

1. INTRODUÇÃO

O Brasil dispõe da maior reserva hídrica superficial do planeta, cerca de 19,4%, e um dos maiores potenciais hidráulicos. Porém, não está em situação confortável em relação a disponibilidade hídrica e localização de suas demandas consuntivas e não-consuntivas de água (FREITAS, 2003). De fato, algo em torno de 90% da água se encontra nas bacias hidrográficas de baixa densidade demográfica dos Rios Amazonas e Tocantins, no entanto, cerca de 90% da população convivem com o restante dos recursos hídricos.

Devido à grande participação das usinas hidrelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro, a geração de energia elétrica no país é fortemente dependente dos regimes hidrológicos das bacias hidrográficas. Como existe um desequilíbrio regional na disponibilidade da água – que pode ser observado através das secas recorrentes na região Nordeste, da degradação de rios e solos na região Sudeste, dos riscos sócio-ambientais de cada região e da rápida elevação da demanda por água e energia em todo o território nacional – novos e antigos empreendimentos hidrelétricos estão, em maior ou menor grau, vulneráveis às mudanças climáticas.

O risco de mudanças climáticas globais futuras, ou seja, de um aquecimento adicional do planeta, pode alterar o ciclo hidrológico, e com isso o regime e a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas. De fato, mudanças diferenciadas de temperatura levam a alterações nos padrões de pressão atmosférica e ventos. Portanto, podem-se esperar mudanças nos padrões de precipitação.

As previsões de elevação global do nível do mar para o ano de 2099 indicam, para diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa, valores entre 18 cm e 59 cm. As ocorrências dos fenômenos *El Niño Southern Oscillation* (Enso) têm sido mais freqüentes, mais longas e mais intensas no curso dos 20 a 30 últimos anos, em relação aos cem anos anteriores (OMM, 2004).

Sendo assim, torna-se importante a realização de estudos de previsão e avaliação da vulnerabilidade climática da geração de energia elétrica no Brasil, com destaque para a avaliação das vazões afluentes aos reservatórios hidrelétricos por meio da previsão climática e hidrológica, fundamentais na definição de cenários nos quais os riscos hidrológicos e, portanto, energéticos poderiam ser conhecidos antecipadamente¹.

2. IMPACTOS, VULNERABILIDADE E ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA

As avaliações do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que os países em desenvolvimento estão entre os mais vulneráveis às mudanças do clima. O IPCC complementa afirmando que quanto maior a dificuldade de um país em lidar com a variabilidade natural do clima e com seus eventos extremos, maior será o seu esforço para se adaptar às mudanças climáticas (POPPE e ROVERE, 2005).

Os impactos das mudanças climáticas não são distribuídos uniformemente entre regiões e populações. Na realidade, os indivíduos, setores e sistemas podem ser mais ou menos afetados ou beneficiados. Assim, esse relativo padrão de distribuição da vulnerabilidade climática pode variar em magnitude e intensidade de acordo com a localização geográfica, o tempo, as condições sociais, econômicas e ambientais, e a infra-estrutura de cada lugar.

Segundo o IPCC (2003), a vulnerabilidade climática pode ser definida como “o grau de suscetibilidade de indivíduos ou sistemas ou de incapacidade

¹ É conveniente, em escalas de tempo maiores, fazer a distinção entre mudança climática e variabilidade climática natural: Mudança Climática - tendência ou variação sistemática num dado sentido, de parâmetros climáticos. Pode ocorrer devido à mudança sistemática da forçante radiativa do sistema climático ou por ação antropogênica. Variabilidade Climática - inerente ao sistema climático e pressupõe alternância, ou seja, superposição de variações cíclicas ou quase-cíclicas. A detecção de uma tendência no clima, requer portanto, que a amplitude da variabilidade natural seja quantificada. Para isso, uma grande variedade de dados e resultados de modelos atmosféricos têm sido utilizados. (OMM, 2004 e ANEEL, 2003).

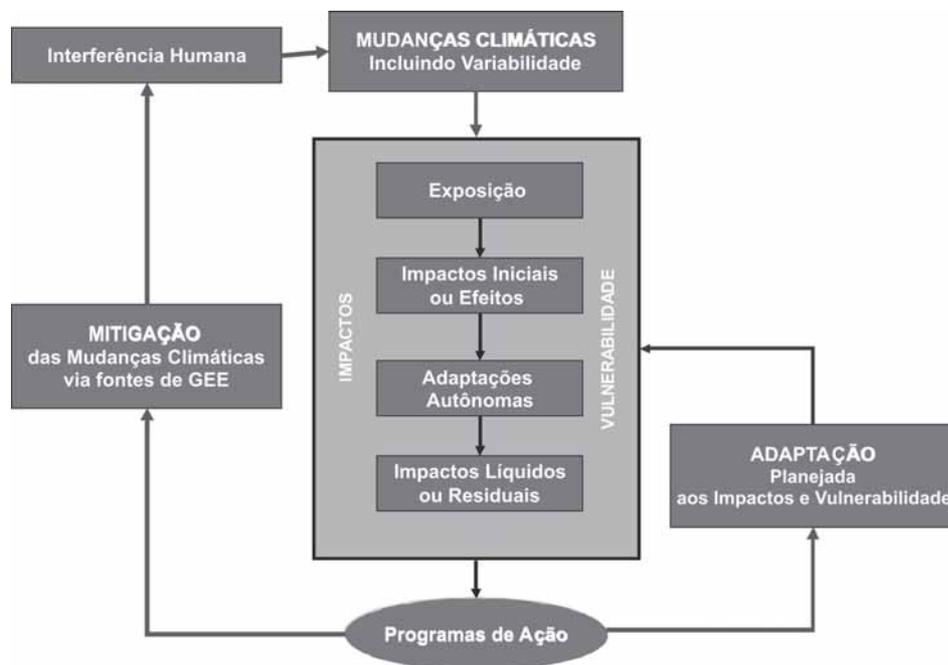
de resposta aos efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade climática e os eventos extremos”.

Os impactos decorrentes da mudança do clima estão diretamente ligados à vulnerabilidade nos quais os sistemas naturais e antrópicos estão expostos. Aprender a lidar com a vulnerabilidade, em especial, com a sensibilidade e com a capacidade de adaptação a esses impactos, será o caminho mais eficaz para mitigar o problema das mudanças climáticas. Para tanto, faz-se necessário a definição de métodos e estratégias para nortear os estudos de pesquisa nessa área e a aplicação dos mesmos nas diferentes regiões. Nesse sentido, o terceiro relatório do IPCC (2003) estabeleceu setores de atuação para estudos em vulnerabilidade climática nos sistemas humanos, tais como:

- Aumento do nível do mar;
- Recursos hídricos - secas, enchentes e precipitações intensas;
- Ondas de calor;
- Agricultura e segurança alimentar;
- Saúde humana;
- Atividades econômicas;
- Zonas costeiras;
- Assentamentos humanos.

Smit et al (1999) apud IPCC (2003) afirma que o entendimento da adaptação é essencial para uma avaliação de impacto e vulnerabilidade e, conseqüentemente, fundamental para estimar os custos e riscos das mudanças climáticas. A magnitude na qual os ecossistemas, o suprimento alimentar e o desenvolvimento sustentável são vulneráveis depende da exposição dos mesmos aos impactos das mudanças climáticas e a habilidade dos sistemas afetados para se adaptar. Então, para se avaliar o risco das mudanças climáticas, a avaliação de impacto e vulnerabilidade deve considerar a probabilidade de ocorrência de adaptação autônoma a essas mudanças, ou seja, aquela que ocorreria sem interferência antrópica direta sobre o sistema (ver Figura 1).

Figura 1. A posição das ações de mitigação e adaptação dentro do contexto das mudanças climáticas



Fonte: Traduzido do IPCC (2003)

Mesmo com a previsão de redução das emissões de gases efeito estufa (GEE), a adaptação é considerada uma importante estratégia, junto à mitigação, por conta das prováveis mudanças no clima, como o aumento das temperaturas globais, do nível do mar e dos eventos extremos (em frequência e/ou magnitude/intensidade). Por essa razão, o desenvolvimento de estratégias de adaptação para lidar com estes riscos é tão relevante quanto à necessidade conjunta de ações de mitigação.

O IPCC (2003) e Magrin et al. (2007) definem que a “adaptação” no contexto das mudanças climáticas é “o ajustamento dos sistemas naturais, sociais e econômicos em resposta para o atual ou futuro estímulo climático e/ou seus impactos, nos quais podem ser adversos (danos) ou benéficos (oportunidades)”. Nesse contexto, a adaptação refere-se às alterações em processos, práticas e infra-estrutura para compensar potenciais danos ou, até mesmo, tirar vantagem de oportunidades associadas às mudanças do clima.

A característica principal das mudanças climáticas em relação à vulnerabilidade e adaptação dos recursos hídricos está relacionada às alterações sensíveis na variabilidade do regime hidrológico e os eventos extremos, e não simplesmente com a tendência média da mudança do clima. A adaptação é uma importante questão dentro das mudanças climáticas e deve ser tratada em dois sentidos: avaliação dos impactos e vulnerabilidades, e desenvolvimento e implementação de estratégias e medidas concretas de redução de riscos (KUNDZEWICZ, et al., 2007).

A maioria dos setores, regiões e comunidades estão razoavelmente adaptadas às condições médias de mudança do clima, particularmente se as mudanças forem graduais. Contudo, as perdas oriundas das variações climáticas extremas são substanciais e crescentes em alguns setores. Essas perdas indicam que a adaptação autônoma não tem sido suficiente para impedir os danos associados às variações das condições climáticas.

As comunidades têm se mostrado mais vulneráveis e menos adaptáveis às mudanças climáticas, especialmente em relação aos eventos extremos.

Bergkamp et al (2003) expõe que a adaptação pode ser caracterizada de diferentes maneiras, distinguindo adaptação planejada e adaptação espontânea, conforme se verifica a seguir:

- *Adaptação planejada* – processo de criação de políticas públicas baseado numa consciência das vulnerabilidades e condições existentes. Os atributos que irão mudar e as ações requeridas servirão para minimizar as perdas e/ou otimizar benefícios. Referem-se às ações pró-ativas governamentais;
- *Adaptação espontânea* – freqüentemente associada a um contexto de adaptação de negócios, enfatizando o papel do setor privado, dentro de uma postura reativa. É motivada, em geral, por mudanças de mercado, alterações na assistência social governamental e nas preferências da sociedade.

3. EFEITOS E VULNERABILIDADE CLIMÁTICA SOBRE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

3.1 AVALIAÇÕES DO IPCC

Segundo o IPCC (2003 e 2007 a, b), os efeitos da evolução do clima sobre a vazão dos cursos de água e recarga dos aquíferos variam de acordo com as regiões e os cenários climáticos idealizados, principalmente em função das variações de precipitações projetadas. Nas projeções realizadas até o momento, os resultados para América do Sul não apresentam coerência na projeção das vazões, em primeiro lugar, por causa das diferentes projeções de precipitação, e em segundo lugar, em função das diferentes projeções relativas à evaporação, que pode contrabalançar o aumento das precipitações. Em geral, as variações projetadas do escoamento superficial anual médio são menos confiáveis que as projeções baseadas no aumento de temperatura, pelo fato da evolução das precipitações variarem muito nos cenários (ver Quadro 1).

Quadro 1. O efeito das mudanças climáticas nos recursos hídricos

Na escala das bacias hidrográficas, o efeito de uma determinada mudança climática varia segundo as propriedades físicas e de vegetação de cada bacia e as quais se agregam as alterações da cobertura terrestre (uso do solo).

Um terço da população mundial, cerca de 1,8 bilhões de habitantes, vive atualmente em países e regiões que sofrem com estresse hídrico médio e alto². Segundo as projeções da Organização das Nações Unidas, o crescimento demográfico mundial colocará cerca de 5 bilhões de habitantes nesta situação até 2025.

² Uma classificação de zonas de Estresse Hídrico é proposta por Alcamo, J. et al. (2000): Zonas Sem Estresse Hídrico – relação de retiradas de água (demandas) estão abaixo de 0,1 da disponibilidade hídrica (média); Zonas de Baixo Estresse Hídrico – relação de retiradas de água (demandas) estão entre 0,1 e abaixo de 0,2 da disponibilidade hídrica (média); Zonas de Médio Estresse Hídrico – retiradas de água (demandas) acima de 0,2 e abaixo de 0,4 da disponibilidade hídrica (média); Zonas de Alto Estresse Hídrico – retiradas de água (demandas) entre 0,4 e 0,8 da disponibilidade hídrica (média); Zonas de Muito Alto Estresse Hídrico – retiradas de água (demandas) acima de 0,8 da disponibilidade hídrica (média).

Sendo assim, a mudança climática prevista poderá ter um efeito negativo na vazão dos rios e na recarga dos lençóis freáticos e aquíferos em muitos países expostos ao estresse hídrico.

Se a demanda por água aumenta geralmente em função do crescimento demográfico e do desenvolvimento econômico, ela diminui, entretanto, em certos países em função de uma utilização mais eficaz.

A mudança climática não deverá ter uma influência importante sobre a demanda de água nas cidades e nas indústrias em geral. Todavia, poderá ter um efeito considerável sobre o consumo de água para irrigação, que depende da maneira como a evaporação é contrabalançada ou acentuada pelas variações da pluviosidade. Uma alta das temperaturas, e por conseqüência uma elevação das perdas por evaporação das culturas, deverá normalmente se traduzir por um aumento na demanda de água para fins de irrigação.

As inundações poderão aumentar em amplitude e freqüência em muitas regiões devido ao aumento de eventos extremos de precipitações, aumentando o escoamento na maior parte das zonas e facilitando, por outro lado, a recarga da água subterrânea em certas planícies inundáveis.

As mudanças de uso do solo poderão acentuar estes fenômenos. Durante o período de estiagem (também denominado “águas baixas”), o nível dos cursos de água deverá diminuir em numerosas regiões em razão de uma evaporação elevada, cujos efeitos poderão ser ampliados ou neutralizados em função da pluviosidade.

A mudança climática projetada deverá, em algumas áreas, contribuir para diminuir a qualidade dos recursos hídricos – elevando sua temperatura e aumentando a carga poluente proveniente do escoamento superficial e do transbordamento das estações de tratamento e sistemas de esgotamento sanitário.

Em regiões de previsão de redução de chuvas e, portanto, de diminuição de vazão nos rios, a qualidade das águas também deverá sofrer abalos em função da limitação para diluição dos efluentes.

Deve-se dar especial atenção às bacias hidrográficas menos reguladas por não possuírem estruturas hidráulicas, assim como aquelas que já sofrem com eventos extremos, cheias e secas, ou ainda, as que são exploradas de maneira não satisfatória, com problemas recorrentes de poluição e falta d'água, dentre outros problemas. No caso dos sistemas não regulados, que não possuem obras hidráulicas suficientes para atenuar os efeitos da variabilidade hidrológica sobre a qualidade e quantidade de água, a vulnerabilidade é ainda maior. No caso de bacias hidrográficas exploradas de maneira desordenada, de forma não sustentável, os diversos usuários da água e do solo geram restrições suplementares que acentuam a vulnerabilidade às mudanças climáticas.

Entretanto, é possível aplicar instrumentos de gestão de recursos hídricos, notadamente a gestão integrada de bacias hidrográficas, a fim de facilitar a adaptação aos efeitos hidrológicos da mudança climática e atenuar as diversas formas de vulnerabilidade de cada bacia.

Atualmente, tem sido usual a gestão da oferta de água (proteção estrutural contra as inundações, construção de diques, utilização de zonas de estocagem de água, melhoramento da infra-estrutura para captação e distribuição de água) no lugar de métodos de gestão da demanda (destinados a influir no comportamento dos usuários da água, visando reduzir as perdas e melhor gerenciar o consumo de água na bacia hidrográfica).

Fonte: IPCC, (2003 e 2007 a, b).

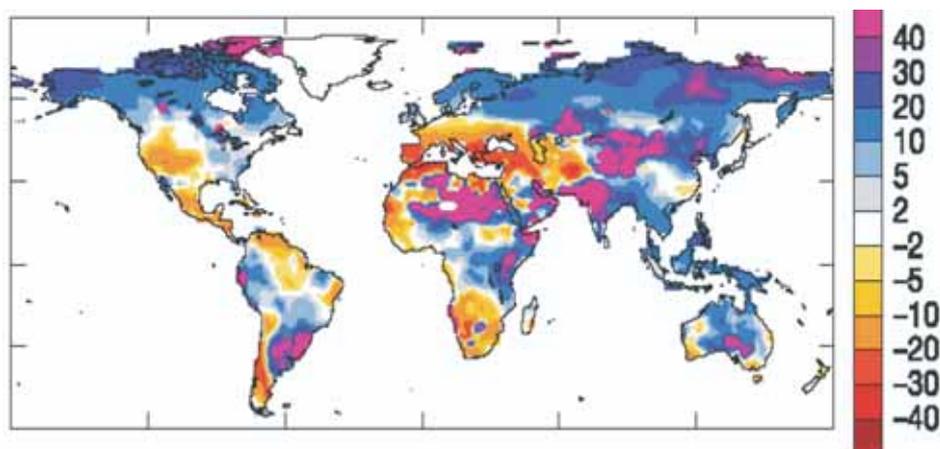
3.2. AS PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS REGIONAIS E SUAS LIMITAÇÕES SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

As projeções de mudanças climáticas em nível regional sobre os recursos hídricos, ou seja, as previsões relacionadas às anomalias de precipitação sobre as bacias hidrográficas em território brasileiro variam bastante de um modelo para outro. A título de exemplo, segundo os modelos do *Hadley Center* (Inglaterra), variações projetadas para 2050 no escoamento superficial anual médio, para um aumento de 1% na concentração de CO₂, sobre a bacia do rio Paraná, aparecem como positivas no modelo HadCM3 (+ 50 a 150 mm/ano nas cabeceiras da bacia) e negativas no modelo HadCM2

(-50 a 150 mm/ano nas cabeceiras da bacia) (IPCC, 2003 E 2007, b). De fato, os modelos são mais incertos no Hemisfério Sul em função de uma menor e mais recente rede de observação hidrometeorológica da região do que no Hemisfério Norte.

Na Figura 2 são apresentados os resultados da projeção das vazões dos rios em 2050, representado a média de 12 modelos usados pelo IPCC no seu relatório de 2007 no Cenário A1B. Nessas previsões, teríamos redução de vazões em parte das Bacias Amazônica e do Tocantins, o que seria preocupante principalmente para os novos empreendimentos dessas bacias com grande potencial hidráulico. Todavia, no que diz respeito à Bacia do Paraná, manteríamos a tendência de aumento de vazões, o que favoreceria, sobretudo, o parque hidrelétrico já instalado hoje, como a Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional e a UHE de Porto Primavera.

Figura 2. Projeções de mudanças em vazões de rios ate 2050 (média de 12 modelos de IPCC AR4, cenário A1B)



Fonte: IPCC, 2007a.

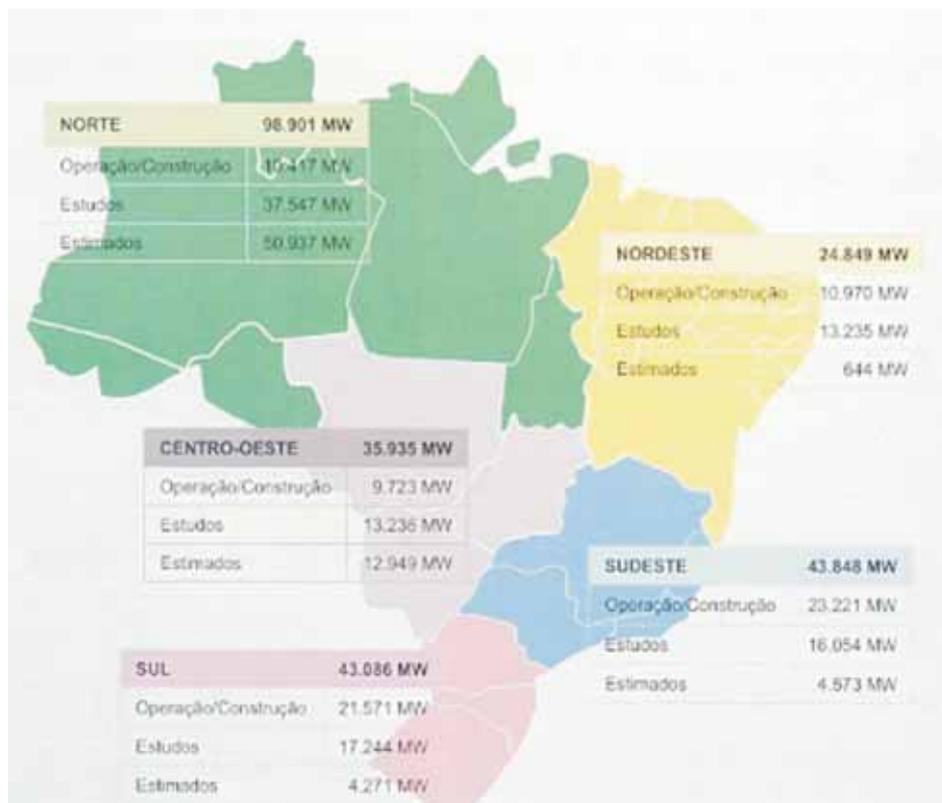
4. ENERGIA HIDRÁULICA E USOS DA ÁGUA NO BRASIL

4.1 SITUAÇÃO ATUAL DO POTENCIAL HIDRÁULICO BRASILEIRO

O potencial hidrelétrico brasileiro registrado em dezembro de 2007 no Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (Sipot), da Eletrobras, era de aproximadamente 247 GW, sendo que 31% representam aproveitamentos na fase de operação ou construção (Eletrobras, 2007).

Na Figura 3 é apresentado o potencial hidrelétrico brasileiro, por região geográfica. O potencial de cada região foi agrupado da seguinte forma: Estimados, Estudos e Operação/Construção, ou seja, empreendimentos em funcionamento ou com garantia de entrar em funcionamento.

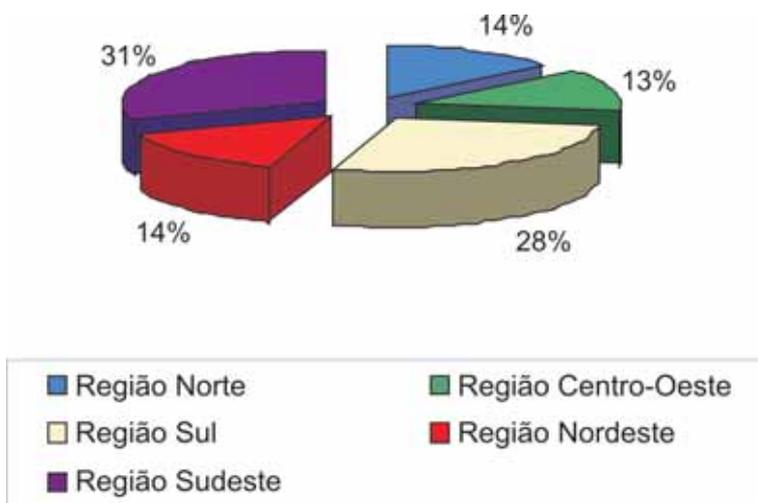
Figura 3. Potencial Hidrelétrico Brasileiro – 2007



Fonte: Eletrobrás, Sipot (2007)

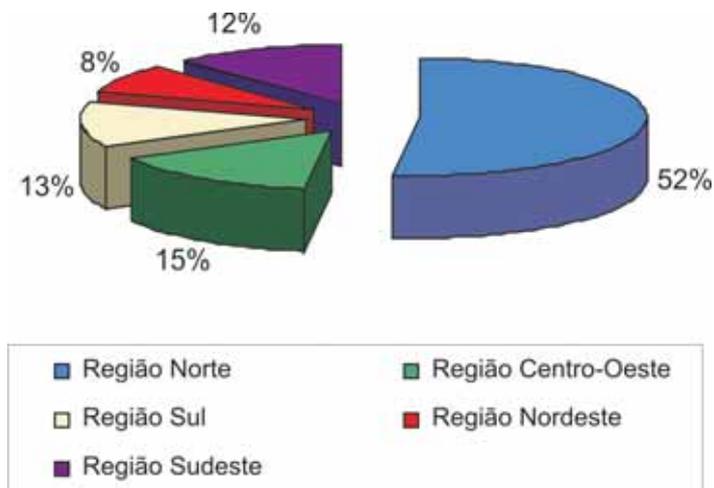
Observando os gráficos 1 e 2 apresentados a seguir, podemos observar que as Regiões Sul e Sudeste detêm juntas cerca de 59% do potencial hidrelétrico em operação/construção. Por outro lado, a Região Norte detém sozinha, cerca de 52% do potencial hidrelétrico em estudos e estimados. Ou seja, isso indica que no presente (curto prazo) as preocupações com a vulnerabilidade devem se concentrar principalmente nas Regiões Sul e Sudeste, porém, no futuro a compreensão das alterações climáticas e de suas relações com o potencial hidráulico deve priorizar a Região Norte.

Gráfico 1. Potencial hidrelétrico brasileiro – operação/construção – 2007



Fonte: Eletrobras, SIPOT (2007).

Gráfico 2. Potencial hidrelétrico brasileiro – estudos e estimados – 2007



Fonte: Eletrobras, SIPOT (2007).

Figura 4. Potencial hidrelétrico brasileiro total e correspondente às PCH's, por regiões hidrográficas – 2007



Fonte: Eletrobras, SIPOT (2007).

A Figura 4 apresenta o potencial hidrelétrico brasileiro segundo a divisão hidrográfica nacional, que foi estabelecida pela Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Nessa mesma figura é apresentado, também, o potencial de cada região hidrográfica correspondente às Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), totalizando o valor de 24.106 MW. Esse valor alcança o percentual de cerca de 9,8% do potencial hidrelétrico total nacional.

De imediato, observa-se uma significativa concentração da geração hidráulica nas bacias situadas nas Regiões Sul e Sudeste brasileiras, próximas aos grandes pólos consumidores, e um reduzido aproveitamento dos recursos hídricos. Portanto, do potencial hidráulico nas Regiões Norte e Centro-Oeste, onde esses recursos são abundantes.

4.2. ALTERAÇÕES DE TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÕES NA AMÉRICA DO SUL

O sistema elétrico brasileiro é fortemente dependente da disponibilidade hídrica de médio e longo prazos, para a produção de energia firme³ e, portanto, para a garantia de atendimento da demanda. Esse sistema foi projetado com base na probabilidade de falha estimada, utilizando séries históricas de vazão que se iniciam em 1930 e às quais, anualmente, são incorporadas novas informações da rede hidrometeorológica nacional, atualmente administrada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

A interligação cada vez mais efetiva do sistema de geração hidrelétrica reduz consideravelmente os riscos de não atendimento da demanda, por falta ocasional de chuvas em uma dada bacia hidrográfica. Todavia, como a maioria das usinas hidrelétricas está localizada na Bacia Hidrográfica do Paraná, mais de 55% da capacidade instalada está sujeita às mesmas variabilidades climáticas. Deve-se, portanto, buscar a melhoria dos modelos de previsão de vazão de médio e longo prazos.

Segundo estudos do IPH/UFRGS e do IAG/USP, desde 1970 as Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste apresentam vazões médias aproximadamente 30% superiores ao período anterior (1940-1970). Se o aumento fosse permanente, seria possível reavaliar a energia firme das usinas, ou seja, para a mesma capacidade instalada, seria possível gerar mais energia, com menor risco de falha (TUCCI, et. al., 2002).

O aumento de vazões ocorre devido a dois fatores (TUCCI, op. cit.):

- Aumento das precipitações nas referidas Regiões do Brasil;
- Modificação no uso do solo nas mesmas Regiões.

No primeiro caso, as alterações podem representar variabilidades que, em médio e longo prazos, tendem a mudar de inclinação, reduzindo novamente a energia citada e a produção média.

No segundo caso, o aumento seria permanente e, portanto representaria, de alguma forma, um ganho energético, apesar dos outros aspectos danosos ao ambiente.

³ A energia firme de uma usina hidrelétrica corresponde à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida, supondo a ocorrência da seqüência mais seca registrada no histórico de vazões do rio onde ela está instalada.

Segundo os resultados aferidos no relatório do Grupo de Trabalho 2 do IPCC de 2007, as tendências de precipitação da América do Sul entre 1960 e 2000, reforçam a tese de aumento das precipitações na Bacia do Prata e redução nas vertentes do Pacífico do Chile e Peru. Nas demais áreas o sinal não é claro (Figura 5).

Figura 5. América do Sul - Tendências de Precipitação de 1960 a 2000



Nota: As bolas indicam tendência de redução e as cruzes de aumento das chuvas, o negrito indica uma tendência mais acentuada.

Fonte: IPCC, WG II (2007, b).

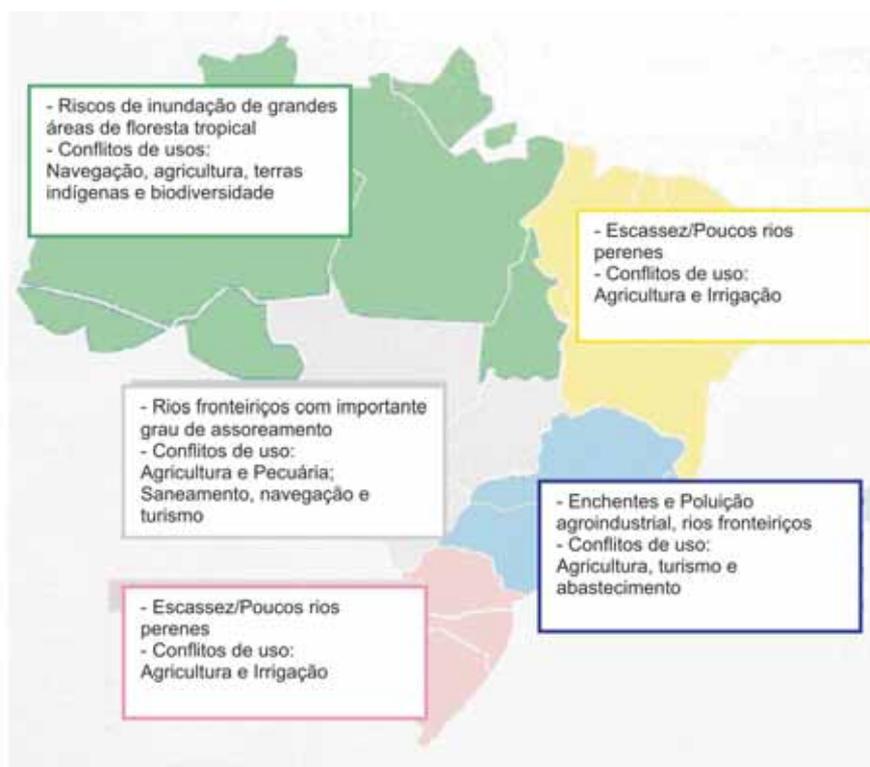
4. 3. CONFLITOS, IMPACTOS E VULNERABILIDADES DA GERAÇÃO HIDRÁULICA

Um agravante na experiência brasileira de uso do potencial hidráulico diz respeito à grande diversidade entre as regiões do país quanto à disponibilidade hídrica. Se as secas são recorrentes no sertão nordestino, no Sudeste, é a poluição industrial e urbana, além do assoreamento dos rios que preocupam, enquanto mais ao Sul, a produção agrícola e animal é responsável por uma poluição difusa de difícil controle dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos. Mesmo na maior bacia hidrográfica do planeta existem problemas decorrentes da expansão demográfica e ocupação desordenada. Alguns pontuais, como a poluição dos igarapés e rios que banham os centros urbanos, outros de amplitude regional, como a transmissão

de doenças de veiculação hídrica e a degradação da qualidade da água nas comunidades menores durante os períodos de estiagem.

Assim sendo, é importante destacar, nos cenários de médio e longo prazo do uso da água em bacias hidrográficas brasileiras, que as necessidades em água tendem a aumentar em função do crescimento demográfico e, sobretudo, do desenvolvimento econômico. A Figura 6 resume este quadro delicado de conflitos entre energia, meio ambiente e recursos hídricos.

Figura 6. Restrições e vulnerabilidade do uso do potencial hidrelétrico por região



Fonte: Elaboração própria.

Bacias Hidrográficas

Neste capítulo é apresentado uma síntese dos recursos hídricos disponíveis para os diversos usos, destacando a vulnerabilidade para o seu aproveitamento e os principais conflitos de uso da água existentes.

BACIA DO SÃO FRANCISCO – RECURSOS HÍDRICOS, VULNERABILIDADE E PRINCIPAIS CONFLITOS DE USO DA ÁGUA

A bacia do Rio São Francisco possui uma capacidade instalada de geração hidrelétrica de cerca de 10,23 GW, vazão média de longo período na foz de 2850 m³/s, área de drenagem de 645.000 km² e população superior a 15 milhões de habitantes. Atualmente, ela já registra uma demanda atual de recursos hídricos para outorga de irrigação da ordem de 500 m³/s, embora o consumo atual verificado não ultrapasse a 150 m³/s, indicando um superdimensionamento das outorgas, embora ocorram algumas incertezas⁴. Para 2025, é possível se considerar um consumo médio outorgado de 335 m³/s, o que pode sugerir um impacto na geração de energia hidrelétrica de 300 a 900 MW médios, dependendo da localidade em que se retiraria a água da bacia do São Francisco⁵ e da forma como se utilizaria o recurso hídrico (irrigação, abastecimento humano e animal, etc.).

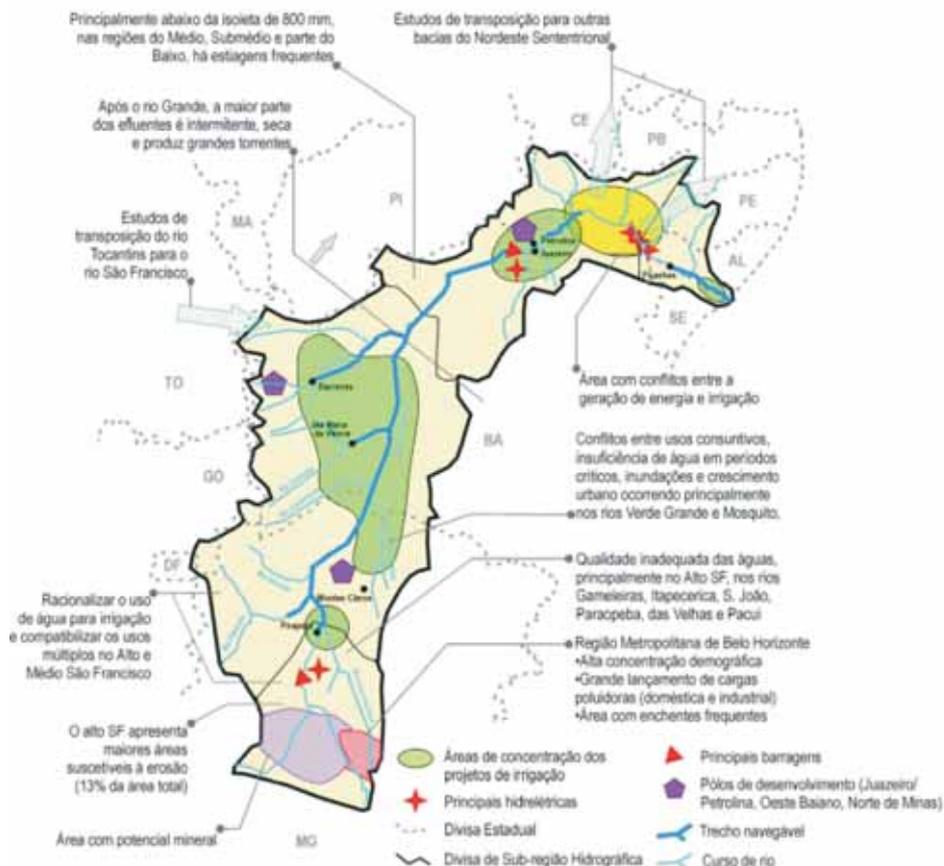
Na Figura 7 é possível se identificar os principais usos e potenciais conflitos de uso da água na bacia do rio São Francisco.

Em relação às mudanças climáticas, a bacia do Rio São Francisco é caracterizada principalmente pela disponibilidade hídrica limitada ao atendimento das demandas de uso consuntivo, como irrigação para produção de alimentos e abastecimento de água para fins de consumo humano e para diluição de poluentes proveniente de esgotos urbanos e industriais, sendo assim, com uma possível alteração do regime de chuvas os conflitos pelo água podem aumentar. Ações que aumentem a eficiência no usos dos recursos hídricos para irrigação e no maior tratamento de poluentes urbanos devem ser priorizadas. Já quanto ao potencial hidráulico, uma redução de 50 m³/s na vazão média anual do São Francisco, poderia provocar uma diminuição na geração de algo em torno de 80 a 160 MW ao longo ano, que deveria ser completada por outras fontes no sistema elétrico interligado.

⁴ Segundo estudos da ANA, estima-se a existência de uma área irrigada na bacia do São Francisco de aproximadamente 350.000 ha, que corresponde a uma vazão retirada equivalente de 207 m³/s médios.

⁵ A perda energética acumulada para cada m³/s consumido da cascata do São Francisco varia de 1,06 MW médios na região da UHE de Xingo a 3,22 MW médios a montante da UHE de Três Marias.

Figura 7. Bacia do Rio São Francisco – principais conflitos no uso da água



Fonte: ANA, 2002a.

BACIA DO PARANÁ – VULNERABILIDADE E PRINCIPAIS CONFLITOS DE USO DA ÁGUA

A Bacia do Paraná é de vital importância para o sistema elétrico brasileiro, nela se encontra mais de 50% da capacidade instalada em operação no país e a Usina Hidrelétrica de Itaipu de 14.000 MW de potência. Todavia, essa bacia também é a maior densidade populacional, o que leva a diversos conflitos de uso do solo e da água, sejam urbanos ou rurais, que podem inviabilizar o aproveitamento futuro do potencial hidráulico e, sobretudo, trazer limitações à geração de energia elétrica em usinas já construídas e em funcionamento.

Sendo assim, na Bacia do Paraná é necessária atenção aos conflitos que se traduzem em vulnerabilidades da geração de energia hidrelétrica, que merecem uma maior atenção do setor elétrico e dos gestores da água, pois podem se agravar no futuro, seja com o crescimento da demanda pelos recursos hídricos, seja pela maior ocorrência de anos de estiagem provocados como decorrência do aquecimento global. Apresentamos a seguir alguns desses conflitos:

- setor de navegação, destaque para hidrovias do Paraná-Tietê, responsável pelo transporte de boa parte da produção de grãos das Regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do país, que necessita de um nível mínimo nos rios e prioridade na operação das eclusas do Canal Pereira Barreto, por exemplo;
- setor de turismo e lazer, pode-se ressaltar o conflito do Lago da Furnas, na bacia do Rio Grande, em Minas Gerais, onde 33 municípios limítrofes, entraram na justiça para exigir uma indenização contra a empresa Furnas Centrais Elétricas, por ter baixado em cerca de 12 metros o nível médio do referido lago, em 2001, ano da Crise de Energia Elétrica do Brasil (ANA e EFEI, 2001);
- setor de saneamento, são inúmeros casos de conflito, porém, é de se salientar o de Santos, Grande São Paulo, a Usina Hidrelétrica de Henry Borden situada no Rio Cubatão reduziu sua capacidade de geração de energia elétrica de 880 MW para menos de 100 MW, devido ao alto grau de poluição das águas do Rio Tietê, o que impediu o bombeamento forçado de suas águas para o canal do Rio Pinheiros, para em seguida ser jogada na Represa Billings e terminar na UHE de Henry Borden (ver quadro 2) (CAPOBIANCO, 2002).

Em relação às mudanças climáticas, a bacia do Rio Paraná tem sido caracterizada principalmente pelo risco de enchentes. Com maior frequência nos anos de aquecimento anômalo do Oceano Pacífico, ou seja, de ocorrência do fenômeno *El Niño*. A cascata de hidrelétricas da bacia tem sido usada na regulação da disponibilidade hídrica e na gestão dos eventos extremos de cheia. A integração transfronteiriça é fundamental para aumentar o êxito dessa gestão. Em outras palavras, Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai e Bolívia devem intensificar a integração dos seus sistemas de meteorologia,

recursos hídricos e energia hidrelétrica para potencializar os benefícios da variabilidade climática, que tem provocado um aumento significativo da disponibilidade hídrica, porém, sem deixar de se considerar a proteção dos usos do solo e da água à jusante das barragens. Já quanto ao potencial hidráulico, um aumento de 30% na vazão média de longo período do Rio Paraná provocou um acréscimo considerável no potencial hidráulico. A estatística das vazões entre 1941-1971 e 1972-2000 apresenta uma variação média de mais 36%⁶. Sendo assim, a Usina Hidrelétrica de Itaipu que foi projetada nos anos 1970 para ter uma capacidade instalada de 12.600 MW, pode a partir de 2007 ampliar sua capacidade de geração para 14.000 MW.

Quadro 2. Vulnerabilidade do Lago da Represa Billings – Região Metropolitana de São Paulo

A qualidade da água na Represa Billings encontra-se bastante comprometida devido ao bombeamento das águas poluídas dos Rios Tietê e Pinheiros, à ressuspensão dos sedimentos contaminados e à ocupação humana desordenada de sua bacia hidrográfica.

A concentração de poluentes disponíveis no meio líquido decorre tanto de cargas externas, lançadas de forma concentrada diretamente no reservatório ou em seus tributários, como também de cargas internas, provenientes dos sedimentos, que interagem permanentemente com o meio líquido, devido, principalmente, ao fenômeno da ressuspensão, resultante da movimentação da água provocada pela ação dos ventos, chuvas ou mudanças de temperatura. Dessa forma, mesmo que o despejo de substâncias poluentes seja paralisado completamente em uma determinada represa, a presença de sedimentos acumulados em seu leito ao longo dos anos em que recebeu cargas de esgotos domésticos e industriais faz com que a mesma possa apresentar elevadas concentrações de substâncias contaminantes por um longo tempo.

⁶ Segundo Silva & Guetter (2001), tem-se observado que algumas áreas da Bacia do Paraná tem apresentado uma aceleração do ciclo hidrológico desde o início da década de 1970, o que pode ser constatado por meio do aumento da frequência de chuvas mais intensas, do aumento de vazões médias e da ocorrência de estiagens com maior duração.

As maiores preocupações com a água da Represa Billings são a eutrofização, a concentração de metais pesados e a presença de microrganismos patogênicos e algas potencialmente tóxicas.

Lago da Represa Billings



Fonte: Capobianco, 2002

BACIA AMAZÔNICA – RECURSOS HÍDRICOS, VULNERABILIDADE E VARIABILIDADE CLIMÁTICA E PRINCIPAIS CONFLITOS DE USO DA ÁGUA

A Bacia Amazônica continental é a maior bacia hidrográfica do globo, com uma superfície de aproximadamente 6.100.000 km². Situada na zona intertropical, recebe precipitações médias anuais de 2460 mm. A vazão média na foz do Rio Amazonas no Oceano Atlântico está estimada em 209.000 m³/s (MOLINIER et al., 2002).

O quadro 3 apresenta questões básicas do conhecimento científico atual sobre a vulnerabilidade climática da Bacia Amazônica.

Quadro 3. Bacia Amazônica – Aspectos básicos e incertezas da vulnerabilidade e variabilidade climática e do regime hidro-meteorológico

De acordo com os resultados do projeto Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica (HiBAm) (FREITAS, 2004 e FILIZOLA, 2002), a Bacia Amazônica é afetada por variabilidades climáticas do El Niño South Oscillation (ENSO) que ocasionam uma importante baixa nas precipitações (ACEITUNO, 1988; RAO e HADA, 1987). O impacto dessa variabilidade climática sobre a hidrologia do Rio Amazonas e seus principais tributários tem sido estudada por diversos autores (MARENGO e HASTENRATH, 1993; MARENGO, 1995), mas esses resultados são em parte inválidos por não considerarem o fenômeno de alguns barramentos hidráulicos ao longo do curso principal do Amazonas (MOLINIER et al., 1996). O impacto dessa variabilidade climática sobre a erosão e os fluxos de matéria transportados na Bacia Amazônica ainda são desconhecidos.

Entre as certezas e incertezas do conhecimento do regime hidro-meteorológico da Bacia Amazônica destacam-se:

- A variabilidade pluviométrica está relativamente bem conhecida na Amazônia brasileira (MARENGO e HASTENRATH, 1993; ROUCOU, 1997), bem como na zona tropical andina (ACEITUNO, 1988; RONCHAIL, 1996, 1998 e 2002). No entanto, existe ainda uma zona ainda pouco estudada e entendida (entre os paralelos 5° e 25° de latitude sul), posto que está ligada, a priori, ao sinal oceânico, e que corresponde às planícies amazônicas (Llanos) da Bolívia, do Peru e do extremo oeste do Brasil.
- Os regimes hidrológicos hoje já são bem conhecidos para os Rios da Amazônia boliviana e brasileira, graças aos levantamentos realizados pelos programas PHICAB e HiBAm (ROCHE e FERNANDEZ, 1992; MOLINIER et al., 1996, 1997). No entanto, não existe praticamente nenhuma informação sobre hidrologia e erosão nos cursos d'água no domínio tropical andino (Colômbia, Equador e Peru), isso também se constitui num freio à modelização hidrológica do conjunto da bacia Amazônica. Por fim, a relação ENSO –

hidrologia, só foi um pouco explorada para o Rio Amazonas e alguns de seus tributários mais importantes (MARENGO, 1995). O impacto da variabilidade climática sobre a hidrologia no conjunto da Bacia Amazônica é ainda pouco conhecido.

Fonte: Freitas, 2006.

O Quadro 4 e a Figura 8 apresentam restrições sócio-ambientais ao uso do potencial hidráulico da Bacia Amazônica.

Quadro 4. Hidrelétricas e meio ambiente na Amazônia

A construção de usinas hidrelétricas na Amazônia brasileira teve início na década de 70, com a entrada em operação em 1975, no Estado do Amapá, da Usina de Coaracy Nunes de 40 MW de potência e 23 km² de área inundada. Desde então já foram construídas seis usinas hidrelétricas, totalizando uma potência instalada de 6.050 MW e uma área alagada de cerca de 7.600 km². Os impactos sócio-ambientais decorrentes da implantação desses empreendimentos no maior ecossistema de floresta tropical do planeta, e também, de elevada diversidade cultural e biológica, vem servindo de base para estudos e avaliações, que tem orientado os novos empreendimentos.

Entre os casos estudados, o da hidrelétrica de Tucuruí, localizada na bacia hidrográfica do Rio Tocantins, em região de floresta tropical úmida, é sem dúvida um dos mais significativos, sendo a usina de maior potência instalada e área inundada na região, 4.240 MW e 2.800 km², respectivamente, tendo deslocado 4.407 famílias.

O início de obra foi em 1976, e o da operação em 1984, com objetivo inicial de gerar energia elétrica para as cidades da Amazônia Oriental, para favorecer a ocupação e o desenvolvimento da Região Norte do país, e também viabilizar a navegação, a partir de eclusas. Contudo o enorme potencial minerológico da região, atraiu indústrias eletrointensivas para o local, principalmente de alumínio que necessitam de muita energia. Diante dessa demanda Tucuruí também iria fornecer energia para o parque industrial. Atualmente a usina fornece 50% de sua geração para as indústrias e o restante para os centros urbanos, nos estados do Pará e Maranhão.

A falta de uma legislação ambiental na época, o desrespeito à legislação vigente e a ausência de dados sobre a região, provocaram uma série de impactos esperados ou não. O setor elétrico brasileiro aprende muito com Tucuruí.

Entre os impactos inesperados destacaram-se os seguintes: isolamento da população ribeirinha após o enchimento do reservatório; ocupação irregular e desordenada; conflito de uso da água; ausência de infra-estrutura; proliferação intensa de mosquitos; intensificação da atividade madeireira predatória; perdas de zonas de pesca a jusante da barragem; aparecimento de grandes cardumes a montante; enorme mortandade de animais com o enchimento do reservatório; emissão de gases de efeito estufa a partir da superfície do lago; reassentamento em áreas impróprias para a agricultura; alto índice de abandono de lotes e de comercialização dos mesmos; pressão na estrutura fundiária local; destruição das relações sociais das comunidades indígenas na região; suprimento de energia seletivo, sem atendimento a população atingida; mudanças da estrutura produtiva agro-extrativista para industrial; oferta de empregos a quem da mão-de-obra atraída para a região; conflitos entre pesca artesanal e comercial e problemas referentes ao cálculo da compensação financeira paga aos municípios que tiveram áreas inundadas. Entre os impactos esperados, destacou-se a perda da rica biodiversidade do local.

A variável ambiental no planejamento do setor elétrico foi incorporada tardiamente

Na fase de construção as medidas para o tratamento das questões sociais foram implementadas de maneira reativa pela concessionária responsável, sem a orientação de políticas voltadas para o reassentamento e ressarcimento das populações afetadas, bem como para o enfrentamento de situações emergenciais.

Diante de todas as circunstâncias ocasionadas pelo empreendimento, algumas lições foram apreendidas, como:

- Futuros projetos hidrelétricos devem ser implantados, incluindo, desde sua concepção, objetivos de desenvolvimento regional e local, não se limitando à geração

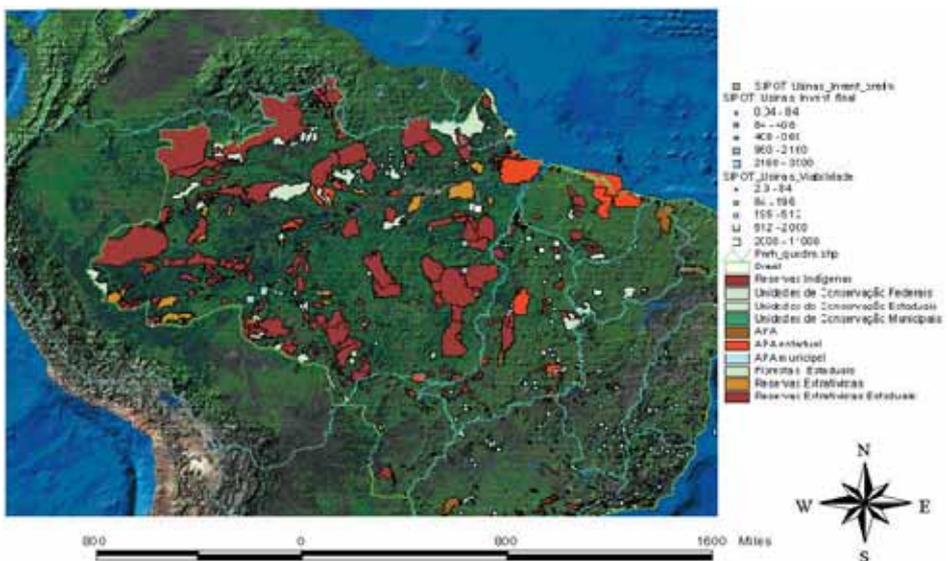
de energia elétrica para empreendimentos com benefícios externos à região;

- A implantação de novos empreendimentos hidrelétricos deve ser efetuada previamente a revisão dos estudos de inventário hidrelétrico de toda a bacia, contemplando além da participação da queda, a avaliação dos impactos sociais e ambientais decorrentes;
- A importância de um processo de avaliação prévia dos impactos ambientais de diversas alternativas exige a criação e aperfeiçoamento de novos mecanismos de participação pública em todas as etapas do projeto de grandes barragens;
- A implantação de empreendimentos hidrelétricos deve contar com a avaliação e respaldo de um comitê de bacia hidrográfica, que deve disciplinar a negociação entre os diversos agentes e usuários da água envolvidos;
- Devem ser objeto de revisão legal os critérios de definição da área diretamente impactada pelos empreendimentos hidrelétricos, com direito à compensação financeira, não se restringindo ao percentual de área inundada, e a criação de mecanismos de controle social da destinação e aplicação dos recursos financeiros;
- A incerteza científica sobre a magnitude e a relevância dos impactos e riscos ambientais do empreendimento, deve suscitar a adoção do “princípio de precaução” ao longo de todas as etapas de planejamento, construção e operação do projeto;
- O reconhecimento por parte do empreendedor que os movimentos sociais são interlocutores legítimos na definição das políticas públicas e na tomada de decisão que afetam o seu modo de vida;
- Necessidade de garantir o acesso às informações técnicas, em linguagem apropriada para domínio público referente ao projeto e os impactos associados;

- Necessidade da criação de canais permanentes de comunicação entre o empreendedor e as comunidades atingidas pelo empreendimento ao longo de todo o ciclo do projeto;
- Promoção de ações de desenvolvimento integrado das áreas rurais com ênfase em projetos de energia renovável e de melhoria da qualidade de vida da população, considerando a facilidade ao acesso aos benefícios dos empreendimentos pelas populações urbanas e baixos índices de atendimento às zonas rurais na Amazônia;
- As lições aprendidas com o caso estudado da UHE Tucuruí devem ser aproveitadas no planejamento, construção e operação de novos projetos hidrelétricos na Amazônia para que estes possam contribuir de fato para o desenvolvimento sustentável e participativo da região e do país.

Fonte: World Commission on Dams, 2000 e Freitas, 2003 e 2004

Figura 8. Bacias do Rio Amazonas e Tocantins – Usinas hidrelétricas inventariadas e em estudo de viabilidade e unidades de conservação e reservas indígenas



Fonte: Elaboração própria

É importante ressaltar os importantes progressos técnicos conseguidos nos últimos projetos de usinas hidrelétricas na Bacia Amazônica, ou seja, é perceptível a preocupação dos empreendedores públicos e privados do setor elétrico em projetarem usinas com lagos menores, como o exemplo das Usinas do rio Madeiras de Santo Antônio (3.150 MW) e Jirau (3.300 MW) com área inundada prevista total de cerca de 271 e 258 km², respectivamente, e na bacia do Rio Xingu, com a Usina de Belo Monte, com área inundada prevista também de aproximadamente 400 km² e capacidade instalada esperada da ordem de 7500 MW (FURNAS, 2005).

Quadro 5. Usinas hidrelétricas na Região Amazônica – relação da área do reservatório com potência da usina

USINAS NA REGIÃO AMAZÔNICA	ÁREA DOS RESERVATÓRIOS (km ²)	POTÊNCIA (MW)	ÁREA RESERVATÓRIO/POTÊNCIA DA USINA (km ² / MW)
BALBINA	2.360	250	9,44
SAMUEL	584	217	2,69
MANSO	387	210	1,84
TUCURUÍ			
1ª ETAPA	2.414	4.000	0,61
2ª ETAPA		8.000	0,30
JIRAU	258	3.300	0,08
SANTO ANTÔNIO	271	3.150	0,086

Fonte: Furnas, 2005

Já quanto às questões globais, a Bacia Amazônica tem uma enorme importância na dinâmica climática e no ciclo hidrológico do planeta. A bacia representa aproximadamente 16% do estoque de água superficial doce e, conseqüentemente, uma importante contribuição no regime de chuvas e evapotranspiração da América do Sul e do mundo. Mudanças regionais e globais têm provocado alterações no clima e na hidrologia da região. Notadamente, transformações no uso do solo com a conversão de mais de 700.000 km² de florestas tropicais em pastagens, acrescido ao fenômeno do aquecimento climático global, que tem registrado aumentos de temperatura médios de 0,6° a 0,9° C nos últimos cem anos. Com efeito, a mudança de temperatura pode levar a várias outras alterações do meio ambiente, entre elas, a intensificação do ciclo hidrológico global, o que provocará impactos

sobre os recursos hídricos a nível regional. De fato, mudanças diferenciadas de temperatura da atmosfera, dos continentes e dos oceanos, levam à mudanças de padrões de pressão atmosférica e de ventos. Portanto, poder-se-ia esperar mudanças nos padrões de precipitação, conforme os modelos matemáticos de previsão global do clima do Hadley Center para 2050, que apresentam reduções médias de 150 a 250 mm/ano-1 nas chuvas da região.

É de se salientar que, caso venha a se intensificar a ocorrência de fenômenos de aquecimento anômalo da Temperatura da Superfície dos Oceanos Pacífico e Atlântico as chuvas e, portanto, vazões dos rios devem ser reduzidas. De fato, no que diz respeito ao Oceano Pacífico “as ocorrências de El Niño tem determinado eventos extremos de deficiência de chuva e por conseqüência, baixas descargas nos rios da região, sobretudo, na parte norte oriental da Amazônia”. Tendências para condições mais secas foram observadas durante os eventos de El Niño de 1903, 1912, 1925-26, 1982-83, 1986-87 e 1997-98. Já quanto ao Oceano Atlântico, segundo o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/Inpe) e o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), no período de setembro de 2004 a setembro de 2005, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) esteve entre 0,5°C e 1,5°C acima da média no Oceano Atlântico Norte, ou seja, foi registrado a persistência de um aquecimento anormal. Esse fenômeno, possível responsável pela seca Amazônica de 2005, acabou alterando as correntes de massas de ar úmidas da Amazônia, principalmente em parcelas importantes das bacias do Rio Solimões, Rio Negro, Rio Madeira, Rio Juruá, entre outros (FREITAS, 2006). Já quanto ao potencial hidráulico, a tendência de reservatórios de menor capacidade de regulação, conforme comentado anteriormente, tende a deixar mais vulnerável à geração hidrelétrica em anos de deficiência hídrica.

5. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO DO SISTEMA HIDRELÉTRICO BRASILEIRO E DOS USOS DA ÁGUA AOS RISCOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Dada às incertezas dos modelos climatológicos atuais para prever as precipitações futuras nas bacias hidrográficas brasileiras, as recomendações aqui presentes, são, sobretudo, concentradas na redução da vulnerabilidade já existente para expansão e manutenção da geração da energia hidráulica no país.

A. Conflitos energia hidráulica e demais usuários de recursos hídricos

A ocorrência mais freqüente e com maior intensidade de eventos extremos, como secas e cheias, deverá aumentar o conflito entre usuários da água nas diversas bacias hidrográficas brasileiras. Com relação especificamente aos empreendimentos hidroelétricos, a expansão da demanda por recursos hídricos – em valores absolutos e em sua diversidade – exigirá um conhecimento mais profundo da área onde eles atuam, um acompanhamento permanente das condições de geração e não apenas no sítio da usina e no entorno do reservatório. Os balanços hidrológicos deverão ser mais precisos, os levantamentos dos impactos econômicos e ambientais terão de ser mais detalhados, enfim, tende a aumentar a responsabilidade social da usina perante a comunidade ribeirinha e os demais usuários. O desafio na geração hidrelétrica é integrar em seu planejamento e operação novos temas – e, portanto, novas competências – muitas vezes de natureza bastante distintas.

B. Conflitos energia hidráulica e demais usuários do solo

O crescimento demográfico e a expansão da ocupação ordenada e desordenada do território brasileiro tende a ampliar o número de atingidos pelos empreendimentos hidrelétricos, e assim, ganhar apoio político para suas reivindicações, o que torna a viabilização e execução do projeto uma etapa extremamente crítica. Isso porque depende, não só de financiamento de longo prazo, mas também de negociações cada vez mais demoradas, com custos de transação mais elevados e com menores garantias de êxito. Urge uma revisão das leis que definem os critérios de compensação financeira dos empreendimentos hidrelétricos. A título de exemplo, hoje não está previsto o ressarcimento de populações e municípios à jusante do barramento, além de grupos populacionais específicos, como os povos indígenas.

C. Gestão múltipla e integrada dos reservatórios

O aumento da freqüência e da intensidade dos eventos extremos, como os fenômenos de aquecimento anômalo do Oceanos Pacífico (El Niño) e Atlântico, necessitaram de uma gestão mais eclética dos reservatórios, que não só a otimização da geração hidráulica, reduzindo os impactos negativos e ampliando os benefícios para a bacia e para os demais usuários, decorrente tanto da decisão de instalar uma usina, quanto da gestão do reservatório da usina, alguns custos sociais acabarão sendo internalizados pelos geradores

por imposição do poder público, seguindo uma tendência já observada no plano internacional. Assim, deverão aumentar os investimentos em atividades antes marginais, como a conservação da cobertura vegetal, a regularização da vazão dos rios e seus afluentes, o controle de despejo de efluentes, a aquisição de informações hidrológicas e a ordenação do uso dos solos na bacia hidrográfica.

D. Novos arranjos institucionais e regulatórios para geração energia hidráulica

A redução da vulnerabilidade dos empreendimentos hidráulicos passa, sobretudo, por um maior aceite dos mesmos pela sociedade. É importante constatar que a complexidade dos projetos mais recentes já é superior ao que se observava até a década de 1980, em decorrência essencialmente das alterações na legislação. Hoje, são numerosos os arranjos institucionais e articulações políticas que precedem a tomada de decisão de investir na construção de uma barragem, uma usina hidroelétrica, ou uma grande central de geração térmica. As autorizações devem ser obtidas em órgãos de regulação do setor elétrico, hídrico e ambiental, além dos acordos com governadores, prefeitos e associações de moradores locais. Os atuais marcos reguladores, não somente exigem sucessivas licenças ambientais, concessões de exploração do potencial hidráulico e outorgas de uso da água, mas também impõem taxas pelo uso, consumo e descarga, assim como obrigações quanto à obtenção e fornecimento de informações hidrológicas. Não é por menos que, dos vários projetos em carteira no setor elétrico, poucos foram aqueles que não foram cancelados, postergados, ou reformulados na década de 1990.

E. Oportunidades tecnológicas e econômicas à geração de energia elétrica

A redução da vulnerabilidade de geração do sistema elétrico passa fortemente pela integração com outras fontes de energia e empreendimentos em diversas escalas. Ou seja, um desafio adicional a ser considerado diz respeito às mudanças ocorridas na própria indústria de geração elétrica, no plano tecnológico e no plano econômico. Paradigmas técnico-econômicos foram fortemente contestados, como por exemplo, o das grandes usinas, e novas oportunidades de negócio surgiram na instalação e operação de pequenas unidades de geração. Proliferaram as pequenas usinas colocadas em córregos e quedas d'água, o aproveitamento de resíduos da biomassa, as fazendas de geração eólica nas regiões costeiras e as turbinas derivadas da aviação, abastecidas por gás natural, e que podem ser instaladas em prédios

urbanos. O impacto econômico foi quase imediato: menos dependentes dos ganhos de escala, as novas tecnologias de geração viabilizaram o ingresso de novos produtores melhorando significativamente as condições de concorrência. Movimento esse que foi reforçado pela ampla desregulamentação dos serviços de infra-estrutura nos países industrializados e em desenvolvimento. Nesse cenário completamente remodelado, entre os atores mais importantes incluem-se alguns grandes grupos multinacionais, que se baseiam na escala planetária de suas operações, assim como nas crescentes economias de envergadura (ou escopo) que surgem entre os diferentes setores de infra-estrutura. Mas, são os novos atores que se destacam, são empresas e conglomerados de dimensão regional e local, que ingressaram na geração incentivados pela disponibilidade de unidades menores, que podem ser localizadas próximas aos centros de consumo, construídas mais rapidamente e em módulos, bastante flexíveis na operação e que podem funcionar apenas nos horários de pico. A favor desses empreendimentos estava também a pressão pela rentabilidade advinda da especulação acionária nas Bolsas de Valores do mundo, durante a década de 1990. No setor de infra-estrutura e particularmente na geração de energia, o *leit motiv* passou a ser a rapidez do retorno e a mitigação dos riscos, o que se coaduna perfeitamente com a filosofia e a estrutura de custo dos novos projetos.

Por último, em guisa de conclusão, indicamos sugestões de ações estruturais e não-estruturais nas bacias hidrográficas e na gestão do potencial hidráulica, principalmente na geração de energia elétrica, logicamente levando em consideração incertezas dos modelos de previsão de vazão e a vulnerabilidade de bacias e da área de energia e, portanto, da matriz energética brasileira aos riscos de alteração climática.

Ações estruturais

1. Construção / modificação de infra-estrutura física

Será necessário, o quanto antes, uma revisão dos arranjos de geração hidrelétrica do parque já instalado, principalmente em relação aos usos múltiplos da água, seja para períodos extremos de seca e cheia, seja para garantir uma melhor adaptação às necessidades de crescimento populacional e econômico das bacias hidrográficas.

2. Remoção de sedimentos de reservatórios

É fundamental uma ação de remoção periódica dos sedimentos do fundo dos reservatórios para garantir um maior armazenamento de água e, por conseguinte, manter uma maior capacidade de geração de energia e vida útil do empreendimento.

3. Transferências de energia e água entre bacias hidrográficas (integração regional e continental)

O estímulo a uma maior integração continental e regional entre bacias hidrográficas e sistemas elétricos é fundamental. Essa ação pode, sem dúvida alguma, reduzir consideravelmente a vulnerabilidade da oferta de energia e água entre países e mercados consumidores.

Hoje, a operação do Sistema Interligado Brasileiro garante a compensação dos desequilíbrios sazonais e decenais entre bacias e os mercados de energia elétrica. Uma seca na bacia do Rio São Francisco não provoca maiores risco ao consumo de energia elétrica da Região Nordeste.

Por outro lado, a integração continental ainda é bastante incipiente, com instabilidades políticas nacionais trazendo restrições a intensificação do intercâmbio de energia entre os países da América do Sul. Exemplos do Gasoduto Brasil-Bolívia e da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Brasil e Paraguai) devem ser aperfeiçoados num modelo de integração sul-americana. Recentemente, em abril de 2008, um acordo firmado entre os governos brasileiro e argentino estipularam o fornecimento de energia elétrica do Brasil a Argentina no período de inverno, quando aumenta a demanda por energia para aquecimento, com o inverso no verão quando aumenta a demanda de eletricidade no Brasil para climatização de ambiente.

Ações não-estruturais

1. Gestão adaptável de sistemas de provisão de água existentes

Estruturar os sistemas de provisão de água para conviver com períodos de quotas mais baixas e com integração de sistemas alternativos de abastecimento.

2. Mudança regras operacionais

As regras operacionais das usinas hidrelétricas necessitam ser revistas em momentos de contingência, e se manterem bem informadas das restrições de diversos usos consuntivos e não consuntivos a estas regras.

3. Uso conjunto de águas atmosféricas, superficiais e subterrâneas

A gestão futura do uso da água caminha para uma tentativa de abordagem integrada do ciclo hidrológico. Ou seja, sistemas de bacias hidrográficas, aquíferos e massas de ar devem ser levados em consideração em escalas de tempo diferenciadas, porém, integradas com destaque para os potenciais e restrições de cada um desses sistemas. Uma tentativa de integração das águas da Bacia do Prata pode ser realizada com a discussão do Aquífero Guarani e da Gestão das Massas de Ar e Vapor d'Água que afetam a região, envolvendo Argentina, Brasil, Bolívia, Paraguai e Uruguai.

4. Integrar sistemas de operação de reservatórios

Hoje existe uma integração entre a operação dos reservatórios de geração energia hidroelétrica, todavia, não existe interação entre estes e os demais para abastecimento urbano e rural. Além disto, a interação continental de reservatórios é bastante incipiente e não leva em consideração as limitações das bacias hidrográficas transfronteiriças como a Bacia do Prata e do Rio Amazonas.

5. Aumentar a coordenação espaço-temporal entre oferta e demanda de água e energia, ou seja, entre bacia hidrográficas, sistemas energéticos e a sazonalidade, variabilidade e vulnerabilidade climática. Com destaque para:

- Água

Usos consuntivos e não-consuntivos

- Energia

Recursos renováveis e não-renováveis

- Uso eficiente da energia.

REFERÊNCIAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the southern oscillation in the south american sector: surface climate. *Monthly Weather Review*, n. 116, p. 505-524, 1988.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *A evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil*. Brasília, 2002a. 64 p.
- _____. *Avaliação expedita sócio-econômica e ambiental dos municípios Lindeiros ao reservatório de Furnas*. Brasília, 2001. Mimeografado.
- _____. *Overview of hydrographic regions in Brazil*. Brasília, 2002b. 85 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *BIG - Banco de Informações de Geração*. Brasília, 2007.
- _____. *Projeto BRA/00/29: capacitação do setor elétrico brasileiro em relação à mudança global do clima*. Brasília, 2003. Cd-Rom.
- ALCAMO, J.; HENRICHIS, T.; ROSCH, T. *World water in 2025: global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st century*. [S.l.]: University of Kassel, 2000. (Kassel World Water Series, n. 2).
- BERGKAMP, M. et al. *Change: adaptation of water resources management to climate change*. Washington: [s.n.], 2003.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de pesquisa energética. *Balanco energético nacional, 2007: ano base 2006: relatório final*. Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- CALLEDE, J. Evolution du débit de l'Amazone à óbidos de 1903 à 1999. *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*, v. 47, n. 2, p. 321-334, Avr. 2003.
- CAPOBIANCO, J. P. R. et al. *Billings 2000: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo: relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99*. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002.
- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS; ELETROBRAS. *Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro - SIPOT*. Rio de Janeiro, 2007.
- COMISSÃO DE ANÁLISE DO SISTEMA HIDROTÉRMICO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Relatório final*. Brasília, 2001. Mimeografado.
- FILIZOLA, N. Caracterização hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C. E. (Org.). *Amazônia: uma perspectiva interdisciplinar*. Manaus: Editora Universidade do Amazonas, 2002. p. 33-54.

FREITAS, M. A. V. Vulnerabilidade e impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos. In: POPPE, Marcelo Khaled; LA ROVERE, Emilio Lebre (Org.). *Mudanças climáticas*. Brasília: Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Presidência da República, 2005. p.198-206. (Cadernos do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República-NAE, v. 1).

_____. *Vulnerabilidade climática e antrópica dos recursos hídricos da Bacia Amazônica*. [S.l.: s.n.], 2006. 43 p. Nota técnica do Projeto Gerenciamento Integrado e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços na Bacia do Rio Amazonas considerando a variabilidade e as mudanças climáticas - Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Suriname, Venezuela. Brasília, PROJETO GEF AMAZONA

_____ et al. Hidreletricidade no Brasil: perspectivas de desenvolvimento e sustentabilidade. In: FREITAS, M. A. V. (Org.). *O estado das águas no Brasil: 2001–2002*. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2003. p. 49-63.

_____. Hydroelectricity in Brazil: developing and sustainable. In: ROSA, L. P.; SANTOS, M. A.; TUNDISI, J. G. *Greenhouse gas emissions from hydropower reservoirs and water quality*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004. p. 7-26.

FURNAS. *RIMA das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau*. Rio de Janeiro, 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Bilan 2001 des changements climatiques : rapport de synthèse*. Genebra: OMM: PNUMA, 2003.

_____. *Freshwater resources and their management*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007b. 155 p.

_____. *Climate change, 2001: Working Group II: impacts, adaptation and vulnerability*. [S.l.]: Oxford Press, 2001.

KOSUTH, P. et al. Altimetric reference for Amazon area: first experiments. In: HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL PROCESSES IN LARGE SCALE RIVER BASINS, 1999, Manaus. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 1999.

_____. Influence de la marée océanique sur le cours aval de l'Amazone. In: HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL PROCESSES IN LARGE SCALE RIVER BASINS, 1999, Manaus. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 1999.

KUNDZEWICZ, Z. W. et al. Freshwater resources and their management. In: PARRY, M. L. et al (Ed.). *IPCC 2007: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007. p. 173-210. Contributions of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

LIEBMANN B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon basin. *Journal of Climate*, n. 14, p. 4308-4317, 2001.

MAGRIN, G., C. et al. Latin America. In: PARRY, M. L. et al (Ed.). *IPCC 2007: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007. p. 581-615. Contributions of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

MARENGO, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, n. 12, p. 853-863, 1992.

_____. Variations and change in South American streamflow. *Climate Change*, n. 31, p. 99-117, 1995.

_____. *Hidrologia y regimen hidrico en la Cuenca Amazonica*. [S.l.]: INPE, 2004.

_____; HASTENRATH, S. Case studies of the extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate*, n. 6, p. 617-627, 1993.

_____; NOBRE, C. A. The hydroclimatological framework in Amazonia. In: RICHEY, J.; MCCLAIN, M.; VICTORIA, R. (Ed.). *Biogeochemistry of Amazonia*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 17-42.

_____; SAMPAIO, G. On the associations between hydrometeorological conditions in Amazonia and the extremes of the southern oscillation. *Bulletin de l'Institut Français d' Études andines*, n. 27, p. 789-802, 1998.

MECHOSO, C. R., IRIBARREN, G. P. Streamflow in south eastern South America and the southern oscillation. *Journal of Climate*, n. 5, p. 1535-1539, 1992.

MOLINIER M. *Hydrological variability in the Amazon drainage basin and African tropical basins: hydrological processes*. [S.l.: s.n.], 2002.

_____ et al. Les regimes hydrologiques de l'amazone et de ses affluents hydrologie tropicale: geoscience et outil pour le developpement. *LAHS*, n. 238, p. 209-222, 1996.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n. 2, p. 107-117, 1987.

_____. Amazonian rainfall and its variability. In: *HYDROLOGY and water management in the humid tropics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 99-111.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL - OMM. *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2003*. Ginebra, 2004. 12 p. (OMM, n. 966).

PARRY, M. L. et al (Ed.). *IPCC 2007: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007a. 976 p. Contributions of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

POPPE, M. K.; LA ROVERE, E. (Org.). *Mudanças climáticas*. Brasília: Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Presidência da República, 2005. (Cadernos do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República-NAE, v. 1).

ROCHE, M. A. et al. *Balance hídrico de Bolivia*. La Paz: UNESCO, 1992. 16 p.

RONCHAIL, J. Variabilité pluviométrique en Bolivie lors des phases extrêmes de l'oscillation Australe du Pacifique (1950-1993). *Bulletin de l'Institut Français d' Etudes Andines*, n. 27, p. 687-698, 1988.

_____; COCHONNEAU, G. Main patterns of summer rainfall variability and associated circulation in western and southern Amazon. In: VAMOS/CLIVAR CONFERENCE ON SOUTH AMERICAN LOW-LEVEL JET, 2002, Santa Cruz de la Sierra. *Communications...* [S.l.: s.n.], 2002.

_____. *Variabilité pluviométrique en bolivie lors des phases extremes de l'oscillation Australe du Pacifique (1950-1993)*. Paris: Université de Paris 7, 2003. 12 p.

_____; BOURREL, L. Enchentes, chuvas e circulação atmosférica na Bacia Amazônica Boliviana. In: CONGRESO LATINOAMERICANO E IBÉRICO Y BUENOS AIRES, 9., 2001, Buenos Aires. *Anales...* [S.l.: s.n.], 2001. Evento simultâneo VIII Congreso Argentino de Meteorología.

_____ et al. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and SSTs in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *International Journal of Climatology*, n. 22, p. 1663-1686, 2002.

ROUCOU, P. *Impact des températures de surface océanique d'échelle globale sur la dynamique de l'atmosphère et les précipitations tropicales en Amérique du Sud à l'est des Andes: diagnostic et simulation numérique*. 1997. Tese (Doutorado)- Centre de Recherche de Climatologie, Université de Bourgogne, France, 1997.

SILVA, M. E. S. ; GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. *Terra Livre*, São Paulo, ano 19, v. 1, n. 20, p. 111-126, jan./jul. 2003.

TAYLOR, R. The possible role and contribution of hydropower to the mitigation of climate change. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY, 2008, Luebeck, Germany. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 2008.

TUCCI, C. E. M. et al. *Previsão de médio prazo da afluência de reservatórios com base na previsão climática*. Brasília: MCT, 2002. Mimeografado. Relatório de pesquisa ANEEL, PNUD, MCT.

WORLD COMMISSION ON DAMS. *The report of the World Commission on Dams: dams and development a new framework for decision-making*. London: Earthscan Publications Ltda, 2000. 365 p.

Resumo

Em 2005, a energia hidráulica contribuiu com 25,8 EJ (Exajoules) do total de 490 EJ de energia consumidos no planeta (5,3%) (IPCC, 2007a). Em relação à produção de eletricidade, a fonte hidráulica teve maior participação, 16,48% dos 17.430 GWh consumidos mundialmente em 2005 (Taylor, 2008). O Brasil possui cerca de 19,4% da disponibilidade hídrica superficial do planeta, sendo o terceiro país do mundo em capacidade instalada de geração hidrelétrica, atrás da China e do Canadá. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2007 (Brasil – MME/EPE, 2007) cerca de 84% do total da energia elétrica gerada foi obtida de forma renovável por meio de usinas hidrelétricas no Brasil. Em dezembro de 2006, dos 104.822 MW de capacidade instalada de geração elétrica (sistemas interligado e interligações internacionais⁷), aproximadamente 76% eram devidos à fonte hidráulica – 74.000 MW divididos em 638 usinas nacionais e 5.650 MW da parcela paraguaia da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Aneel, 2007). Uma possível alteração no regime de chuvas e, portanto, no regime hidrológico futuro, fruto do aquecimento climático global, pode afetar consideravelmente o sistema elétrico brasileiro, que apresenta forte dependência dos recursos hídricos. Entre os principais impactos projetados, pode-se destacar um provável aumento da frequência de eventos de precipitação extrema, elevando o risco de inundações e de efeitos adversos na qualidade da água superficial e subterrânea; assim como, um provável aumento da extensão de áreas afetadas por secas gerando escassez generalizada de água. Procedimentos de adaptação e práticas de gerenciamento de risco para o setor hídrico estão sendo desenvolvidos em alguns países e regiões que reconheceram as mudanças hidrológicas projetadas. O presente trabalho visa discutir as possíveis consequências da vulnerabilidade climática do sistema elétrico brasileiro, com destaque para os efeitos no Sistema Interligado e nos Sistemas Isolados e as possíveis medidas de adaptação de curto, médio e longo prazos. Neste trabalho discutimos também as incertezas futuras da interação clima e água, a vulnerabilidade dos recursos hídricos e do potencial

⁷ Inclusive os aproveitamentos existentes que compõem os Sistemas Isolados, às interligações internacionais já em operação e também a parcela de Itaipu importada do Paraguai.

hidráulico brasileiro aos eventos climatológicos extremos e sugerimos medidas estruturais e não estruturais de adaptação do setor hidrelétrico às mudanças climáticas globais.

Palavras-chave

Energia hidráulica. Energia elétrica. Mudanças climáticas globais. Vulnerabilidade. Aquecimento climático global.

Abstract

In the year of 2005, the hydraulic energy contributed with 25,8 EJ (ExaJoules) of the total of 490 EJ of energy consumed in the planet (5,3%) (IPCC, 2007). in relation to the production of electricity, the hydro power had larger participation, 16,48% of 17.430 GWh globally consumed in 2005 (Taylor, 2008). Brazil possesses about 19,4% of the readiness superficial hídrica of the planet, being the third country of the world in installed capacity of hydroelectric generation, behind China and of Canada. According to the National Energy Swinging of 2007 (Brasil – MME/ EPE, 2007) about 84% of the total of the electric power produced it was obtained in a renewable way through hydroelectric power in Brazil. In December of 2006, of 104.822 MW of installed capacity of electric generation (national systems interconnected and international connections), approximately 76% were due to the hydraulic source - 74.000 MW shared in 638 national plants and 5.650 MW of the Paraguayan portion of the Hydroelectric power station of Itaipu (ANEEL, 2007). A possible alteration in the rainfall and, therefore, in the hydrological cycle, fruit of the global climatic change, it can affect the Brazilian electric system. Among the main projected impacts it can stand out a probable increase of the trend of precipitation events, elevating the risk of floods and of adverse effects in the quality of the superficial and underground water; as well as, a probable increase of the extension of affected areas for droughts generating widespread shortage of water. Adaptation procedures and practices of risk administration for the water resources are being developed in some countries and areas that recognized the projected hydrologic changes. The present work seeks to discuss the possible consequences of the climatic vulnerability of the Brazilian electric system, with prominence for the effects in the Interlinked Grid System and in the Isolated Systems and the possible measures of adaptation of short, medium and long period. In this work we also discussed the future uncertainties of the interaction climate and water, the vulnerability of the water resources and of the Brazilian hydraulic potential to the extreme climatological events and we suggested structural and non structural measures of adaptation of the hydroelectric generation to the global climatic changes.

Keywords

Hydraulic energy. Electric power. Global climate changes. Vulnerability. Electric.

Os autores

MARCOS AURÉLIO VASCONCELOS DE FREITAS é mestre em Engenharia Nuclear e Planificação Energética (Universidade Federal do Rio de Janeiro) e doutor em Ciências e Economia do Meio Ambiente e de Energia. É professor do Programa de Planejamento Energético (Coppe/UFRJ).

JOÃO LEONARDO DA SILVA SOITO é engenheiro de Furnas Centrais Elétricas e doutorando em Planejamento Energético (PPE/Coppe/UFRJ).

