

2

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL – SIN

2.1

VOCAÇÃO À HIDROELETRICIDADE

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil – Sistema Interligado Nacional (SIN) – pode ser classificado como um sistema hidrotérmico de grande porte e com forte predominância de usinas hidroelétricas.

A análise da potência instalada no Brasil indica, de forma evidente, que a expansão do parque gerador ocorreu, principalmente, através da instalação de usinas hidroelétricas, que hoje representam cerca de 71% da potência elétrica instalada no País, cabendo às usinas térmicas (incluindo-se as Centrais Nucleares de Angra dos Reis) cerca de 21%. Ainda, com uma pequena participação, as usinas eólicas representam 0,2% da capacidade instalada no País.

Essa característica do Sistema Interligado Nacional se deve ao fato do Brasil possuir diversas bacias hidrográficas com centenas de rios perenes e caudalosos, que se espalham pelas diversas regiões geográficas do País, topografia favorável à construção de grandes reservatórios de regularização plurianual e regimes de chuvas diferentes entre si ao longo de um mesmo ano – períodos marcadamente chuvosos e secos (sazonalidade anual). Este fato induziu à vocação hidroelétrica do nosso sistema que, no entanto, não tem todo o seu potencial hidroelétrico aproveitado, o qual é da ordem de 260.000 MW.

Atualmente, as usinas hidroelétricas são responsáveis por mais de 90 % da energia produzida anualmente no SIN, percentual este que é variável ao longo dos anos em função das condições hidrológicas e das políticas de otimização eletroenergética verificadas em cada ano.

A predominância das usinas hidroelétricas na capacidade instalada do SIN, independentemente da oportunidade técnica, estratégica, econômica e necessária de novas fontes de geração, complementar ou distribuída ao longo da rede, deverá perdurar por várias

décadas, pois, as expectativas da escala de crescimento do mercado de energia elétrica aliadas à vocação natural à hidroeletricidade conferem ao Setor Elétrico Brasileiro o desafio de, a cada ano, elevar, consideravelmente, sua oferta de energia elétrica.

Entretanto, apesar de seu grande potencial disponível, a expansão do parque hidroelétrico vem encontrando barreiras devido a questões ambientais, conduzindo a uma maior participação das usinas térmicas na matriz energética brasileira, como verificado nos últimos leilões de energia nova.

A Tabela a seguir apresenta a capacidade instalada dos empreendimentos em operação na matriz energética brasileira, incluindo o SIN e sistemas isolados, em 19 de dezembro de 2007.

Tabela 2.1: Empreendimentos em Operação na Matriz Energética Brasileira

Fonte: ANEEL

Tipo	Capacidade Instalada		%	Total		%	
	N° de Usinas	kW		N° de Usinas	kW		
Hidro	665	76.848.711	70,8%	665	76.848.711	70,8%	
Gás	Natural	78	10.193.502	9,4%	108	11.344.480	10,5%
	Processo	30	1.150.978	1,1%			
Petróleo	Óleo Diesel	575	2.918.706	2,7%	597	4.388.600	4,0%
	Óleo Residual	22	1.469.894	1,4%			
Biomassa	Bagaço de Cana	238	3.016.625	2,8%	282	4.074.599	3,8%
	Licor Negro	13	794.817	0,7%			
	Madeira	26	224.207	0,2%			
	Biogás	2	20.030	0,0%			
	Casca de Arroz	3	18.920	0,0%			
Nuclear	2	2.007.000	1,8%	2	2.007.000	1,8%	
Carvão Mineral	Carvão Mineral	7	1.415.000	1,3%	7	1.415.000	1,3%
Eólica	16	247.050	0,2%	16	247.050	0,2%	
Importação	Paraguai		5.650.000	5,2%	8.170.000	7,5%	
	Argentina		2.250.000	2,1%			
	Venezuela		200.000	0,2%			
	Uruguai		70.000	0,1%			
Total	1.677	108.495.440	100,0%	1.677	108.495.440	100,0%	

2.2

DIMENSÃO DO SISTEMA

Outra característica singular do SIN é sua dimensão continental que lhe confere uma maior complexidade operacional quando comparado aos sistemas de outros países.

A fim de se aproveitar, de forma ótima, os recursos energéticos existentes no País e a sazonalidade hidrológica própria de cada Região, foi necessário o estabelecimento de uma extensa malha de transmissão que funciona como uma usina virtual, pois possibilita a transferência de excedentes energéticos permitindo a otimização dos estoques armazenados nos reservatórios das usinas hidroelétricas.

A Figura 2.2 permite uma adequada visualização da complementariedade hidrológica entre as Regiões do País que compõem os Subsistemas do SIN. Nela estão representadas as Energias Naturais Afluentes, ENAs, em valores médios mensais do histórico de afluências de 1931 a 2006, bem como seu valor médio anual para cada uma das Regiões do País.

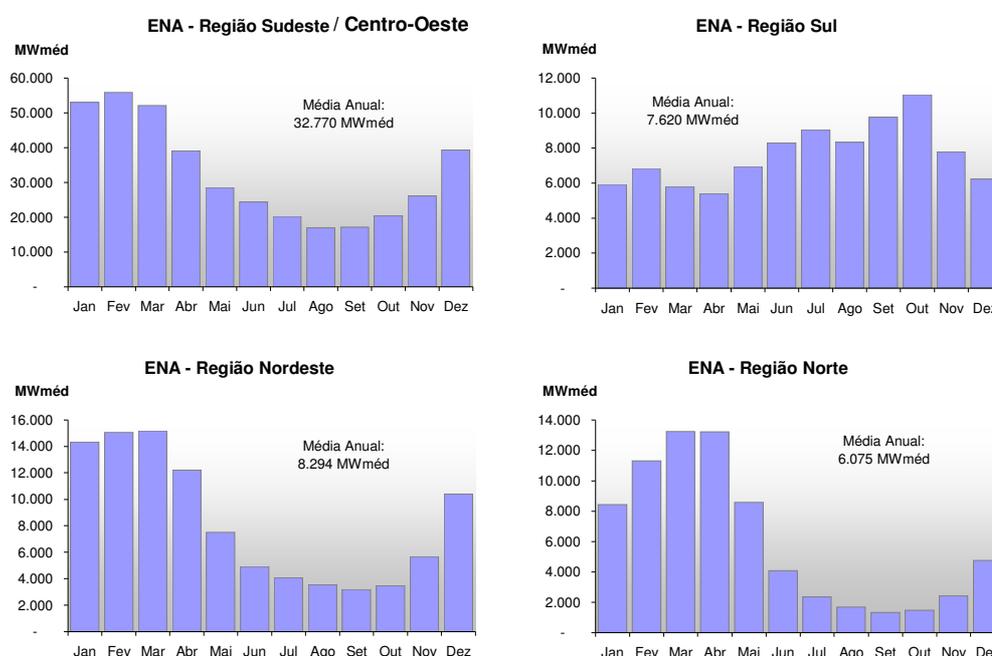


Figura 2.2: Energias Naturais Afluentes
Fonte: ONS

Observa-se, inicialmente, a complementariedade hidrológica existente entre as Regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul. A distribuição das energias naturais afluentes médias mensais mostra que os respectivos períodos secos e úmidos não são coincidentes nessas Regiões.

Na Região Sudeste/Centro-Oeste o período úmido ocorre de dezembro a abril, onde se observam afluências superiores à média anual. Embora a Região Sul não possua período úmido e seco bem delimitados, neste mesmo período as afluências encontram-se abaixo do

valor médio anual, de modo que o Sul pode importar os excedentes energéticos da Região Sudeste.

De forma semelhante, quando a situação hidrológica da Região Sul está mais favorável, isto é, as ENAs mensais estão superiores à média anual o subsistema Sul pode exportar o seu excedente energético para as Regiões Sudeste/Centro-Oeste, já que estas encontram-se em seus períodos secos.

Com isso, há uma clara complementariedade hidrológica que indica a necessidade da transferência de excedentes energéticos entre essas Regiões, bem como do uso dos estoques que apresentarem menor custo.

A análise das ENAs das Regiões Norte e Nordeste nos permite observar a inexistência da complementariedade hidrológica entre essas Regiões, uma vez que há coincidência entre os seus respectivos períodos secos e úmidos. Entretanto, durante o período úmido as afluições à UHE Tucuruí, na Região Norte, são extremamente elevadas, conduzindo à ocorrência de vertimentos turbináveis² e passíveis de serem exportados.

Desta forma, os excedentes energéticos da Região Norte são importantes para a complementação energética da Região Nordeste, apesar dos regimes hidrológicos das Regiões Norte e Nordeste serem coincidentes.

A fim de permitir a otimização integrada entre as Regiões do SIN, no início da década de 80 foram estabelecidas as interligações entre as Regiões Sudeste/Centro-Oeste e Sul e entre as Regiões Norte e Nordeste e, em 1999 foi concluída a interligação entre o Norte e o Sul do País.

Os quatro subsistemas do País possuem as seguintes características:

- *Subsistema Sudeste/Centro-Oeste*: Grande mercado de demanda no País e importador de outras Regiões durante a maior parte do ano. Possui grande capacidade de armazenamento em múltiplos reservatórios.
- *Subsistema Sul*: Sistema hidrotérmico com grande variabilidade de armazenamento. Os sentidos dos intercâmbios com o Subsistema Sudeste/Centro-Oeste são altamente dependentes da sua hidrologia.

² Vertimento Turbinável: Quantidade de água que passa pelos vertedouros, quando o reservatório encontra-se cheio, mesmo com capacidade de geração disponível, porém sem demanda suficiente para absorver essa geração.

- *Subsistema Nordeste*: Importador ou exportador de energia conforme condições hidrológicas na Região. Com a conclusão das expansões da malha de interligação com a Região Sudeste/Centro-Oeste, será um potencial exportador no período de ponta.

- *Subsistema Norte*: Eminente exportador de energia. Fornece energia para o período de ponta por pelo menos nove meses do ano.

O SIN é responsável pelo suprimento de energia a 96,6% do território nacional. Os 3,4% restantes constituem-se de sistemas isolados localizados na Região Norte do país que dispõem de sistemas hidrotérmicos e/ou térmicos locais.

A Figura 2.3 mostra a atual malha de interligações do Sistema Interligado Nacional.

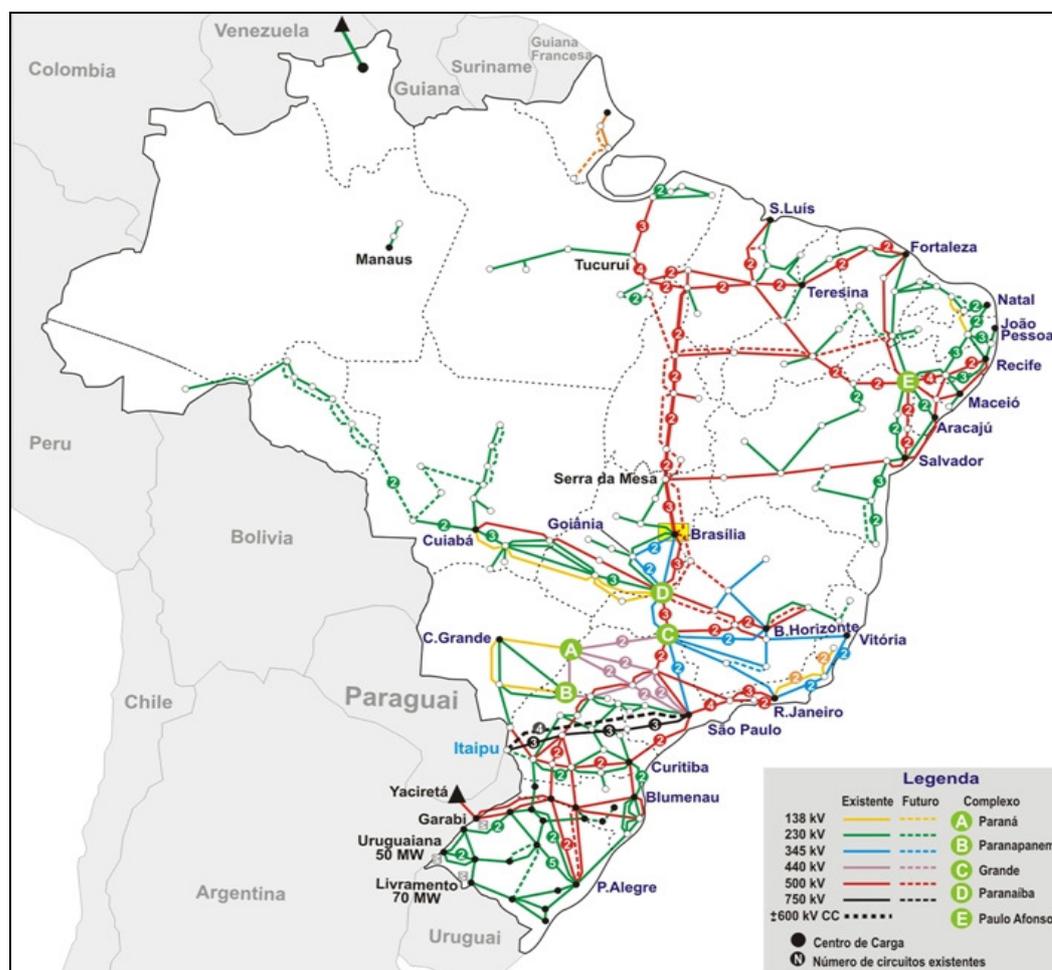


Figura 2.3: Malha de Interligação do SIN
 Fonte: ONS

A Figura 2.4 apresenta as interligações entre os Subsistemas e bacias hidrográficas do SIN. São estas interligações que permitem que a complementariedade hidrológica das Regiões seja explorada através do intercâmbio energético. Elas propiciam a “transposição de bacias”, visto que utilizam o excedente energético de uma bacia em outra.

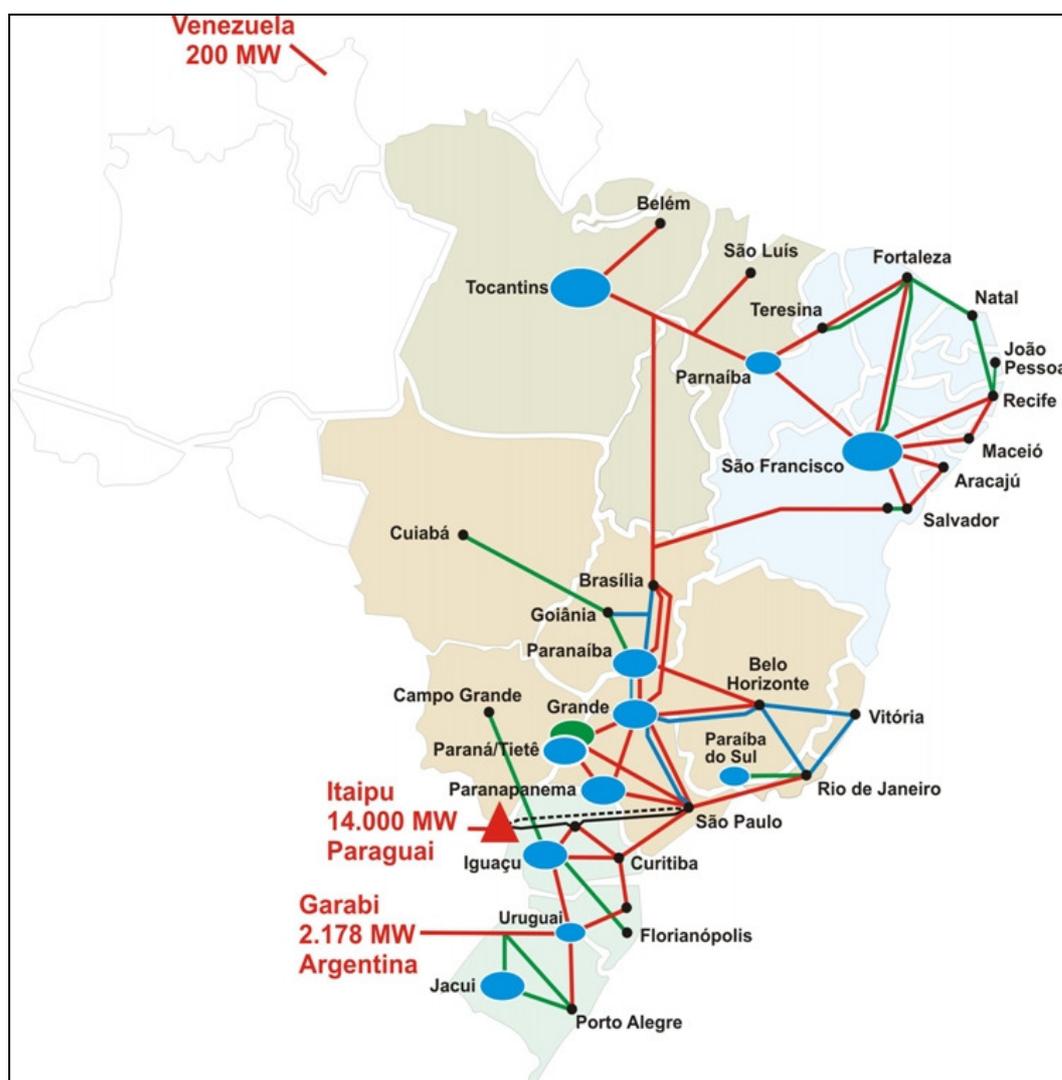


Figura 2.4: Integração das Bacias Hidrográficas
Fonte: ONS



Figura 2.5: Principais Usinas em Operação
Fonte: ONS

A Figura 2.5 apresenta uma visão das usinas com capacidade instalada superior ou igual a 30MW, que são aquelas despachadas de forma centralizada pelo ONS.

Atualmente a capacidade de armazenamento do SIN é de 272.556 MWmês, distribuídos pelas Regiões, conforme mostrado na Figura 2.6. Observa-se a predominância do

subsistema Sudeste/Centro-Oeste, com cerca de 69,7% do armazenamento total, bem como, em destaque, o quadrilátero dos principais reservatórios de regularização da Região Sudeste/Centro-Oeste, localizados nos estados de Minas Gerais e Goiás.

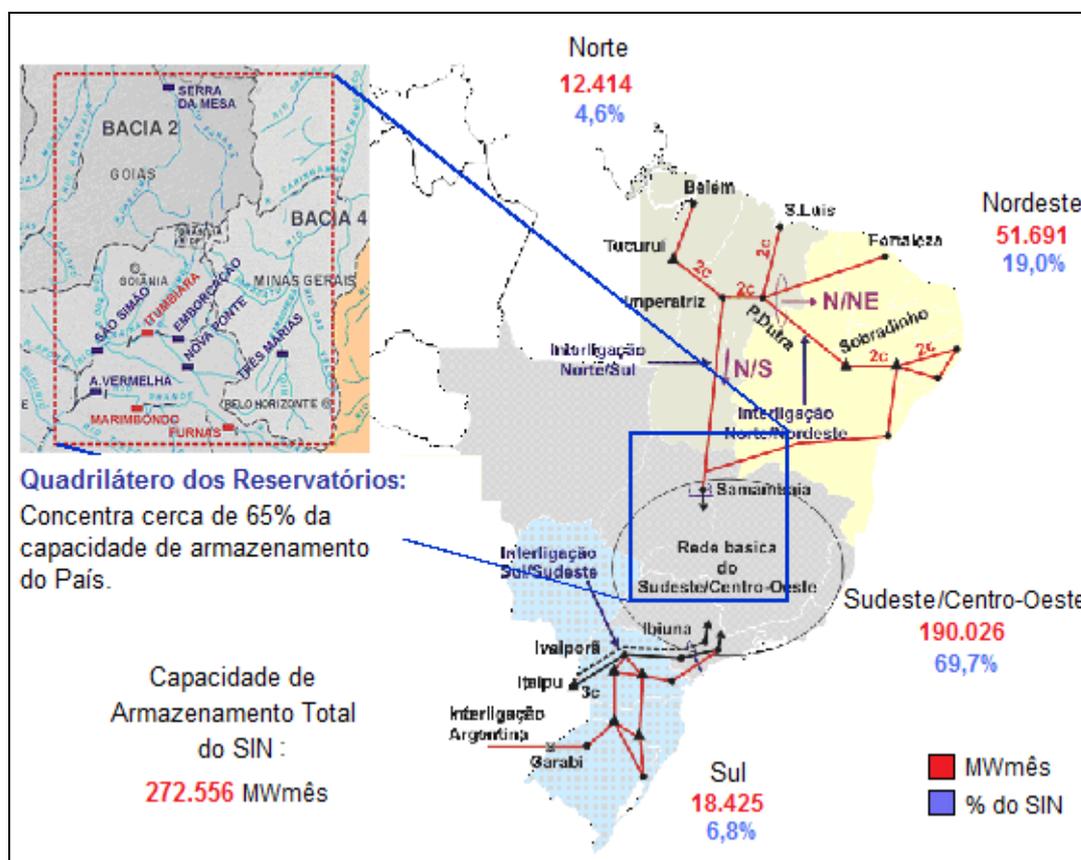


Figura 2.6: Capacidade de Armazenamento
Fonte: ONS

2.3

OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Desde meados da década de 70, o sistema eletroenergético brasileiro é operado de forma coordenada, visando obter ganhos sinérgicos, minimizando os custos globais de produção de energia elétrica.

A operação de um sistema predominantemente hidroelétrico, com regularização plurianual, deve ser integrada, pois quando uma usina com reservatório regulariza uma bacia,

os benefícios são incorporados não só à própria bacia, mas também a todas as usinas que estão na bacia, buscando-se a operação ótima do sistema.

De um modo geral a otimização energética pode ser definida como o resultado do conjunto de ações que visam ao atendimento da carga do SIN ao menor custo, ou seja, evitando vertimentos nos reservatórios das usinas, minimizando a utilização de geração térmica e equalizando, na medida do possível, os custos marginais de operação entre as regiões interligadas. Esta otimização sinaliza a necessidade da utilização de geração térmica em complementação à geração hidroelétrica e da transferência de energia entre regiões ou bacias, bem como indica a adequada produção de energia por bacia, considerando as restrições operativas associadas a cada aproveitamento, de caráter ambiental e de uso múltiplo da água.

O despacho de geração térmica para complementar os recursos energéticos das usinas hidroelétricas é efetuado sempre que o Valor da Água for superior ao custo de operação variável das usinas térmicas. Outra situação em que as usinas térmicas também podem ser despachadas é para atender a requisitos elétricos do SIN; nesta situação, o despacho de geração térmica é efetuado analisando o aumento de confiabilidade proporcionado pelo despacho de geração, e não através da comparação do custo de geração térmica com o Valor da Água.

A transferência de energia entre regiões se dá ordinariamente quando da ocorrência de vertimentos turbináveis em uma região ou existindo desequilíbrio significativo entre as condições de armazenamento e/ou as energias naturais afluentes nessas regiões, conforme pode ser visto na Figura 2.7. Desse modo, é possível minimizar vertimentos, reduzir a utilização de geração térmica, reduzir riscos de racionamento e aumentar os estoques de energia armazenada do SIN, conferindo ao sistema de transmissão o papel de verdadeira usina virtual ou realizador de transposições de bacias.

Observando-se a Figura 2.7, para a situação I percebe-se que devido à inexistência de interligações entre os Subsistemas A e B é impossível transmitir o excedente energético do subsistema A (que está tendo vertimento turbinável já que existe excedente de água, porém não há mercado para consumir esta energia) para atender ao mercado do Subsistema B. Porém, ao adicionar-se uma interligação entre os Subsistemas A e B (situação II) torna-se possível transmitir o excedente energético de A para atender o mercado em B.

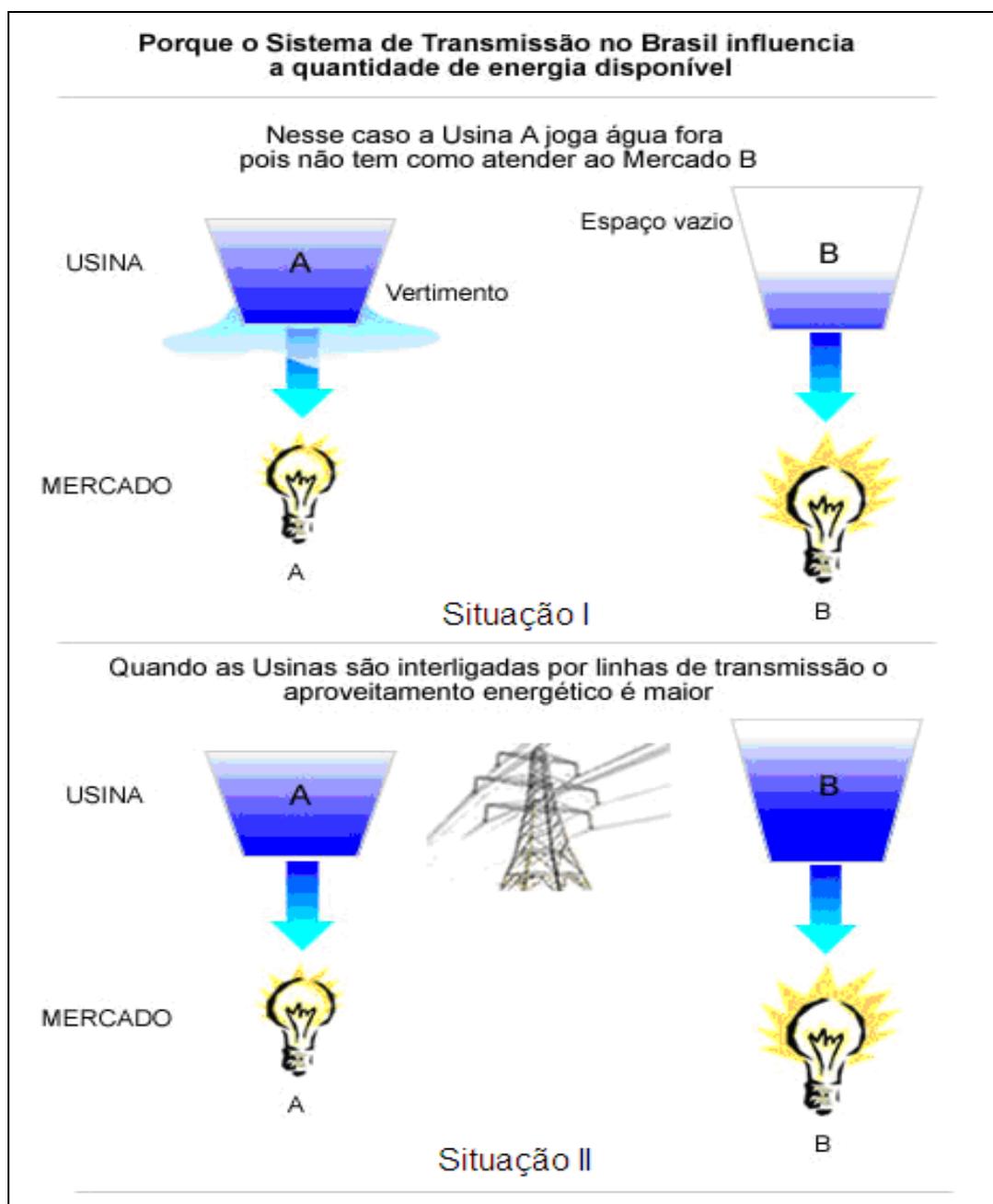


Figura 2.7: Importância das Interligações de Bacias.

A otimização energética do SIN também indica o montante de participação de cada bacia hidrográfica (usinas e reservatórios) no atendimento à carga e é obtida através de cálculos realizados por modelos computacionais, cuja função objetivo consiste em garantir o

atendimento do mercado consumidor de energia elétrica minimizando o custo total de operação, garantindo assim a modicidade tarifária ao consumidor final.

Essa otimização energética leva em consideração o conjunto de restrições operativas associadas a cada bacia, relativas aos condicionantes ambientais e ao uso múltiplo de suas águas e, em especial, aquelas associadas às condições de confiabilidade e segurança operacional do Sistema Interligado.

Face às características singulares do SIN, quais sejam: predominância hidroelétrica, aproveitamentos em cascata com grandes reservatórios de regularização e múltiplos proprietários, diferentes bacias hidrográficas com diversidades hidrológicas, rede de transmissão extensa e geração térmica complementar, os procedimentos necessários para a otimização de seus recursos energéticos apresentam um elevado grau de complexidade, com reflexo direto no processo de planejamento e programação da operação do Sistema.

Estas características demandam a operação centralizada do Sistema Interligado Nacional que é embasada na interdependência operativa entre as usinas, na interconexão dos sistemas elétricos, na integração dos recursos de geração e transmissão e no atendimento ao mercado.

Em resumo, a natureza do Sistema Interligado Nacional faz com que exista um acoplamento espacial e temporal das decisões tomadas na sua operação eletroenergética. O uso, no presente, mais ou menos intensivo dos estoques de água nos diversos reservatórios, frente às incertezas das condições hidrometeorológicas e do consumo, irá afetar a operação futura do Sistema, em termos de garantia de atendimento e de custos ao consumidor final.

Por outro lado, as decisões operativas no presente dependem de como se imagina a configuração futura do Sistema – quantas usinas, quantas linhas de transmissão, qual o mercado a ser atendido, enfim, pode-se usar mais ou menos a “poupança energética dos reservatórios” no presente dependendo da expansão prevista da rede de transmissão e da oferta de energia elétrica.

Essas características, aliadas ao fato de que a expansão da geração e da transmissão demanda longos tempos de maturação, devido à necessidade de vários estudos prévios e exigências ambientais cada vez maiores antes da operação, fazem com que a operação em tempo real do SIN seja precedida de estudos de Planejamento e Programação, de forma a garantir, ao menor custo, a confiabilidade do sistema, a qualidade e a quantidade de energia requerida pelo mercado consumidor.