



UMA REVISÃO SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA BRASILEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Sergio Augusto **Rodrigues**¹, Gislaine Cristina **Batistela**¹

(1 - Faculdade de Tecnologia de Botucatu. sergio@fatecbt.edu.br, gbatistela@fatecbt.edu.br)

Resumo

Atualmente a matriz energética brasileira é considerada limpa, quando comparada às matrizes de outros países. Nos últimos anos houve uma diversificação nas fontes primárias, reduzindo a dependência do petróleo, utilizando-se da hidroeletricidade e, mais recentemente, da biomassa para gerar energia elétrica. Por meio do levantamento de dados secundários, este trabalho apresenta uma reflexão a respeito da disponibilidade hídrica brasileira para geração de energia elétrica. Verifica-se que, apesar da ideia de abundância, sua distribuição não é homogênea e a real necessidade de expansão da geração de energia elétrica apresenta-se com custos cada vez mais crescentes.

Palavras chaves: Recursos hídricos, água, hidroeletricidade.

Abstract

REVIEW THE BRAZILIAN WATER AVAILABLE FOR ELECTRICITY GENERATION

Currently the Brazilian energy matrix is considered clean when compared the matrix of other countries. In recent years there has been a diversification in primary sources, reducing dependence on oil, using hydroelectricity and, more recently, biomass to generate electricity. Through the survey of secondary data, this paper presents a reflection on the water availability for electricity generation. It appears that, although the idea of abundance, their distribution is not homogeneous and the real need for expansion of power generation presents itself with ever-increasing costs.

Key Words: Water resources, water, hydroelectricity

Resumen

Artigo recebido para publicação em 28 de Janeiro de 2013
Artigo aprovado para publicação em 22 de Dezembro de 2013



REVISIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DE BRASIL PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Atualmente la matriz energética brasileña se considera limpio cuando se compara con las matrices de otros países. En los últimos años se ha producido una diversificación de las fuentes primarias, reducir la dependencia del petróleo, utilizando energía hidroeléctrica y, más recientemente, de la biomasa para generar electricidad. A través del estudio de los datos secundarios, se presenta una reflexión sobre la disponibilidad de agua para la generación de energía eléctrica de Brasil. Parece que, a pesar de que la idea de la abundancia, su distribución no es homogénea y la necesidad real de expansión de la generación de energía se presenta con cada vez mayores costos.

Resumen: Recursos hídricos, água, hidroeletricidad

1 Introdução

Dentre os elementos climáticos que mais interferem na vida humana, a precipitação é uma das que tem causado maior preocupação, tanto pela sua falta como pelo excesso. O conhecimento das características climáticas, tais como a intensidade e volume precipitado, sua duração e distribuição temporal e espacial, favorece o planejamento e a gestão dos recursos hídricos a fim de otimizar atividades como a irrigação, geração de energia, abastecimento doméstico e industrial, além de possibilitar a prevenção e o controle de inundações e do processo erosivo do solo (TUCCI, 1997 apud OLIVEIRA, 2003, p.12).

De acordo com Oliveira (2003), a crescente preocupação com a degradação ambiental, tais como desmatamento, ocupação desordenada dos leitos de rios e morros, uso inadequado do solo na agricultura e a má utilização da água potável, tem aumentado o interesse por estimativas mais adequadas das características climáticas. Neste contexto, destaca-se o uso inadequado da água, apresentando-se como um recurso natural em quantidade e qualidade reduzido à disposição para consumo humano.

Em relação à utilização dos recursos hídricos para geração de energia elétrica, o Brasil se destaca como um país com grande potencial hidrelétrico, diferente de outros países, os quais utilizam basicamente combustíveis fósseis ou nucleares em sua matriz elétrica. Destaca-se também a importância da hidroeletricidade por ser uma fonte abundante, limpa e renovável, apesar das previsões de aumento nos custos de sua geração.



Sabendo que a demanda por energia elétrica está fortemente associada com o crescimento econômico, há necessidade de expansão de sua geração devido à expectativa de crescimento da economia brasileira. Neste cenário, os recursos hídricos serão fundamentais, tanto em relação à construção de novas usinas hidrelétricas como na perspectiva de aumento da capacidade de geração elétrica das usinas atuais.

No entanto, os impactos para construção de novas usinas hidrelétricas, em especial, os impactos ambientais e sociais gerados pelas áreas inundadas dos reservatórios e sobre as populações atingidas são preocupações extremamente relevantes, considerando que a maior parte do potencial hidrelétrico brasileiro está localizada em regiões fortemente ligadas a questões ambientais e populações ribeirinhas, especialmente populações indígenas das florestas da região Amazônica, segundo relatório da Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2005).

Outra questão relevante é apresentada na Lei de Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n. 9433/97), dispondo em seus fundamentos que “a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”, e em situações de escassez, esta Lei dispõe que “o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”. No inciso IV, observa-se que, quando não há escassez deste recurso, “a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas” (BRASIL, 1997).

Portanto, para o gerenciamento da utilização dos recursos hídricos brasileiro, é necessário um equilíbrio entre os setores usuários da água, evitando conflitos entre sua utilização para a agricultura irrigada, geração de energia elétrica, navegação, abastecimento urbano, uso industrial, saneamento básico, pesca e lazer.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma reflexão a respeito da disponibilidade hídrica brasileira no contexto da geração de energia elétrica, traçando um panorama atual e perspectivas de crescimento futuro.

Resultado de um levantamento bibliográfico e de dados secundários, o trabalho foi organizado em duas partes. Na primeira parte é apresentada uma revisão e traçado um panorama atual a respeito dos recursos hídricos disponíveis no Brasil e no mundo, destacando a disponibilidade hídrica de cada região hidrográfica brasileira. Na segunda parte é apresentado um panorama nacional e internacional da geração de energia elétrica, destacando o potencial hidrelétrico brasileiro.

2 Recursos hídricos

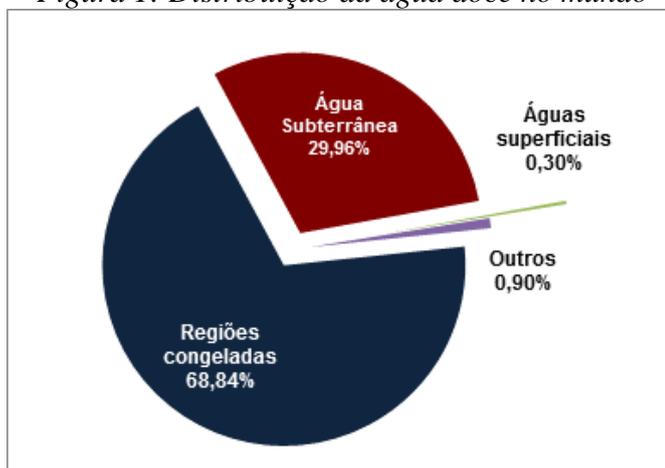
De acordo com Conego (1993) a água é uma fonte natural classificada como renovável, finita e aleatória, sendo essencial para vida humana. Por sua capacidade de se recompor rapidamente, em quantidade, principalmente pelas chuvas, ela é renovável, mas é considerada um recurso finito, pois pode ser comprometida facilmente pela poluição, tornando-se inadequada para o uso humano. É de ocorrência aleatória, pois sua distribuição é irregular no tempo e por região, sendo influenciada pelas condições climáticas e meteorológicas.

Sabendo que a água é um recurso essencial para a vida humana e com a possibilidade de escassez, a Lei de Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n. 9433/97) considera a água um bem econômico que abrange diferentes fontes para sua utilização. Essas fontes, denominadas de Recursos Hídricos, são compostas por águas superficiais (rios, lagos, lagoas e bacias e mar territorial) e subterrâneas (BARROS; BARROS, 2009).

2.1 Disponibilidade Hídrica

Do total de água existente no planeta, 97,5% representa água salgada e apenas 2,5% doce. Da água doce disponível, 68,7% encontra-se em áreas congeladas e regiões polares, 29,9% em reservatórios subterrâneos e 0,9% estão presentes na umidade do solo, na biomassa e no vapor da atmosfera. Apenas 0,3% aproximadamente do volume total de água doce da terra são de águas superficiais, presentes em rios e lagos, mais acessíveis ao uso humano (SETTI et al, 2001). A Figura 1 mostra a distribuição de água no mundo.

Figura 1: Distribuição da água doce no mundo



Fonte: Setti et al (2001)



De acordo com Brasil (2006a), a vazão média anual dos rios brasileiros é de 179.000 m³/s, o que corresponde a 5.660 km³/ano. Considerando que a disponibilidade mundial de recursos hídricos de água doce superficial é de 1,5 milhão de m³/s (44.000 km³/ano), verifica-se que o Brasil possui, aproximadamente, 13% da disponibilidade mundial.

Se for considerada as vazões de território estrangeiro que entram no país (Amazônica – 86.321m³/s, Uruguai – 878m³/s e Paraguai – 595m³/s), essa disponibilidade hídrica chega a 267 mil m³/s (8.427 km³/ano), representando por volta de 18% da disponibilidade mundial.

A Tabela 1 mostra a distribuição dos recursos hídricos no Brasil em relação ao mundo.

Tabela 1: Recursos hídricos do Brasil

Região	Vazão média anual (m³/s)	Produção Hídrica (km³/ano)	% em relação ao mundo
Brasil	179.000	5.660	13%
Mundo	1.500.000	44.000	100%

Fonte: Brasil (2006a)

A ideia de abundância de recursos hídricos (água doce superficial) acabou gerando nos brasileiros uma cultura de uso abusivo e conseqüentemente desperdício deste recurso tão importante para a vida humana (BARROS; BARROS, 2009).

Para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos o território brasileiro é dividido em 12 Regiões hidrográficas, as quais serão descritas a seguir.

2.2 Bacias e Regiões hidrográficas brasileiras

Até 2003, o território brasileiro era dividido em sete regiões hidrográficas, mas com a Resolução nº 32, de 15 de outubro (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2012), o Brasil passou a ser dividido em doze regiões hidrográficas.

As regiões hidrográficas são divisões hidrográficas do país, enquanto que as bacias hidrográficas podem ultrapassar as fronteiras nacionais. Na Figura 2 é possível visualizar as doze regiões hidrográficas brasileiras, sendo elas: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraná, Paraguai e Uruguai.

A Bacia hidrográfica Amazônica envolve, além do Brasil, os seguintes países: Guianas, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia. Já a Bacia hidrográfica Paraguai, envolve os estados brasileiros Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além dos seguintes países: Bolívia, Argentina e Paraguai. A Bacia do rio Paraná, que no Brasil envolve os estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, se estende também para parte do Paraguai e Argentina e a Bacia do Uruguai envolve os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, além do Uruguai e parte da Argentina.

Figura 2: Regiões hidrográficas do Brasil definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)



Fonte: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2012)

A maioria dos rios brasileiros é de planalto, apresentando quedas de águas permitindo um bom aproveitamento para geração de energia hidrelétrica. As regiões hidrográficas da Amazônia e do rio Paraguai estão predominantemente em planícies e as regiões hidrográficas do Paraná e do São Francisco são tipicamente de planalto.

Os rios brasileiros são predominantemente alimentados pelas águas das chuvas. Devido ao clima tropical predominante na maior parte do território brasileiro, as cheias ocorrem durante o verão, exceto alguns rios do Nordeste, onde as cheias ocorrem entre o outono e o inverno. Os rios do sul não tem uma vazão acentuada, mas com boa distribuição

das chuvas, como os rios da bacia Amazônica, também são favorecidos pela uniformidade pluviométrica.

Em sua maior parte, os rios brasileiros nunca secam (são perenes), mas na região semiárida do Nordeste há rios que podem desaparecer durante uma parte do ano, ou melhor, na estação seca: são os chamados rios temporários ou intermitentes.

2.3 Recursos hídricos das regiões hidrográficas brasileiras

A Tabela 2 mostra que as regiões hidrográficas do Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sul e Paraná são as regiões com maiores densidades populacionais, com aproximadamente 117, 73, 64 e 63 habitantes por km² respectivamente. Já as regiões Amazônica, Paraguai e Tocantins Araguaia são as regiões com as menores densidades populacionais, chegando a 2,1 habitantes por km² na região Amazônica.

Tabela 2: Informações básicas sobre as bacias hidrográficas

Região Hidrográfica	Área			População (2005)			Recursos hídricos			
	10 ³	Km ²	%	10 ⁶ hab.	%	Densidade (hab/km ²)	Vazão média (m ³ /s)	Produção (km ³ /ano)	%	m ³ /hab./ano
Amazônica	3.869,9		45	8	5	2,1	131.947	4.156	74	519.541
Tocantins-Araguaia	921,9		11	7	4	7,6	13.624	429	8	61.308
Atlântico NE Ocidental	274,3		3	5	3	18,2	2.683	85	1	16.903
Parnaíba	333,1		4	4	2	12,0	763	24	0,4	6.009
Atlântico NE Oriental	286,8		3	21	12	73,2	779	25	0,4	1.169
São Francisco	638,6		7	13	8	20,4	2.850	90	2	6.906
Atlântico Leste	388,2		5	14	8	36,1	1.492	47	0,8	3.357
Atlântico Sudeste	214,6		3	25	15	116,5	3.179	100	2	4.006
Atlântico Sul	187,5		2	12	7	64,0	4.174	131	2	10.957
Uruguai	174,5		2	4	2	22,9	4.121	130	2	32.453
Paraná	879,9		10	55	32	62,5	11.453	361	6	6.559
Paraguai	363,4		4	2	1	5,5	2.368	75	1,3	37.296
Total Brasil	8.532,8		100	170	100	19,9	179.433	5.652	100	33.248

Fonte: Brasil (2006b)



Observa-se também que a região hidrográfica Amazônica detém 74% dos recursos hídricos superficiais, ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. A segunda maior região em termos de disponibilidade hídrica é a do Tocantins–Araguaia, com 8%, seguida da região do Paraná, com 6%. As regiões com menor disponibilidade hídrica são: Parnaíba, com 0,4%, Atlântico Nordeste Oriental, com 0,4% e Atlântico Leste, com 0,8%.

Já as menores disponibilidades hídricas por habitante/ano encontram-se nas regiões hidrográficas localizadas no Nordeste brasileiro (Atlântico Nordeste Oriental com 1.169 m³ por habitante/ano, Atlântico Leste com 3.357 m³ por habitante/ano e Parnaíba com 6.009 m³ por habitante/ano), onde a produção hídrica é menor. Na região hidrográfica do Paraná, onde se encontra o maior percentual da população brasileira, a disponibilidade de água por habitante também é baixa, ficando na quinta colocação com menor disponibilidade hídrica em relação às demais regiões hidrográficas brasileiras.

Percebe-se também na Tabela 2 que, apesar de o país ter disponibilidade hídrica privilegiada, esta disponibilidade não está distribuída de forma uniforme, ou seja, enquanto a Região Amazônica concentra 74% da água doce do país, é habitada por 5% da população brasileira. E na região do rio Paraná, com 32% da população brasileira, observa-se apenas 6% da água doce superficial disponível. Portanto, apenas 26% dos recursos hídricos do Brasil estão disponíveis com maior facilidade de acesso para 95% da população.

3 Energia Hidrelétrica

3.1 Panorama Internacional na geração de energia hidrelétrica

De acordo com o Anuário estatístico de energia elétrica do Ministério de Minas e Energia, a energia hidrelétrica é responsável por 17% da energia elétrica gerada no mundo, sendo que no Brasil, sua participação na matriz energética chega a 83,9%, quando se considera a energia gerada (BRASIL, 2011).

Em termos de geração de energia, o Brasil, com 391 TWh, fica atrás apenas da China, com 619 TWh, conforme se verifica na Tabela 4.

Esta situação se modifica pouco ao analisar a potência instalada de geração de energia hidrelétrica (LIMA, 2012). Observa-se na Figura 4 que a China lidera com 168 GW de

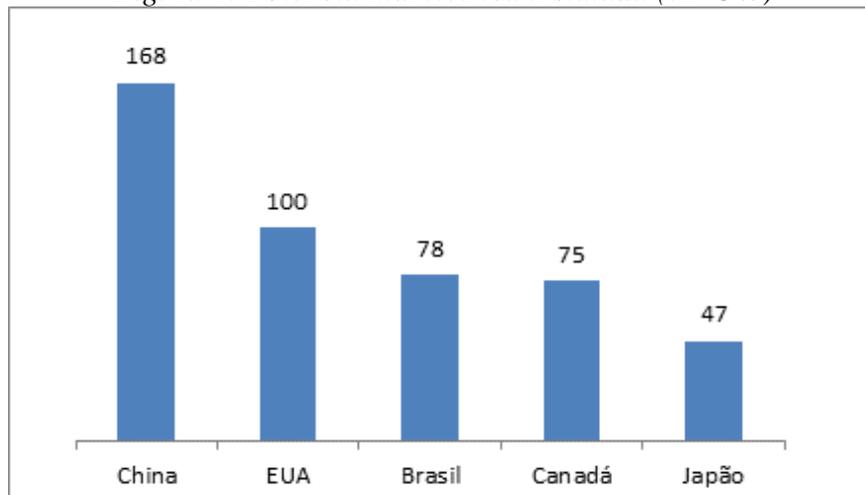
potência instalada, seguida dos EUA, com 100 GW e Brasil, com 78GW. Os EUA ficam na frente do Brasil e Canadá em relação à potência instalada, apesar de sua geração ser menor.

Tabela 4: Geração hidrelétrica por país em 2011

Países	Energia Gerada (TWh)	% das hidrelétricas na geração de energia
China	619	16,7
Brasil	391	83,9
Canadá	364	60,3
EUA	298	7,1
Rússia	176	17,3

Fonte: Brasil (2011)

Figura 4: Potência hidrelétrica instalada (em GW)



Fonte: Brasil (2011)

3.2 Panorama brasileiro na geração de energia elétrica

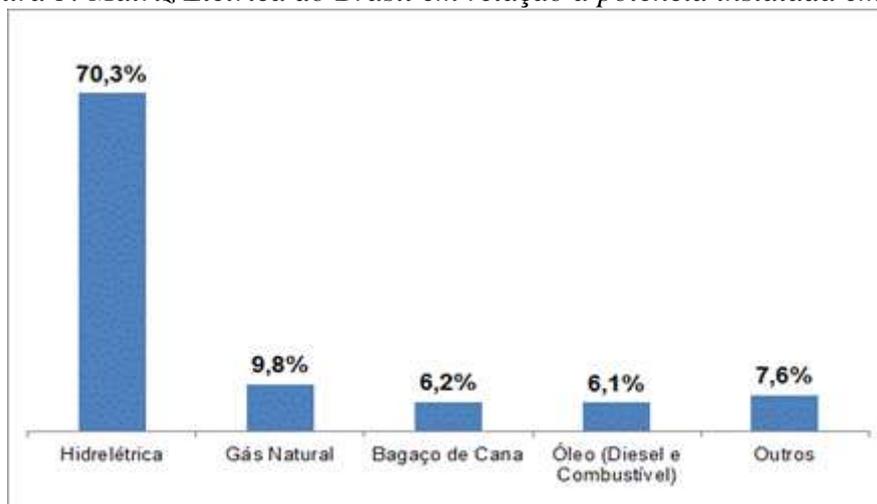
A matriz elétrica brasileira do potencial instalado em 2012 é observada na Figura 5.

Verifica-se que a matriz elétrica brasileira é 70,3% oriunda de hidrelétricas, seguido pelo gás natural, quando o critério é potencial ou capacidade de geração em GW. Observa-se que o bagaço de cana (Biomassa) aparece em terceiro lugar, apesar, da geração de energia não ser o foco deste setor.

Quando se observa o número de unidades geradoras de energia elétrica (Tabela 5), as hidrelétricas continuam dominando (com 38% das unidades geradoras), seguida pela geração térmica a óleo diesel ou combustível (com 36,3%) e Bagaço de cana (13,4%). Portanto, o sistema elétrico brasileiro é predominantemente hidrelétrico (991 unidades), com potência

instalada de aproximadamente 82,370 GW, representando 70,3% da potencial total de geração elétrica, que é de aproximadamente 117 GW.

Figura 5: Matriz Elétrica do Brasil em relação à potência instalada em GW



Fonte: Brasil (2012) e Lima (2012)

Tabela 5: Número de unidades instaladas geradores de energia elétrica e Potencial

Fonte	Nº de unidades	%	Potência (GW)	%
Hidrelétrica	991	38	82,37	70,3
Gás Natural	105	4	11,43	9,8
Bagaço de Cana	349	13,4	7,27	6,2
Óleo (Diesel e Combustível)	948	36,3	7,1	6,1
Outros	215	8,2	9,0	7,6
Total	2608	100,0%	117,13	100%

Fonte: Brasil (2012) e Lima (2012)

As 991 unidades geradoras de energia hidrelétrica são classificadas de acordo com seu potencial de geração em:

- Central geradora hidrelétrica (CGH): com capacidade inferior a 1 MW (337 unidades);
- Pequena Central hidrelétrica (PCH): com capacidade entre 1 MW a 30 MW (433 unidades);
- Usinas hidrelétricas (UHE): com capacidade superior a 30 MW (181 unidades).

A Tabela 8 apresenta a evolução do potencial instalado de energia hidrelétrica de 2006 a 2011 segundo o tipo de unidade. Observa-se que em 2011 houve um aumento de 2% no potencial das UHE em relação a 2010 e de 13% e 14% respectivamente nas PCH e CGH.

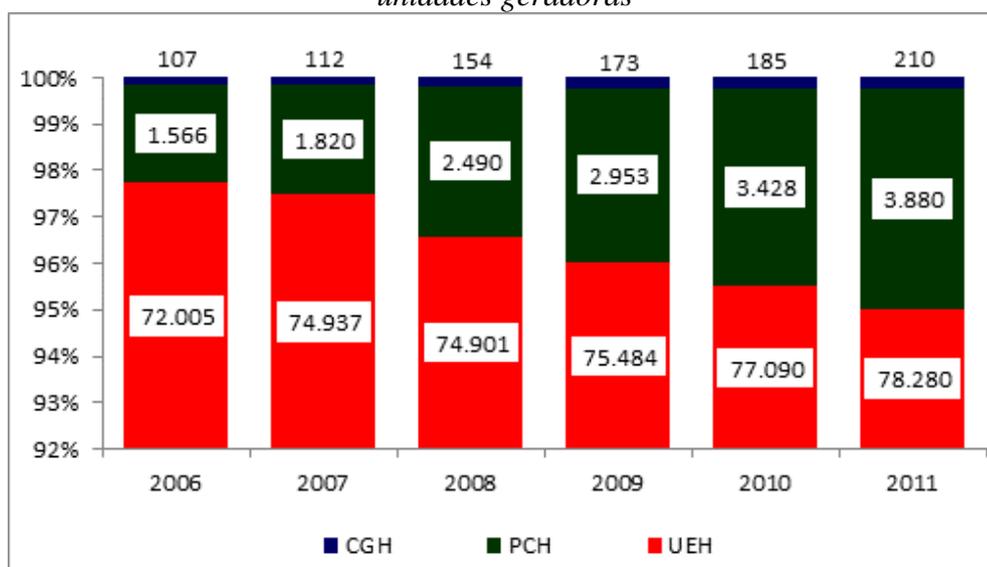
Tabela 8: Evolução anual do Potencial (MW) de geração de energia hidrelétrica segundo unidades geradoras

Unidade	Anos						Var % (2011/10)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
UHE	72.005	74.937	74.901	75.484	77.090	78.280	2%
PCH	1.566	1.820	2.490	2.953	3.428	3.880	13%
CGH	107	112	154	173	185	210	14%
Total	73.628	76.869	77.545	78.610	80.703	82.370	2%

Fonte: Brasil (2012)

Na Figura 6 observa-se uma queda da participação da UHE no potencial de energia elétrico brasileiro, ou seja, em 2006 o potencial das UHE representava aproximadamente 98% do potencial total de geração (72.005 MW) enquanto que em 2011 esta participação cai para 95% (78.280 MW). Por outro lado, há um aumento da participação das PCH's no potencial de energia hidrelétrica brasileiro.

Figura 6: Evolução anual do Potencial (MW) de geração de energia hidrelétrica segundo unidades geradoras



Apesar do aumento da participação das PCH tanto em número de unidades quanto em potencial de geração, conforme se observa na Tabela 7, as usinas hidrelétricas (UHE) ainda representam 94% (101.939 MW), considerando o total de unidades, ou seja, somando as unidades em operação, em construção e outorgadas.

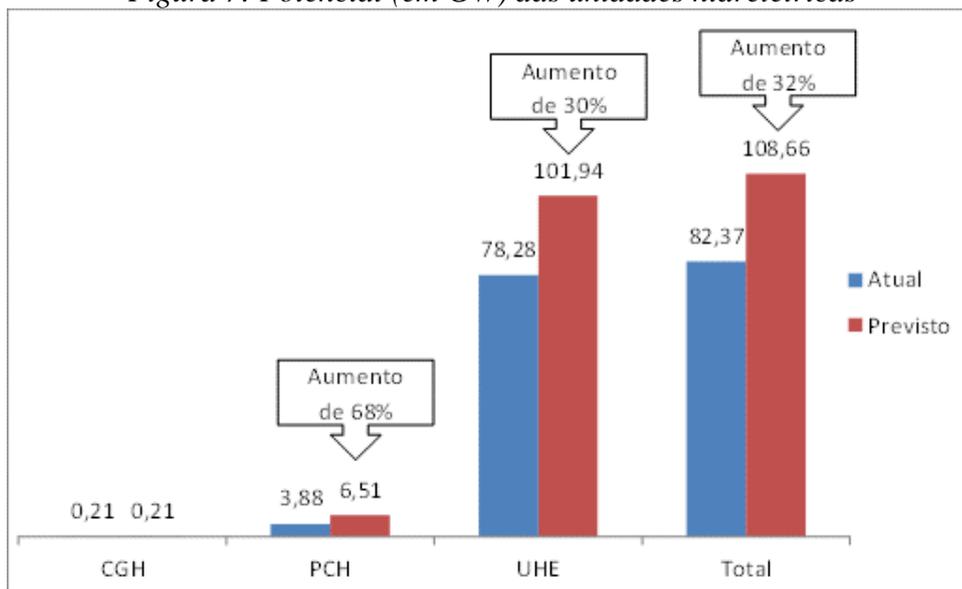
Tabela 7: Potencial (MW) de geração de energia hidrelétrica segundo unidades geradoras

Unidades hidrelétricas	Em operação		Em construção		Outorgadas, mas paradas.		Total	
		%		%		%		%
CGH	210	0,3	0,848	0,0	0,045	0,0	210,89	0
PCH	3.880	4,7	710	3,2	1.919	46,8	6.509	6
UHE	78.280	95,0	21.480	96,8	2.179	53,2	101.939	94
Total	82.370	100%	22.190,8	100%	4.098,1	100%	108.658,9	100%

Fonte: Brasil (2012)

Na Figura 7 é possível visualizar um aumento de 68% no potencial de geração de energia hidrelétrica das PCH's e de 30% das UHE e, quando as unidades em construção e outorgadas estiverem em operação (previsto), ocorrerá um aumento de 32% no potencial hidrelétrico brasileiro em relação às unidades atualmente em operação (Brasil, 2012).

Figura 7: Potencial (em GW) das unidades hidrelétricas



3.3 Níveis dos reservatórios



A quantidade de água armazenada em rios e nos reservatórios das usinas hidrelétricas representa o estoque de energia disponível e, desta forma, o nível médio dos reservatórios passa ser um item muito importante para a matriz energética do Brasil, sendo essencial seu monitoramento (LIMA, 2012).

A medição dos níveis dos reservatórios de água no Brasil é realizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), pessoa jurídica de direito privado responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O SIN é um sistema de coordenação e controle composto pelas empresas de energia hidrelétricas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte, formando um sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil. Esse sistema envolve 96,4% da capacidade de produção de eletricidade do país e apenas 3,4% encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas localizados principalmente na região amazônica (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2012).

O sistema de produção e transmissão é dividido em quatro grandes subsistemas, mais os sistemas isolados:

- Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO) – envolvendo as regiões Sudeste e Centro-Oeste, exceto o estado do Mato Grosso do Sul;
- Subsistema Sul (S) - região Sul do país, mais o estado do MS;
- Subsistema Nordeste (NE) - região Nordeste do país, exceto Maranhão;
- Subsistema Norte (N) - envolve parte dos estados do Pará, Tocantins, Maranhão, Rondônia e Acre;
- Sistemas isolados da Amazônia.

Os subsistemas são todos interligados para o melhor aproveitamento da sazonalidade dos rios, a fim de trocar a energia elétrica produzida a mais durante os períodos de cheias de algumas regiões (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2012).

De acordo com a ONS a capacidade dos reservatórios é classificada, em uma escala percentual onde o 0% representa vazio e 100% reservatório cheio, da seguinte forma:

- 0 a 25%: Situação de risco para oferta de energia.
- 25 a 75%: Situação Normal.
- Acima de 75%: Situação Boa.

Na Tabela 9, é possível observar o nível dos reservatórios dos subsistemas em relação à capacidade armazenada em TWh (Terawatt hora, equivalente a $3,6 \times 10^{15}$ joules) e em % da capacidade total dos reservatórios.

Verifica-se que em abril de 2012 a situação dos reservatórios estava boa ou Normal em todos os subsistemas, com destaque para o subsistema Norte, com quase 100% de sua capacidade.

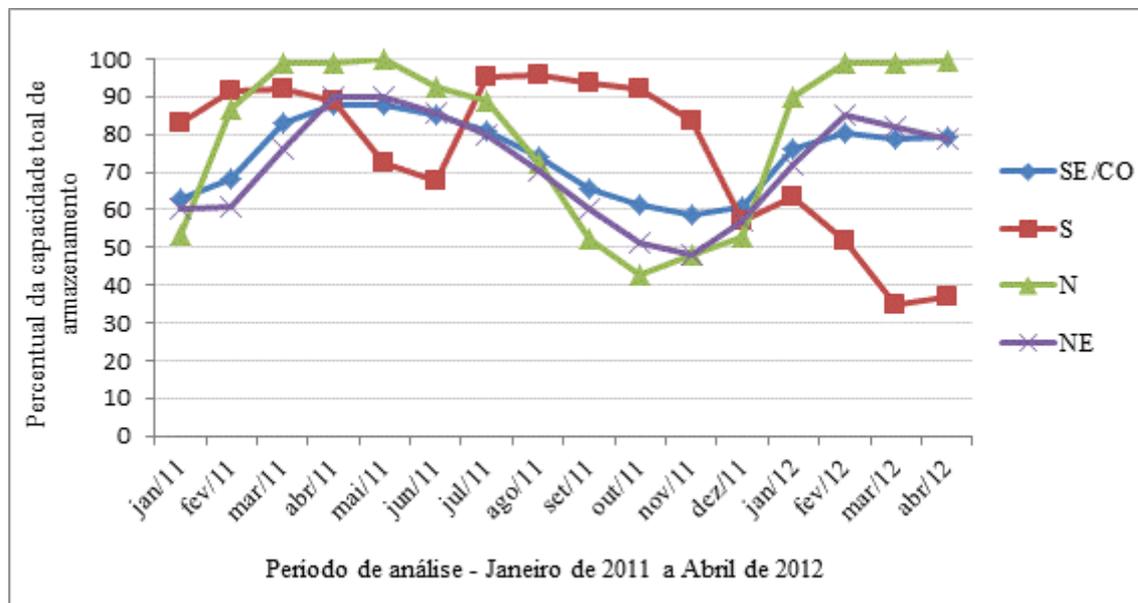
Tabela 9: Capacidade de geração de energia armazenada (TWh) para cada Subsistema em Abril de 2012

Subsistema/ Reservatórios	Capacidade Armazenada (TWh)	% da capacidade máxima	Situação
SE/CO	113,938	76,09	Boa
S	5,400	37,00	Normal
N	9,185	99,44	Boa
NE	30,624	78,49	Boa
Total	159,147		

Fonte: Operador nacional do sistema elétrico (2012)

Pela Figura 8, observa-se que os níveis dos reservatórios dos subsistemas SE/CO, NE e N variam praticamente na mesma época do ano, e que os reservatórios do subsistema S tem um comportamento inverso. Isto indica que somente o subsistema S pode completar a defasagem de geração de energia dos outros subsistemas, mas com sua capacidade de armazenamento é inferior à capacidade dos demais. Outras fontes de energia ou melhor aproveitamento dos recursos hídricos de outras regiões são necessárias para garantir a segurança de todo sistema (LIMA, 2012).

Figura 8: Percentual da capacidade total armazenada nos subsistemas, Jan/11 a Abr/12



Verifica-se também, que o subsistema SE/CO, localizado na região de maior demanda, não ultrapassou 90% de sua capacidade máxima de armazenagem, desde janeiro de 2011 até abril de 2012.

3.4 Localização das unidades geradoras de hidroeletricidade

Como mostra a Figura 9, existe certa concentração de unidades nas regiões mais industrializadas e que demandam mais quantidade de energia, ou seja, nas regiões Sul e Sudeste.

Em relação às UHE, o subsistema SE/CO e S possui a usina de Itaipu como principal fonte de geração de energia, enquanto que o subsistema N, principalmente os estados do Pará, Tocantins e Maranhão possuem a usina de Tucuruí como principal fonte. O subsistema Nordeste é atendido principalmente pelas usinas do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso, e as usinas de Xingó, Luiz Gonzaga e Sobradinho.

Observa-se uma concentração atual das unidades geradoras de hidroeletricidade, sendo que a construção de novas unidades geradoras deverá ocorrer em locais mais distantes dos principais centros industriais e consumidores.

Figura 9: Localização da UHE, PCH e CGH



*Legenda: UHE: triangulo vermelho, PCH: azul e CGH: verde
 Fonte: Brasil (2012)*

Além disso, os movimentos sociais e ambientais observados nas construções de novas usinas acabam exigindo investimentos cada vez mais elevados. Os combustíveis fósseis, baseados no petróleo, fonte de geração de energia pelas termelétricas estão cada vez mais caros e as fontes alternativas ainda não são economicamente viáveis em grande escala. Estes fatores indicam, para um futuro próximo, aumento nos custos de geração e transmissão de energia, apensar da abundância dos recursos hídricos brasileiros para geração de energia.

3.5 Previsão de expansão na geração de energia elétrica

Os parâmetros básicos para analisar e estimar o potencial hidrelétrico são, de uma forma geral, resumidos em: altura e variação da queda de água, vazão do rio, área do reservatório, número e potência das máquinas geradoras.

O Brasil possui, segundo Lanna (2008) um grande potencial para geração de energia hidrelétrica, sendo que o maior potencial se encontra na região Amazônica, seguida da região do Tocantins-Araguaia. Considerando as regiões de maiores demandas energéticas, o

potencial previsto de crescimento na geração de energia hidrelétrica é baixo, conforme pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10: Expansão da geração de energia hidrelétrica por região hidrográfica (em MW)

Região Hidrográfica	Potência instalada em hidrelétrica 2007 a 2016			Incremento potencial previsto para 2016 (%)
	Atual (2007)	%	Prevista (2016)	
Amazônica	684,28	0,8%	31.332,08	4479%
Tocantins-Araguaia	11.449,50	14,1%	19.915,30	74%
Atlântico NE Ocidental	-		-	
Parnaíba	237,30	0,3%	730,30	208%
Atlântico NE Oriental	-		-	
São Francisco	10.472,50	12,9%	11.114,50	6%
Atlântico Leste	1.060,00	1,3%	1.180,00	11%
Atlântico Sudeste	3.892,72	4,8%	5.029,52	29%
Atlântico Sul	1.186,20	1,5%	1.598,20	35%
Uruguai	4.500,00	5,6%	6.930,60	54%
Paraná	46.805,88	57,8%	49.631,68	6%
Paraguai	747,60	0,9%	747,60	0%
Total Brasil	81.035,98	100%	128.209,78	58%

Fonte: Lanna (2008) e Brasil(2007)

De acordo com Lanna (2008), as questões ambientais são importantes ao analisar a expansão do potencial hidrelétrico brasileiro, pois é uma barreira para este setor. No entanto, o setor elétrico se defende com o conceito de que a energia hidrelétrica ainda é a mais limpa ambientalmente falando, ao comparar com as demais fontes disponíveis, pois as hidrelétricas previstas têm reservatórios pequenos, quando não são em quedas de água (fio de água).

Além disso, para os defensores da expansão da geração de energia hidroelétrica, a construção de novas usinas é indispensável para a segurança e solidificação da matriz energética brasileira, garantindo o atendimento da demanda cada vez mais crescente, com uma energia renovável, de baixo custo e sem emissões de poluentes gasosos (COELHO et al, 2010).



4 Considerações Finais

O Brasil possui um grande potencial de recursos hídricos a ser explorado. Aproximadamente 13% da disponibilidade mundial de água doce está em território brasileiro. No entanto, esta ideia de abundância de recursos hídricos gerou nos brasileiros uma cultura de uso abusivo dos rios e lagos.

Como observado, esta disponibilidade hídrica não é homogênea em seu território, tanto em termos de disponibilidade para o consumo, irrigação e outras atividades, quanto em termos de potencial para geração de energia elétrica. Constatou-se que nas regiões com maior concentração econômica e populacional, o potencial de crescimento de geração de energia hidroelétrica não acompanha o crescimento da demanda, sendo necessário investimento em regiões com menores demandas de energia elétrica e com menor densidade populacional.

Com isso, as previsões são de elevados custos ambientais e sociais para a expansão da geração de energia elétrica no Brasil, pois a construção de novas unidades geradoras de energia hidrelétrica, para atender a crescente demanda, deverá ocorrer em locais distantes dos centros de maior demanda.

Portanto, esse assunto levanta uma grande polêmica. Cabe à todos os atores da sociedade brasileira e os poderes públicos uma ampla discussão a respeito das opções pela expansão da fonte hidrelétrica ou por investimentos em outras fontes não tão limpas como a hidrelétrica.

5 - Referências

BARROS, A. B. de; BARROS, A. M. A. de. A difícil aplicabilidade da política de águas no Brasil. *Inter Science Place: Revista Científica Internacional*, [Sem Local], v. 7, n. 2, p.1-21, jun. 2009.

BRASIL. Lei Federal n. 9433/97. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília, DF, 1997

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. Ministério do Meio Ambiente. *Aproveitamento do potencial hidráulico para geração de energia elétrica*. 1 ed. Brasília, 2005. 93 p.

Disponível

em:

<<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Gera%C3%A7aoEnergia.pdf>>.

Acesso em: 02 set. 2012.



BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. *Programas nacionais e metas*. Brasília, 2006a. (Volume 4). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011025031.pdf>. Acesso em: 02 set. 2012.

BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. *Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil*. Brasília, 2006b. (Volume 1). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011025312.pdf>. Acesso em: 02 set. 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Minas e Energia. *Usinas hidrelétricas acima de 30 MW, em estudos, previstas, em implantação e em operação*. Brasília, 2007.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética (epe). Ministério de Minas e Energia. *Anuário Estatístico de energia elétrica*. Brasília, 2011. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2012.

BRASIL. Agência Nacional De Energia Elétrica - ANEEL. Ministério de Minas e Energia. *Informações Gerenciais*. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2012.

COELHO, M. C. N. et al. Questão energética na Amazônia: disputa em torno de um novo padrão de desenvolvimento econômico e social. *Novos Cadernos NAEA*, [sem Local], v. 13, n. 2, p.83-102, dez. 2010.

CONEJO, J. G. L., A outorga de usos da água como instrumento de gerenciamento dos recursos hídricos. *Revista de Administração Pública*, vol. 27, no 2, 1993.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH (Brasil). *Resoluções*. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 05 set. 2012.

LANNA, A. E. *A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso*. *Estudos Avançados*, 22 (3), 2008.

LIMA, A. G. G. *Cursos de Energia Elétrica*. Disponível em: <<http://antonioguilherme.web.br.com/index.php>>. Acesso em: 05 maio 2012.



OLIVEIRA, V. P. S. *Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação*, 2003. 156 f. Tese (*Doctor Scientiae* em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2003. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/GPRH/teses/ds_oliveira/Tese_Doutorado_Vicente_de_Paulo_Santos_de_Oliveira.pdf> Acesso em: 03 out. 2011.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS (Brasil). *Energia Armazenada*. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 01 maio 2012.

SETTI, Arnaldo Augusto et al. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2 ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001. 207 p. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/livro_Introd-Gerenc-Rec-Hidr.pdf>. Acesso em: 20 set. 2012.