistema elétrico ocasionada pelas novas hidroelétricas, será necessária a diversificação da matriz brasileira através da contratação de projetos com outras fontes energéticas com vistas à garantia da segurança do suprimento.

1 – Peculiaridades do Desafio do Setor Elétrico Brasileiro

O setor elétrico mundial necessitará de uma expressiva expansão da sua oferta nos próximos anos com vistas a atender ao crescimento da demanda⁵, que terá como um dos principais vetores de crescimento a necessidade de universalização do acesso à energia elétrica nos países em desenvolvimento. Por outro lado, como a eletricidade é a forma mais “nobre” de energia, sua demanda crescerá a taxas maiores daquelas que serão verificadas para demanda de energia⁶.

No entanto, deve-se considerar que o aumento da oferta de energia elétrica não poderá ter como parâmetro histórico de expansão a matriz elétrica mundial atual. Esta restrição é consequência de uma matriz elétrica baseada em combustíveis

⁵ De acordo com IEA (2010a), a demanda mundial por energia elétrica crescerá a uma taxa anual média de 2,2% até 2035 atingindo o valor de 30.300 TWh em contraste com uma demanda de 16.819 TWh verificada em 2008.

⁶ Várias medidas de eficiência energética estarão associadas a um uso mais intensivo de energia elétrica.

fósseis, contrapondo-se assim à imperativa necessidade de mitigação das alterações climáticas e a contenção da emissão de gases do efeito estufa⁷. Desta forma, o setor elétrico mundial está diante do grande desafio de: ampliar a oferta para garantir a segurança do suprimento e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

Cabe enfatizar que a relevância destes objetivos varia no espaço. Os países em vias de desenvolvimento têm como objetivo basilar expandir a oferta de energia elétrica porque ainda possuem níveis de consumo de energia elétrica bastante reduzidos⁸ e para isto precisam de um arcabouço regulatório e um sistema financeiro que criem as condições adequadas para que a expansão ocorra a custos competitivos. A questão ambiental surge mais especificamente nos países emergentes com economia de maior porte, sobretudo China e Índia, pois são países que apresentam elevado volume de emissões de gases do efeito estufa em termos absolutos.

Em contrapartida, os países desenvolvidos terão crescimento reduzido em suas demandas por energia elétrica nos próximos anos. E a expansão da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis atende a duas preocupações destes países. Por um lado, é preciso aumentar a participação da geração a partir de fontes renováveis de energia elétrica para atender os compromissos de redução das emissões de gases do efeito estufa. Por outro lado, a geração a partir de fontes renováveis, por se dar a partir de recursos nacionais, está diretamente associada à diminuição da dependência da importação de insumos energéticos, uma

⁷ Ver IEA (2010a).

⁸ Segundo IEA (2010b), o consumo per-capita mundial de energia elétrica em 2008 dos países da OECD foi de 8.486 kWh em contraste com um consumo de 2.471 kWh na China, de 1.956 kWh na América Latina, e 571 kWh no continente africano.

preocupação que atinge, sobretudo os países com escassez de hidrocarbonetos, como é o caso da Europa.

As perspectivas e desafios do setor elétrico brasileiro (SEB) são de natureza totalmente diversa. Na condição de país em desenvolvimento, o Brasil apresentará um expressivo crescimento da demanda por energia elétrica nos próximos anos. No entanto, as condições regulatórias e de financiamento do setor criadas principalmente a partir de 2004, garantem as condições para a expansão da oferta em condições de equilíbrio frente à demanda e com custos competitivos. Ao mesmo tempo, a matriz elétrica brasileira já é predominantemente renovável e existe uma variedade de recursos disponíveis em grandes quantidades para expandirem a oferta com base em energéticos nacionais.

A economia brasileira deve crescer a uma taxa anual média de aproximadamente 4,1% até 2030⁹. A manutenção deste ciclo expansivo da economia brasileira é essencial para o desenvolvimento sócio-econômico do país e esta é uma questão de extrema relevância porque, embora detentor da sexta economia do mundo, o Brasil ainda apresenta um elevado déficit social, conforme pode ser comprovado por seu baixo Índice de Desenvolvimento Humano¹⁰.

De acordo com GOLDEMBERG *et al.* (1988), existe uma inequívoca relação entre desenvolvimento sócio-econômico e níveis crescentes de consumo de energia. No caso brasileiro, em termos de energia elétrica, esta relação fica explícita no

⁹ Crescimento considerado no cenário de referência do Plano Nacional de Energia 2030.

¹⁰ O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida comparativa que faz uma análise comparativa entre o nível de desenvolvimentos dos países a partir do nível de renda per-capita, educação e expectativa de vida. O Brasil ocupa atualmente a 84ª posição no ranking IDH com um valor de 0,718 contra um IDH de 0,943 da Noruega que lidera o ranking.

Programa Luz para Todos¹¹ que tem como objetivo à universalização do acesso à energia elétrica no território brasileiro.

A estrutura econômica e as tecnologias adotadas por um país são variáveis que também influenciam o ritmo do crescimento da demanda por energia. Neste sentido, um crescimento econômico focado em setores de maior valor agregado e menor intensidade energética permitiria um desenvolvimento com menores necessidades energéticas, ao passo que o desenvolvimento industrial centrado no crescimento de setores eletro intensivos impacta de forma significativa o consumo de energia elétrica¹². Porém, a discussão a respeito de tais alternativas está no âmbito da elaboração de políticas industriais e foge da esfera analítica deste estudo, o qual adotará como suposto que não existirão alterações significativas na estrutura econômica e tecnológica brasileira nos próximos 20 anos que possam impactar a demanda de energia elétrica de forma significativa, tratando-se assim de uma condição à análise que se segue.

A promoção de políticas de eficiência energética é essencial para uma trajetória sustentável do setor energético por significar o atendimento da demanda por um serviço energético com uma menor quantidade de recursos primários de energia. Logo, este tipo de política é condizente com os três objetivos estratégicos e centrais da política energética:

- i. Garantia do suprimento,
- ii. Competitividade de custos e
- iii. Sustentabilidade ambiental.

É importante notar que a política energética brasileira já considera a adoção de medidas de estímulo à eficiência energética que estão assignadas no Plano

¹¹ Este programa teve início no fim de 2003 e a expectativa é que encerre 2011 tendo levado energia elétrica para 15 milhões de pessoas.

¹² Este tipo de estratégia é conhecida como *leapfrogging*. Ver GOLDEMBERG e LUCON (2007).

Nacional de Eficiência Energética¹³. Portanto, as projeções de crescimento da demanda brasileira por energia, especificamente sobre energia elétrica até 2030, já contemplam as medidas de eficiência energética e mesmo assim são bastante expressivas. Com base nos diversos cenários elaborados pela EPE (2007), é possível estimar o consumo de energia elétrica brasileira até 2030. Tomando por base o cenário denominado por “surfando a marola¹⁴” como referência, o consumo final de energia elétrica no Brasil atingirá o valor de 1.047 TWh¹⁵ em 2030, tendo sido de 481,3 TWh em 2011...

Observa-se assim a necessidade de uma expressiva expansão da oferta de energia elétrica com vistas ao atendimento da demanda crescente. A próxima seção é dedicada justamente à análise das fontes energéticas disponíveis para esta expansão e quais delas devem ser priorizadas com o objetivo de que a expansão ocorra de forma a garantir a segurança do suprimento em bases competitivas e com os menores impactos ambientais possíveis.

2 – O Paradoxo da Abundância

O Brasil possui uma ampla disponibilidade de diferentes recursos energéticos o que permite construir um cenário de independência energética consistente. Além disso, o país conseguiu construir a partir de 2003-2004 um marco regulatório e estrutura de financiamento que garantem condições firmes para que a expansão da oferta acompanhe os requisitos determinados pela demanda. Isto contrasta

¹³ Em seu cenário de referência, EPE (2011) estima que medidas de eficiência energética serão capazes de reduzir a carga em aproximadamente 6 GWmed em 2030.

¹⁴ Considera a economia brasileira crescendo a uma taxa anual média de 4,1% entre 2005 e 2030 e a economia mundial crescendo no mesmo período a uma taxa de 3,0% ao ano. Este consumo final de energia equivale a uma carga de energia em torno de 126.000 MWmed em 2030.

¹⁵ Não inclui o consumo do setor energético.

fortemente com a situação dos países desenvolvidos, sobretudo europeus, onde os recursos energéticos são escassos, e de países em vias de desenvolvimento que mesmo possuindo recursos primários de energia, em muitos casos não possuem uma estrutura institucional que permita a conversão do potencial disponível em oferta de energia elétrica a custos competitivos. Neste sentido, pode-se destacar que o desafio do setor elétrico brasileiro é equacionar aquilo que pode ser denominado por paradoxo da abundância.

Segundo CASTRO *et al.* (2010a) a produção de energia elétrica no Brasil tem baixa intensidade em carbono¹⁶ já que na média aproximadamente 90% da carga é atendida a partir de recursos hídricos. Como consequência, a análise das possibilidades de expansão do parque gerador brasileiro deve começar a partir do potencial hídrico remanescente.

Nestes termos, o Brasil possui o terceiro maior potencial hidroelétrico mundo, estimado em 260 GW, tendo explorado apenas 34% deste potencial. Esta relação contrasta com países como França e Alemanha que já exploraram a quase totalidade de seus potenciais hídricos (TOLMASQUIM, 2011).

O potencial hídrico brasileiro remanescente localiza-se essencialmente na Região Norte¹⁷. Desta forma, com base em ANA (2005), já eram previstas, conforme vieram a se confirmar, grandes dificuldades para a exploração deste potencial devido à complexidade das variáveis sócio-ambientais inerentes a região. Trata-se de uma região onde prevalecem áreas de preservação, florestas e reservas indígenas, configurando um conflito potencial latente entre o uso da terra, preservação do meio ambiente e aproveitamento dos recursos hídricos. Além

¹⁶ De acordo com Tolmasquim (2011), em 2005 o setor elétrico brasileiro emitiu somente 26 milhões de toneladas de CO_{2eq}. Para efeito de dimensionamento, as emissões totais do Brasil são superiores a 2 bilhões de toneladas.

¹⁷ Apenas 7% do potencial hídrico do bioma amazônico foi explorado.

disso, a exploração dos recursos naturais vem ocorrendo de forma predatória e os fluxos migratórios têm ocorrido de forma desordenada em um contexto de baixo capital humano, desintegração econômica e limitações logísticas. Some-se a estes problemas a necessidade da construção de extensas linhas de transmissão, dado que este potencial hidroelétrico remanescente encontra-se distante do centro de carga do país.

Desta forma, a construção de centrais hidroelétricas no bioma amazônico deve ocorrer apenas quando seus benefícios energéticos para o país sejam superiores aos seus impactos sócio-ambientais e mesmo assim devem ser adotadas todas as medidas necessárias para a mitigação e compensação destes impactos. É justamente estas condicionantes que vem justificando a opção por usinas fio d' água¹⁸, sobretudo por se tratar de uma região com topografia suave. Por outro lado, esta opção tecnológica irá determinar importantes implicações sobre o paradigma operativo do sistema elétrico brasileiro conforme assinalado por Castro *et al.* (2010b).

Os impactos sócio-ambientais diretos¹⁹ de uma usina fio d' água são menores que os impactos verificados em uma usina com reservatório de grande porte porque o alagamento resultante é consideravelmente menor. Por outro lado, a construção de reservatórios de acumulação permite a regularização oferta hídrica ao longo do ano, pois a água estocada no período úmido é convertida em energia elétrica no período seco do ano. É justamente esta dinâmica que permite o atual sistema

¹⁸ Apesar de toda usina hidroelétrica possuir um reservatório associado, tais reservatórios diferem e são as características destes que determinam o padrão operativo da usina hidroelétrica. Os reservatórios de compensação possuem volume suficiente para a regularização de descargas apenas ao nível diário e semanal. As hidroelétricas que possuem este tipo de reservatórios são comumente denominadas como usinas fio d' água. Em contrapartida, os reservatórios de acumulação possuem tamanhos maiores, sendo capazes de regularizarem as vazões mensais, anuais ou mesmo de vários anos.

¹⁹ Cabe destacar que persistem os impactos indiretos, pois a atração de contingente populacional para a construção do empreendimento potencializa os problemas sócio-ambientais supracitados.

elétrico brasileiro atender a demanda de energia elétrica essencialmente a partir de recursos hídricos.

O projeto de uma usina hidroelétrica envolve o dimensionamento do nível máximo operativo do reservatório assim como o seu nível máximo de deplecionamento. Quanto maior o nível máximo operativo e quanto maior o nível máximo de deplecionamento, mais água, e, por conseguinte, mais energia, o reservatório será capaz de estocar. Em princípio, a lógica de um projeto de hidroelétrica é que a capacidade de estocagem de água deve ser aumentada, enquanto os benefícios energéticos para a usina e para as usinas a jusante na cascata do rio, forem superiores aos custos (econômicos e ambientais) oriundos deste aumento.

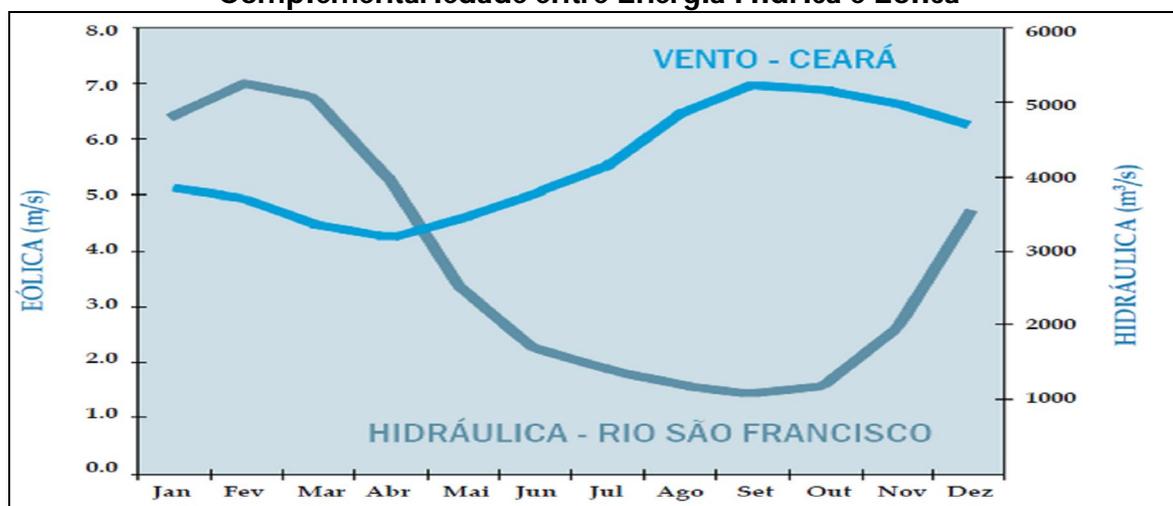
A construção de usinas fio d' água na Região Amazônica reduzirá a capacidade de regularização da oferta hídrica ao longo do ano devido à diminuição da "reserva estratégica" do sistema elétrico. Isso representará, no médio e longo prazo, uma mudança no paradigma de operação do sistema elétrico brasileiro. Na medida em que estas usinas forem sendo inseridas no parque gerador brasileiro, os reservatórios existentes terão que ser operados de forma mais "agressiva", ou seja, haverá uma maior variação de nível dos reservatórios ao longo de um mesmo ano (EPE, 2008). Concomitantemente, ocorrerá um aumento do intercâmbio de energia entre os subsistemas. Entretanto, no momento em que uma expressiva parte da capacidade hídrica estiver vinculada a usinas do tipo fio d'água, mesmo com a adoção deste novo padrão operativo, haverá a necessidade de complementação do parque hídrico, porque não será possível o atendimento da carga no período seco do ano apenas com geração hidroelétrica (CASTRO *et al.*, 2010b)²⁰.

²⁰ Todavia, a construção de reservatórios de médio porte com alguma capacidade de acumulação já seria de grande valia para a otimização do sistema, especialmente em operação conjunta com o parque eólico. Isto ocorre porque a existência deste reservatório permite aumentar a potência disponível de forma a ser possível o atendimento da ponta mesmo em momentos de pouco vento.

Embora o caráter “limpo” da matriz elétrica brasileira seja essencialmente função da predominância hídrica em sua composição, o Brasil dispõe de outras fontes renováveis aptas a serem inseridas na matriz em larga escala, contribuindo para a manutenção de uma oferta de energia elétrica com reduzida intensidade em carbono.

No âmbito da energia eólica, o potencial brasileiro auferido a 100 metros de altura está estimado em valor superior a 300 GW (TOLMASQUIM, 2011). Além do caráter renovável desta fonte, ela se destaca por ser intrinsecamente complementar à geração hidroelétrica. Como os ventos são mais intensos e regulares no período seco do ano, especialmente na Região Nordeste do país, onde se localiza o maior potencial eólico brasileiro. O Gráfico 1 ilustra esta complementariedade.

Gráfico 1
Complementariedade entre Energia Hídrica e Eólica



Fonte: TORRES (2009).

O argumento até recentemente apresentado como entrave à promoção da energia eólica no Brasil era seu elevado custo. Porém, nos últimos anos verificou-se uma expressiva redução do preço da energia eólica no Brasil, saindo de um patamar de custos superior ao praticado a nível internacional para valores extremamente

competitivos²¹. Esta redução de custos é função de políticas públicas bem elaboradas com medidas como incentivos fiscais e desoneração tributária, e ao desenvolvimento da indústria de turbinas eólicas no Brasil. Concomitantemente, a crise econômica internacional ao reduzir o ritmo de expansão da energia eólica no mundo se constituiu em um elemento conjuntural de redução do custo do investimento, pois forçou os fabricantes de equipamentos para geração eólica a disputarem intensamente as oportunidades de negócios remanescentes em escala mundial, onde o Brasil tornou-se um dos mercados promissores.

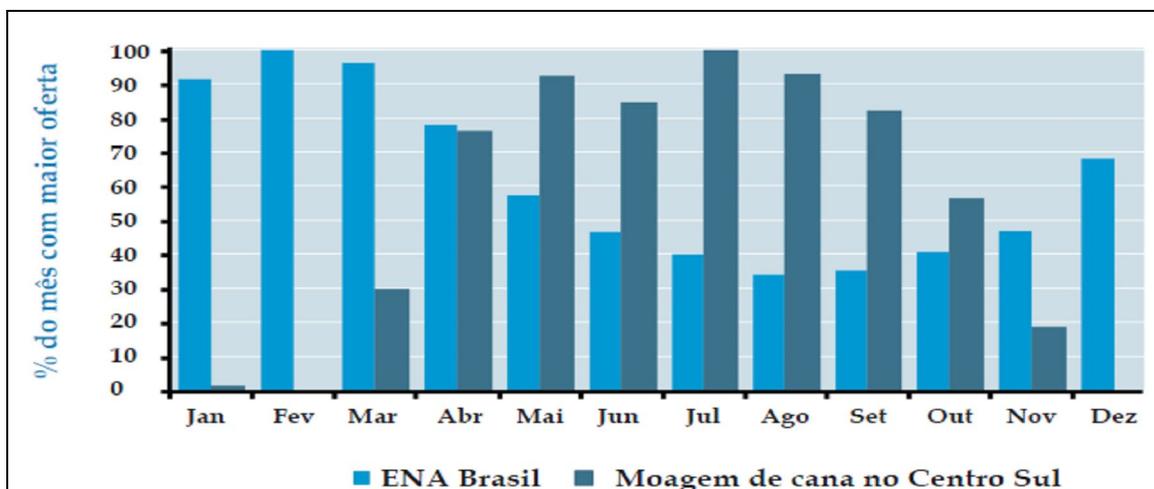
Outra fonte de energia elétrica renovável que apresenta perspectivas favoráveis em relação à expansão da matriz elétrica brasileira é a bioeletricidade sucroenergética. Por ser gerada em plantas de co-geração²² usando a biomassa residual do processo produtivo de etanol e de açúcar, esta energia elétrica é condizente com as duas diretrizes principais de sustentabilidade do setor energético: eficiência e utilização de fontes renováveis.

Assim como a energia eólica, a principal vantagem da inserção da bioeletricidade sucroenergética na matriz brasileira em uma escala condizente com o seu potencial é sua intrínseca complementariedade com a geração hídrica. Esta característica deve-se ao fato da safra canavieira na Região Centro Sul ocorrer entre os meses de maio e novembro coincidindo com o período seco no subsistema Sudeste-Centro, que concentra 70% da capacidade dos reservatórios brasileiros (CASTRO *et al.*, 2008). O Gráfico 2 demonstra a complementariedade existente entre a safra canavieira e a energia natural afluenta.

²¹ Nos últimos 3 anos foram contratados 5.848,8 MW de potência eólica (2.653,8 MWmed) ao mesmo tempo em que o preço saiu do patamar de R\$ 279,56 por MWh (preço do Proinfa corrigidos para julho de 2011) para aproximadamente R\$ 100,00 por MWh praticados nos leilões de 2011 (OLIVEIRA, 2011).

²² Co-geração é a produção de energia mecânica que pode ser convertida em eletricidade e energia térmica a partir de um mesmo insumo energético.

Gráfico 2
Complementariedade entre a Bioeletricidade e a Geração Hídrica



Fonte: CASTRO *et al.* (2010a).

O potencial produtivo da bioeletricidade é função da tecnologia adotada e da oferta de biomassa disponível. O paradigma tecnológico atual é o Ciclo Rankine com caldeiras que operam a temperaturas e pressões altas, com turbinas de extração e condensação. No que se refere à disponibilidade de biomassa, a necessidade de expansão do setor sucroenergético com vistas ao atendimento da crescente demanda por etanol e da demanda internacional de açúcar tende a disponibilizar montantes crescentes de biomassa que serão utilizados na geração de eletricidade. Concomitantemente, a adoção da colheita mecanizada e o consequente fim da prática da queimada faz com que a palha passe a poder ser utilizada com fins energéticos juntamente com o bagaço. A Tabela 1 apresenta estimativas do potencial de geração de bioeletricidade a partir de projeções da safra canavieira.

Tabela 1
Estimativa do Potencial de Bioeletricidade Sucroenergética: 2015-2021
(em milhões de ton e MWmed)

Safra	Cana (em milhões de toneladas)	Potencial de Geração (em MWmed)
2015-2016	828	11.484
2020-2021	1038	14.379

Fonte: CASTRO *et al.* (2010a).

Ainda no âmbito das fontes renováveis, na condição de ser um país de dimensão continental e tropical, o Brasil apresenta uma expressiva incidência solar que garante um potencial de geração solar de grande escala. Cabe frisar que existe uma nítida segmentação entre a tecnologia de geração de fotovoltaica²³ e a geração solar térmica a partir de concentradores solares²⁴. A energia solar é uma importante fonte de geração distribuída, ou seja, geração próxima ao centro de consumo, reduzindo desta forma a necessidade de investimentos no sistema de transmissão.

O grande obstáculo para a expansão desta fonte de geração permanece sendo o elevado custo. Porém, já se verifica uma redução do custo dos investimentos em

²³ O princípio da célula fotovoltaica é a utilização de um material semicondutor, que se caracteriza por ter banda de valência e banda de condução. O material normalmente utilizado é o silício que possui 4 elétrons, o mesmo é dopado com o fósforo que possui 5 elétrons e boro que possui 3 elétrons. Desta forma, o elétron excedente na banda dopada com fósforo tende a se transferir para a banda do boro que ficará carregada negativamente enquanto a outra banda ficará carregada positivamente. Em equilíbrio a transferência de elétrons cessa e se forma o campo elétrico. A incidência dos fótons da energia solar com energia superior ao *gap* permite que ao se ligar esta célula a um fio se tenha corrente elétrica.

²⁴ Historicamente a rota fotovoltaica se difundiu em uma escala muito maior em comparação com os concentradores solares, mesmo sendo uma tecnologia de maior custo. Isto se deve a reduzida necessidade de manutenção dos painéis fotovoltaicos que tornam esta tecnologia apta a ser utilizada em regiões remotas e isoladas.

plantas solares, sobretudo fotovoltaicas, no mercado internacional²⁵, em grande parte impulsionada pela China. Neste sentido, esta fonte deverá seguir uma trajetória de redução de custos análoga à energia eólica podendo vir a se constituir em novo componente de vetor de expansão da matriz no médio e longo prazo.

Além das fontes renováveis analisadas, o Brasil apresenta importantes potencialidades no âmbito das fontes fósseis, especialmente após as descobertas dos recursos energéticas do pré-sal. Para o setor elétrico brasileiro, o recurso fóssil mais relevante é o gás natural que apresenta menor intensidade em carbono²⁶ e apto a ser utilizado diretamente em turbinas a gás das usinas termoelétricas.

Por se tratar de um recurso de estoque, a geração de energia elétrica através da queima de gás natural possui elevado nível de confiabilidade, sendo condizente com uma estratégia para a promoção da segurança do suprimento. Logo, a alternativa de inserção de térmicas a gás natural na matriz brasileira em escala significativa torna-se importante, sobretudo térmicas a ciclo combinado operando na base do sistema no período seco do ano.

Em termos de potencial de geração a gás natural, historicamente o mercado de gás natural no Brasil se caracteriza por desequilíbrios estruturais e conjunturais, ora com excesso de oferta, ora com escassez de oferta. Como ilustração, no início de 2007, o atraso do regime de chuvas forçou um despacho em larga escala das térmicas a gás, ameaçando o suprimento do gás para fins industriais e veiculares, provocando forte instabilidade de preços no setor elétrico.

²⁵ De acordo com RODRIGUES (2011), a tecnologia fotovoltaica tinha um custo entre 6.000 e 8.000 euros por kW instalado em 2005. Tal custo se reduziu para a faixa entre 3.000 e 5.000 euros por kW instalado em 2008 e atualmente se encontra entre 2.500 e 3.500 euros por kW instalado.

²⁶ O gás natural utilizado em uma usina ciclo combinado emite 400 gramas de CO₂ por kWh produzido enquanto o carvão produz 800 gramas de CO₂ por kWh gerado.

Entretanto, o atual contexto e cenário da oferta de gás natural são diferentes. Antes mesmo da exploração das reservas do pré-sal, acreditava-se que o Brasil tinha acesso a expressivas quantidades de hidrocarbonetos leves advindos da produção dos campos gigantes de Mexilhão, Lagosta, entre outros campos da Bacia de Santos. A Tabela 2 apresenta as perspectivas de aumento da disponibilidade de gás natural no país no médio prazo.

Tabela 2
Previsão da Produção de Gás Natural: 2011-2020 ²⁷
(em milhões de metros cúbicos diários)

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
89,128	99,158	106,817	121,904	131,236	140,448	154,191	172,059	180.079	186,66

Fonte: EPE (2011).

Por último, cabe destacar, que apesar da geração nuclear ser muito questionada por segmentos da sociedade civil, sobretudo após o acidente nuclear de Fukushima (CASTRO *et al.*, 2011c) , ela é uma alternativa energética a ser considerada nas perspectivas da expansão da matriz mundial. O Brasil tem experiência com geração nuclear e possui mão de obra qualificada e tecnologia própria, ainda que em fase de desenvolvimento, para beneficiamento de urânio. Finalmente, o Brasil é detentor de uma das seis maiores reservas de urânio do mundo tendo prospectado menos de 50 % do território nacional.

²⁷ Considera a produção nos campos já em produção ou em exploração e a produção prevista dos recursos contingentes nas descobertas em estágio de avaliação exploratória em blocos concedidos até a Rodada 10 realizada pela ANP.

Observa-se assim que o Brasil possui alternativas consistentes para a expansão de sua matriz elétrica e seu desafio consiste justamente na elaboração de um planejamento associado a instrumentos de contratação que permitam priorizar as fontes que garantam o equilíbrio dinâmico entre a demanda e a oferta de forma competitiva e sustentável.

Entretanto, dada a predominância hídrica da matriz brasileira e o fato do potencial hídrico remanescente estar localizado na Região Amazônica, é preciso desenvolver análise detalhada dos potenciais de fato aptos a serem explorados de forma sustentável. Em grande medida as diretrizes de expansão da matriz brasileira será função da forma como será explorado o potencial hídrico remanescente, tanto pela necessidade de atender a demanda através de outras fontes, caso o ritmo de exploração do potencial hidroelétrico seja lento, como pela própria necessidade de complementação da geração hidroelétrica conforme venham a ser inseridas usinas fio d' água no parque gerador brasileiro. É justamente o exame do potencial e da viabilidade da construção de hidroelétricas na Região Amazônica que será o foco analítico da próxima seção deste estudo.

3 – A Viabilidade da exploração do potencial hidroelétrico da Região Amazônica

Sob o ponto de vista sócio ambiental, a viabilidade na exploração do potencial hidroelétrico da Região Amazônica só se justifica dentro de um contexto de uma “estratégia de transição” que priorize alternativas complementares à hidroeletricidade segundo o paradoxo da abundância analisado preteritamente, além da promoção de eficiência energética, que é essencial para uma trajetória sustentável do setor energético brasileiro.

É evidente que a opção por usinas a fio d'água na planície amazônica representa uma alternativa de menor impacto direto sob o ponto de vista de área inundada, embora tal ganho seja a um custo de reservatórios significativamente menores do que a média nacional e, portanto, mais vulneráveis às flutuações no regime de chuvas. Significa assinalar que o SEB enfrentará o dilema de um "cobertor curto": de um lado, a necessidade de mitigar impactos de grandes reservatórios e, de outro, a vulnerabilidade de reservatórios relativamente pequenos.

Neste quadro, pode-se questionar que as variáveis socioambientais são as grandes restrições ao programa de hidroelétricas na Amazônia? E a resposta é não, na medida em que as variáveis socioambientais são restrições a qualquer empreendimento econômico, em qualquer parte do mundo. O que potencializa tais restrições no caso de hidroelétricas na Amazônia é o fato de que se trata de rios de planície, com variações hidrológicas sazonais acentuadas, em uma região ecológica, econômica, cultural e geopoliticamente complexa e sensível. Antes de avançar a fronteira hidroelétrica em direção ao norte do país²⁸ é preciso reconhecer que continuar a explorar o potencial hidroelétrico nacional não se resume a fazer mais do mesmo e da mesma forma, porque se trata de uma iniciativa com riscos técnicos e ecológicos muito diferentes daqueles com os quais o SEB está mais habituado.

Neste contexto analítico, quais seriam as principais condicionantes para que esta estratégia de transição seja a menos conturbada possível sob a ótica da exploração racional do potencial hidroelétrico da Amazônia?

²⁸ Sobre este conceito no âmbito nacional ver CASTRO, Nivalde José.; FERNANDES, Paulo. Cesar. *A Expansão da Fronteira Elétrica no Brasil*. **Revista Brasil Energia**, Rio de Janeiro, nº 312, p. 56-57, novembro de 2006.

Há que se reconhecer que houve avanços consideráveis no processo de preparação, licenciamento e condicionantes para instalação de projetos hidroelétricos na Amazônia, embora os processos de consulta e a definição da área de influência indireta dos empreendimentos²⁹ sejam ainda objeto de questionamentos.

O mesmo não ocorreu com o planejamento e, particularmente, no caso dos impactos cumulativos. O instrumento utilizado pelo SEB para este fim, a avaliação ambiental integrada (AAI), é visivelmente incapaz de endereçar esta questão de forma adequada porque na sua abordagem metodológica não fica claro como se define um limite superior para tais impactos. Desta forma, a AAI tem sido muito mais um instrumento de validação dos programas de bacia³⁰, do que uma ferramenta de diálogo para obtenção de um cenário de consenso entre o potencial hidroelétrico de um determinado programa e a conservação dos valores socioambientais regionais.

A análise dos impactos cumulativos é de vital importância na Amazônia não só sob o ponto de vista da “acumulação” dos impactos diretos de cada projeto sobre *habitat*, espécies e comunidades ao seu redor, mas também sob a perspectiva da conectividade hidrológica do sistema e seus impactos nas rotas de espécies migratórias e conseqüentemente no modo de vida das populações tradicionais.

Dessa forma, a primeira e mais importante condicionante para mitigar futuros conflitos no aproveitamento do potencial hidroelétrico da Amazônia seria o estabelecimento de um diálogo construtivo entre autoridades do setor elétrico e ambiental. Tal diálogo deve se dar à luz de um plano de conservação *vis-à-vis* o programa hidroelétrico previsto para uma determinada bacia. No caso da bacia

²⁹ Para espécies migratórias de longo curso, por exemplo, a rigor a área de influência indireta se estenderia até a foz do rio Amazonas.

³⁰ Por exemplo, a AAI da bacia do Rio Juruena onde o impacto de 34 projetos foi analisado de forma cumulativa e a despeito da magnitude dos impactos individuais nenhum projeto foi descartado. Ver em <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Paginas/AAIs/BaciadoRioJuruena.aspx?CategoriaID=101>

amazônica como um todo poderia se adotar o planejamento de longo prazo do setor elétrico, na praxe um horizonte de 30 anos. Esta ação conjunta deveria avaliar o impacto cumulativo de tal programa, nas duas vertentes descritas anteriormente, ou seja, acumulação dos impactos locais dos projetos (*habitat*, espécies e comunidades) e impactos do programa sobre a conectividade hidrológica de todo o sistema. O resultado de tal esforço deveria ser um programa ajustado e acordado entre as duas partes, de tal forma que a exploração do potencial hidroelétrico seja coerente com a visão de conservação do que se quer para o futuro da bacia (no limite a Amazônia como um todo). Tal visão e metodologia consubstanciaria de forma clara e consistente o limite superior dos impactos cumulativos do programa hidroelétrico regional, que não se faz presente na atual metodologia da AAI.

Alcançado este primeiro passo fundamental, a segunda condicionante deveria se endereçar para um programa de desenvolvimento regional sustentável, de iniciativa do Estado e não do setor elétrico, que se antecipe aos impactos indiretos (riscos e oportunidades) do tal programa hidroelétrico ajustado e acordado entre as partes interessadas no futuro da bacia. Mais uma vez, prioriza-se a visão e o potencial de impactos do programa (positivos e negativos, diretos e indiretos) e não simplesmente planos de inserção de projetos tratados de forma isolada.

Só desta forma, com total transparência do impacto dos planos e programas de médio e longo prazo e com o correto tratamento dos impactos cumulativos e indiretos, pode-se assegurar a mitigação dos conflitos sociais econômicos, a potencialização das oportunidades de desenvolvimento regional e a viabilidade socioambiental do aproveitamento hidroelétrico na Amazônia.

4 – Parâmetros para o estabelecimento de uma Matriz Elétrica Estratégica

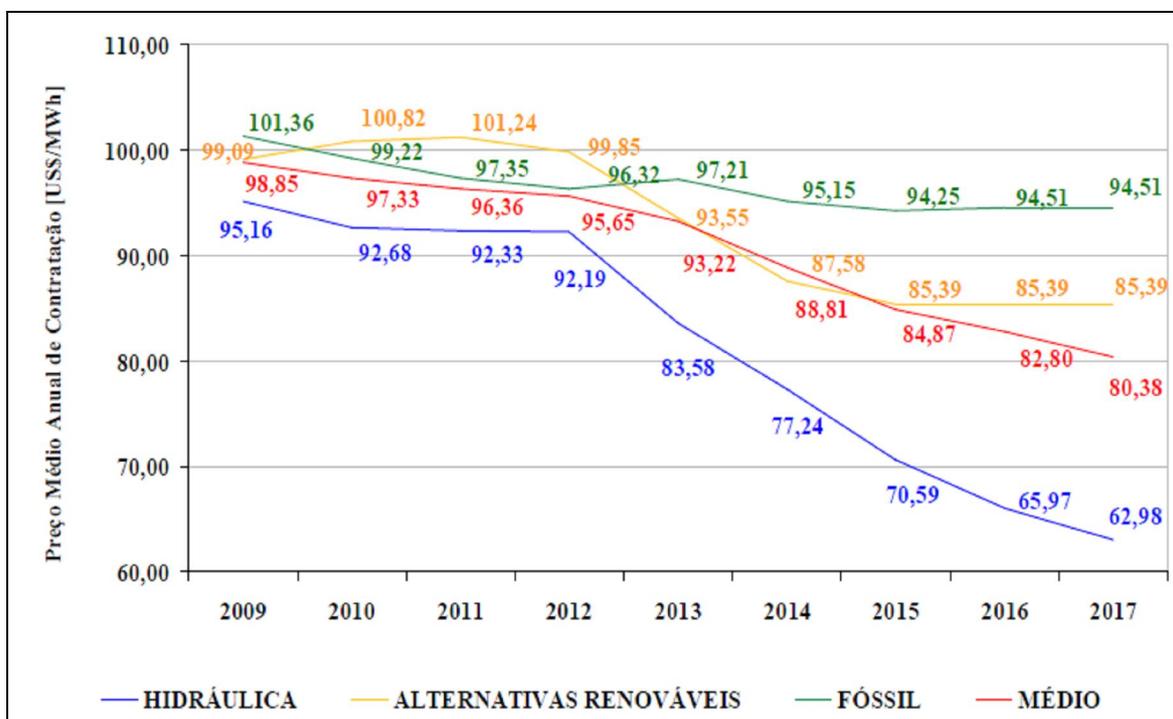
São necessárias diretrizes e parâmetros ao nível do planejamento que permitam a definição de uma matriz estratégica para servir de referência aos leilões de contratação de energia. Os argumentos apresentados na seção 3 mostra ser possível a exploração do potencial hídrico da Região Amazônica em bases sustentáveis. As diretrizes da política energética brasileira para o setor elétrico apontam justamente para a priorização de construções de hidroelétricas e esta é uma alternativa inteiramente justificável.

A competitividade dos custos da oferta é um dos objetivos basilares de uma política energética bem delineada. Este objetivo torna-se ainda mais relevante ao incluir-se na análise a necessidade de universalizar o acesso à energia elétrica em um país com nível de renda e de consumo de energia elétrica *per-capita* reduzidos como é o caso brasileiro. Além disso, segmentos produtivos importantes e estratégicos exportadores da economia brasileira são intensivos no consumo de energia elétrica, onde o custo da energia impacta diretamente a competitividade internacional destes setores. Portanto, justifica-se a prioridade na modicidade tarifária como um dos pilares do marco regulatório e da política energética do setor elétrico.

A análise da competitividade relativa das fontes indica que a fonte hidroelétrica deve ser priorizada, especialmente quando se tratam de projetos de grande porte denominados projetos estruturantes como as UHE de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte. O Gráfico 3 demonstra como a curva de preços dos empreendimentos hidroelétricos derivada diretamente dos resultados dos leilões realizados no período de 2005 a 2011 apresenta um patamar inferior em relação à curva de preço médio da energia contratada.

Gráfico 3
Preços Médios de Energia nos Leilões de Energia Nova: 2005-2011

(em US\$ por MWh)



Fonte: EPE, 2011.

Contudo, o setor energético também precisa considerar as variáveis sócio-ambientais em sua análise, especialmente em um contexto de alterações climáticas. No caso brasileiro, a inserção destas variáveis também é bastante relevante devido ao potencial hídrico remanescente se concentrar no bioma amazônico que é altamente sensível, conforme examinado anteriormente.

Desta forma, a expansão da matriz elétrica brasileira deve respeitar as diretrizes do desenvolvimento sustentável³¹. Em outras palavras, devem ser realizados investimentos em plantas que atendam às demandas da geração presente sem o

³¹ De acordo com Burgenmeier (2005), a promoção do desenvolvimento sustentável deve ser perseguida na forma como foi explicitada no Relatório Brundtland em 1987, ou seja, buscando explorar os recursos, orientar investimentos e adotar técnicas e arranjos institucionais que permitam atender as necessidades dos homens atuais e das gerações futuras.

comprometimento da qualidade de vida das gerações futuras, destacando-se que o atendimento das demandas da coletividade não deve ser feito à custa de prejuízos para as populações residentes em áreas próximas às usinas de geração.

A inserção de variáveis socioambientais como parâmetro da expansão da oferta de energia elétrica tem como consequência a adoção de restrições na priorização de fontes tendo a variável custo como único critério de seleção. Neste sentido, ao nível do planejamento devem ser feitas análises comparativas não apenas dos custos dos diferentes projetos alternativos, mas também dos seus impactos ambientais³².

Com base na metodologia de avaliação de impacto ambiental estratégica, Castro *et al.* (2011a) e Castro *et al.* (2011b) analisaram os impactos de empreendimentos hidroelétricos na Amazônia frente às alternativas térmicas. Enquanto que o primeiro estudo teve como foco analítico a UHE de Santo Antônio para o qual se apresentou um custo da mitigação ambiental de R\$ 1,5 bilhões em contraste com o custo de R\$ 5,6³³ bilhões da opção térmica, o segundo estudo desenvolveu análise comparativo entre a UH de Belo Monte e a geração térmica alternativa com impactos ambientais valorados em R\$ 3,3 bilhões R\$ 24 bilhões³⁴, respectivamente.

Estes estudos são apenas uma primeira aproximação no sentido da realização de uma análise comparativa entre os impactos ambientais da construção de empreendimentos hidroelétricos no bioma amazônico e da geração termoelétrica. Deve-se destacar que a adoção do valor dos custos incorridos pelos

³² Esta metodologia é conhecida como avaliação de impacto ambiental estratégica e consiste na realização da avaliação dos impactos ambientais na fase do planejamento quando serão elaboradas as políticas, planos e programas de expansão do setor elétrico. Portanto, a variável ambiental se constitui em um parâmetro de decisão no planejamento do sistema em conjunto com variáveis financeiras e econômicas (COMAR *et al.*, 2006).

³³ Com base em uma planta de ciclo combinado movida a gás natural e assumindo o suposto extremamente conservador da tonelada do carbono custando 10 euros nos próximos 30 anos.

³⁴ Com base em uma planta de ciclo combinado movida a gás natural e assumindo o suposto que a tonelada do preço do carbono terá um custo médio de 30 dólares nos próximos 30 anos.

empreendedores dos projetos hídricos como *proxy* dos custos sócio-ambientais destes projetos é uma hipótese questionável assim como o suposto simplificador de que o custo ambiental das termoelétricas restringem-se à emissão de gases do efeito estufa.

No entanto, apesar destas limitações metodológicas, estes trabalhos indicam que os custos ambientais da hidroeletricidade são significativamente inferiores aos custos ambientais da termoeletricidade e desta forma, mesmo que sejam adotadas medidas de compensação extremamente rígidas, os custos sócio-ambientais da hidroeletricidade tendem a serem inferiores. Portanto, não existem elementos suficientes para se preterir da opção de construção de novos empreendimentos hidroelétricos em comparação com a alternativa termoelétrica em uma análise fundamentada em parâmetros econômicos e sócioambientais.

No entanto, verifica-se que a oferta de projetos hídricos nos leilões de contratação de energia tem sido inferior à necessidade de expansão da oferta devido à morosidade do processo de licenciamento. Como os desafios intrínsecos ao licenciamento de projetos hídricos na Amazônia são muito grandes, é de se esperar que a oferta de novos projetos hídricos continue restrita nos próximos anos. Concomitantemente, como ressaltado na Seção 2, as novas hidroelétricas da Região Norte não possuem reservatórios de grande porte, logo, sob a ótica operativa do sistema elétrico são usinas de qualidade inferior àquelas construídas ao longo do Século XX.

Portanto, dada as restrições existentes à expansão do parque hídrico, a questão da matriz estratégica se desloca assim da matriz desejável, frente ao potencial energético, para uma matriz possível. Desta forma, tanto pelo lado de uma provável insuficiência de oferta como pela conveniência de diversificar a matriz, é provável, ao contrário, do que enuncia o PDE 2020, seja necessária a contratação de

um volume expressivo de projetos não hídricos, incluso térmicos, ao longo dos próximos anos.

No âmbito desta diversificação da matriz, não se pode deixar de lado as peculiaridades do setor elétrico porque a eletricidade é um recurso de fluxo homogêneo não estocável que exige equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda e está organizado sob a forma de indústria de rede. Neste sentido, é preciso a parametrização de questões técnicas e operativas e a sua inserção na modelagem da expansão da oferta de energia elétrica de forma que a mesma garanta a segurança do suprimento em bases competitivas. Estas questões podem ser segmentadas entre aquelas relativas ao planejamento energético e outras que se situam no âmbito específico do elétrico.

Por um lado, deve existir preocupação com a alocação ótima dos recursos e desta forma devem ser visto com ressalvas empreendimentos com baixos fatores de capacidade. Estes empreendimentos representam uma imobilização de capital em usinas que irão operar relativamente em reduzido número de horas por ano e por consequência terá menor contribuição no atendimento da carga³⁵.

Por sua vez, no âmbito operativo, a intermitência e a frequência da geração são questões que precisam ser examinadas com a devida atenção porque podem trazer consequências nocivas e restritivas à segurança do suprimento caso não sejam geridas de forma correta. Portanto, é preciso relativizar a argumentação que a

³⁵ Este tipo de exame requer o prévio conhecimento do sistema elétrico brasileiro onde quem atende a carga é o sistema e não as usinas individualmente. Neste sentido, o relevante é a análise da contribuição de uma determinada usina para a capacidade do sistema em atender a carga. Por exemplo, a UH de Belo Monte, embora possua um baixo fator de capacidade em comparação ao fator de capacidade médio nas usinas hidroelétricas brasileiras, será bastante importante para o Sistema Interligado Nacional porque seu regime fluvial difere do padrão verificado nos subsistemas Sul, Sudeste-Centro Oeste, Norte e Nordeste.

expansão do setor elétrico brasileiro poderia se processar inteiramente baseada em fontes renováveis de caráter intermitente, como por exemplo a energia eólica.

Neste sentido, baseado na metodologia de avaliação de impacto ambiental estratégica associada a considerações relativas a variáveis técnicas, e em linhas com estudos anteriores elaborados pelo GESEL-UFRJ, argumenta-se a favor de que a expansão da matriz brasileira ocorra priorizando o potencial hídrico remanescente, sendo complementada pela geração eólica, bioeletricidade sucroenergética e a gás natural. A questão que se impõe é qual será a necessidade e proporção desta complementação. A resposta a esta pergunta dependerá do ritmo e das características expansão hidroelétrica brasileira que deverão estar presentes no planejamento do SEB e configurado na matriz estratégica, ou seja, na matriz que a sociedade brasileira almeja para um horizonte de 10 a 30 anos.

Conclusão

Em contraste com o setor elétrico mundial que precisa expandir sua oferta em grandes montantes para atender ao exponencial crescimento de sua demanda nos próximos anos, mas que está sujeito a restrições impostas pela necessidade de mitigação das emissões de gases do efeito estufa, o desafio brasileiro apresenta outras características e cenários mais promissores. O crescimento da demanda brasileira por energia elétrica pode ser atendido com relativa tranquilidade devido às potencialidades energéticas disponíveis associadas a um marco regulatório e condições de financiamento que criam condições para que a expansão da oferta ocorra de forma adequada e equilibrada.

O desafio brasileiro consiste em estabelecer critérios e diretrizes que permitam uma expansão da matriz elétrica que não apenas garanta a segurança do

suprimento como também permita que a oferta brasileira de energia elétrica mantenha seu caráter sustentável e competitivo. Logo, é necessário que o “paradoxo da abundância” seja equacionado de forma a priorizar fontes que sejam compatíveis com estes objetivos e os argumentos apresentados ao longo deste texto mostraram a relevância da exploração dos recursos hídricos neste processo.

Apesar de o potencial hídrico remanescente estar concentrado no bioma amazônico, região bastante sensível as variáveis sócio-ambientais, é possível o estabelecimento de um planejamento e a exploração deste potencial seja condizente com os preceitos do desenvolvimento sustentável a partir de uma atuação conjunta das esferas energética e ambiental com vistas ao estabelecimento de uma política de desenvolvimento para a região. Verifica-se que um dos condicionantes a este aproveitamento é a impossibilidade de construir centrais hidroelétricas com grandes reservatórios associados, o que resultará em uma mudança do paradigma operativo do SEB devido à crescente redução da capacidade de regularizar a oferta hídrica ao longo de todo ano.

Esta mudança da alteração do padrão operativo do SEB por si só já exige a diversificação da matriz elétrica brasileira com vistas a permitir o atendimento da carga de energia ao longo do período seco do ano. A importância desta diversificação torna-se maior na medida em que o ritmo de expansão do parque hídrico tende a ser moroso e incompatível com as taxas de crescimento da demanda.

Portanto, a título de conclusão final, ressalta-se que apesar da complexidade da Região Amazônica, é possível a construção de centrais hidroelétricas de forma sustentável na região. Entretanto, este processo será lento e as usinas serão do tipo fio d’água. Logo, será necessária a contratação de outros tipos de projetos com o objetivo de garantir a segurança do suprimento. Em realidade, estas restrições

fazem com que a partir da matriz estratégica ocorra a convergência para uma matriz possível, que deverá contemplar projetos eólicos, de bioeletricidade sucroenergética e de térmicas a gás natural.

Referências

ANA, Agência Nacional de Águas. *Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia*. Caderno de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2005.

BÜRGENMEIER, Beat. *Economia do Desenvolvimento Sustentável*. Instituto Piaget. Lisboa, 2005.

CASTRO, Nivalde José de; BUENO, Daniel. *Os Leilões de Energia Nova: Vetores de Crise ou de Ajuste entre Oferta e Demanda*. Rio de Janeiro. Economia & Energia. Ano XI, n.º 63 Agosto-Setembro 2007, p 29-44 (ISSN 1518-2932). Disponível em <http://ecen.com/eee63/eee63p/os%20leiloes%20de%20energia%20nova%20vetores%20de> Acesso em 20 de outubro 2007

CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A.; LEITE, André Luis da Silva; BRANDÃO, Roberto; TIMPONI, Raul Ramos. *Considerações sobre as Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira*. Texto de Discussão n. 19. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2010a.

CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *Considerações sobre a ampliação da geração complementar ao parque hídrico brasileiro*. Texto de Discussão n. 15. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2010b.

CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A; BRANDÃO, Roberto; LEITE, André Luiz da Silva. *Bioeletricidade e a Indústria de Alcool e Açúcar: possibilidades e limites*. Synergia. Rio de Janeiro, 2008.

CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A.; TIMPONI, Raul Ramos. *A Construção de Centrais Hidroelétricas e o Desenvolvimento Sustentável*. Revista Economia e Energia. Edição 81. 2011a.

CASTRO, Nivalde José; LEITE, André Luiz da Silva; DANTAS, Guilherme de A. *Análise comparativa entre Belo Monte e empreendimentos alternativos: impactos ambientais e competitividade econômica*. Texto de Discussão n. 35. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2011b.

CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *Perspectivas da Matriz Elétrica Mundial Pós-Fukushima*. Texto de Discussão n. 39. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2011c.

COMAR, Vito; TURDERA, Eduardo Mirko Valenzuela; COSTA, Fábio Edir dos Santos. *Avaliação Ambiental Estratégica para o Gás Natural*. Editoras Interciência e UEMS. Rio de Janeiro, 2006.

D'ARAÚJO, Roberto. *Setor Elétrico Brasileiro: Uma aventura mercantil*. Brasília: Confea, 2009.

GOLDEMBERG, José; JOHANSSON, Thomas B.; REDDY, Amulka K.N.; WILLIAMS, Robert H. *Energia para o Desenvolvimento*. T.A. Queiroz, Editor. São Paulo, 1988.

GOLDEMBERG, José; JOHANSSON, Thomas B. *The Role of Energy in Sustainable Development: Basic Facts and Issues*. In: *Energy for Sustainable Development: a policy agenda*. UNDP. 2002.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Nacional de Energia 2030*. EPE. Rio de Janeiro, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Plano Nacional de Energia 2030 – Geração Hidroelétrica*. EPE. Rio de Janeiro, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2010*. IEA. Paris, 2010a.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics 2010*. IEA. Paris, 2010b.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2012 – Exercício de 2012*. Resultados Preliminares. 2012.

OLIVEIRA, Luis André Sá d'. *O BNDES e a Energia Eólica*. In: Políticas estratégicas de inovação e desenvolvimento tecnológico em energia eólica. GESEL/UFRJ. Rio de Janeiro. 2011.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Plano Anual da Operação Energética – PEN 2010*. Volume I. Relatório Executivo. Rio de Janeiro, 2010.

RODRIGUES, Luis (Gerente da Fabrica de Painéis Fotovoltaicos da Acciona em Portugal). *Evolução dos Custos de uma Planta Fotovoltaica*. Contato Pessoal. Lisboa, 25/05/2011.

TOLMASQUIM, Mauricio T. *A Matriz Energética Brasileira: um exemplo para o mundo*. 11º Fórum de Debates Brazilianas.org – Energia Elétrica para o Século XXI. São Paulo, 2011.

TORRES, M.A.Z. *Desafios para o desenvolvimento do setor de Energias Renováveis no Brasil*. Palestra na UNISUL. Florianopolis 10 de junho de 2009.