

Recursos energéticos para geração de energia elétrica

AKIO MIYAMOTO

Chefe do Departamento de Recursos Energéticos da ELETROBRÁS.

VERLANE MEDEIROS WANDERLEY

Adjunto da Chefia do Departamento de Recursos Energéticos da ELETROBRÁS.

LUIZ PEREIRA BARROSO

Chefe da Divisão de Energia do Departamento de Recursos Energéticos da ELETROBRÁS.

JAMES BOLIVAR LUNA DE AZEVEDO

Engenheiro da ELETROBRÁS.

ATILE ALBERTO MUNIZ

Engenheiro da ELETROBRÁS.

MADISON DELANO CAMPELO DA PAZ

Engenheiro da ELETROBRÁS.

A eletricidade pode ser produzida a partir de todas as fontes de energia conhecidas, cabendo a escolha dessa fonte à consideração dos aspectos estratégicos, econômicos e ecológicos e de garantia de suprimento.

Atualmente, o parque gerador brasileiro é predominantemente hidrelétrico, representando cerca de 85% da capacidade instalada total. No sistema interligado das Regiões Sudeste e Sul a produção hidráulica é complementada pela geração termelétrica a carvão mineral e, no futuro, pela geração núcleo-elétrica; a participação dos derivados de petróleo fica restrita à operação de emergência ou, eventualmente, nos períodos de demanda máxima com vistas à melhoria da garantia de suprimento dos sistemas interligados Sudeste-Centro-Oeste-Sul e Norte-Nordeste. Nos sistemas isolados, há um grande número de localidades da

região amazônica ainda dependentes do petróleo, mas em fase de substituição por fontes renováveis.

O Quadro 1 contém a discriminação do total de recursos e reservas energéticas brasileiras, indicando-se como fonte renovável apenas a energia hidráulica por não serem disponíveis estimativas globais das demais fontes renováveis.

Em termos de expansão do sistema elétrico, por sua economicidade e característica renovável, o potencial hidráulico assume um papel de destaque em relação às demais fontes. Com efeito, a partir da equivalência energética, verifica-se que, para produzir a quantidade de energia firme hidrelétrica garantida anualmente com o seu potencial hidráulico, o País consumiria rapidamente os seus recursos não-renováveis, conforme mostrado no Quadro 2.

Dentre os recursos não-renováveis, a maior contribuição deverá corresponder

ao carvão mineral e ao urânio, inicialmente como complementação térmica ao parque hidrelétrico e elevando sua participação a longo prazo. A utilização do petróleo e seus derivados não é considerada para a expansão do parque gerador, pelo montante das suas reservas e a competitividade para outros fins. O gás natural e a turfa poderão ter alguma participação a mais longo prazo, condicionada à sua disponibilidade e objetivando soluções locais.

Existem ainda outras fontes renováveis e possíveis de utilização para produzir energia elétrica, entre as quais: a biomassa florestal, o bagaço de cana, a energia maremotriz, a energia eólica e solar, em fase de desenvolvimento tecnológico, além dos resíduos urbanos nas grandes cidades e dos resíduos agrícolas.

O aproveitamento dessas fontes terá um caráter complementar aos recursos hidráulicos, do carvão mineral e do urânio.

QUADRO 2

TEMPO DE ESGOTAMENTO DE RECURSOS NÃO-RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO ELÉTRICA

Fonte	Tempo Esgotamento (1)
Petróleo	11,4 meses
Gás Natural	3,3 meses
Óleo de Xisto	2,1 anos
Carvão Mineral	15,9 anos
Urânio	7,7 anos
Turfa	4,9 meses

(1) Utilização de 271×10^9 TEP/ano.

QUADRO 1

**BRASIL
RECURSOS E RESERVAS ENERGÉTICAS
(Dezembro/83)**

Fonte	Unidade	Total	Equivalência Energética em 10^6 TEP
Hidráulica	GW-ano	106,5	271/ano
Petróleo	10^6 m ³	297,9	258
Gás Natural	10^9 m ³	81,6	74
Óleo de Xisto	10^6 m ³	672,0	583
Carvão Mineral	10^9 t	22,8	4.300
Urânio	10^3 t U ₃ O ₈	301,4	2.100
Turfa	10^9 t	1,6	112

Fonte: Balanço Energético Nacional — BEN, 1984.

Seu uso estará voltado para suprimento localizado, em função de sua disponibilidade, desenvolvimento tecnológico e custos associados.

1. Recursos hidráulicos e potencial hidrelétrico

Desde a década de 60, principalmente, as bacias hidrográficas brasileiras têm sido estudadas e o conhecimento do potencial hidrelétrico nacional foi evoluindo gradativamente, tornando-se mais preciso à medida que foram feitos investimentos em estudos de escritório e de campo, que permitiram a obtenção de informações sobre as características físicas das bacias e a definição de partições de queda ao longo dos rios componentes dessas bacias.

Os estudos para avaliação do potencial hidrelétrico compreendem duas etapas:

a) Estimativa do Potencial Hidrelétrico (avaliação de escritório)

É a etapa dos estudos em que se procede à análise preliminar das características de bacias hidrográficas, especialmente quanto aos aspectos topográficos, hidrológicos e geológicos, no sentido de verificar sua vocação para geração de energia elétrica.

Essa análise, exclusivamente pautada nos dados disponíveis, é feita em escritório e permite a primeira estimativa do potencial hidrelétrico das bacias hidrográficas, levando ainda à primeira estimativa do custo do seu aproveitamento e à definição de prioridades, prazos e custos dos estudos da etapa seguinte.

Em geral, o nível de informação permite estabelecer uma divisão preliminar

de quedas e individualizar os possíveis locais de aproveitamento. Os trechos remanescentes dos rios e bacias são avaliados globalmente.

A estimativa obtida nesta fase, conforme análises procedidas para diversos casos estudados, conduz a valores conservadores.

b) Inventário Hidrelétrico

É a etapa em que se determina com toda a precisão o potencial hidrelétrico de uma bacia hidrográfica e se estabelece a melhor divisão da queda, mediante a identificação dos aproveitamentos que, no conjunto, propiciem um máximo de energia ao menor custo e com o mínimo de efeitos sobre o meio-ambiente.

Nos estudos de inventário, os dados existentes utilizados na etapa anterior são complementados através de levantamentos topográficos, geológicos e geo-

técnicos, hidrometeorológicos, sócio-econômicos e ambientais da bacia hidrográfica.

Visando a conduzir a soluções homogêneas e comparáveis entre si e que possibilitem, de forma direta, as análises correspondentes à programação e ao planejamento da expansão dos sistemas elétricos nacionais, os estudos de inventário são desenvolvidos através de normas específicas já consolidadas em Manual pelo Setor Elétrico.

O potencial é avaliado em termos de energia firme, que corresponde à produção máxima contínua de energia, na hipótese de repetição futura das ocorrências hidrológicas mais críticas registradas e possível de ser obtida técnica e economicamente nas condições atuais de tecnologia.

Atualmente, o potencial hidrelétrico brasileiro corresponde a 106.570 MW-

QUADRO 3

RECURSOS HIDRÁULICOS, POR REGIÃO E BACIA, SEGUNDO A SITUAÇÃO-ENERGIA FIRME BRASIL 1980

Região	Bacia	Inventariado	Estimado		Total
			Individualizado	Remanescente	
NORTE — CO		22.921	21.181	5.267	49.369
	Amazonas	12.143	19.481	4.539	36.163
	— margem esquerda	2.573	3.199	1.998	7.770
	— margem direita	9.570	16.282	2.541	28.393
	Xingu	9.500	66	888	10.454
	Tapajós	—	8.582	1.028	9.610
	Madeira	60	7.495	615	8.170
	Demais	10	139	10	159
	Tocantins	10.768	1.295	597	12.660
	Atlântico Norte	10	350	125	485
NE	Atlântico NE	—	55	6	61
		6.955	348	—	7.303
	S. Francisco Atlântico Leste	217	164	—	381
		6.420	132	—	6.552
SE — CO		318	52	—	370
	S. Francisco Atlântico Leste	19.109	3.987	2.388	25.484
		1.227	810	561	2.598
	Paraná Atlântico SE	4.237	1.378	671	6.286
SUL		13.044	1.699	1.087	15.830
		601	100	69	770
	Paraná Uruguai Atlântico SE	17.485	4.548	2.381	24.414
		10.713	1.222	1.265	13.200
TOTAL		5.908	1.219	149	7.276
		864	2.107	967	3.938
		66.470	30.064	10.036	106.570

Fonte: DEEN/DPE — ELETROBRÁS.
(1) 1 MW ano = 8760 MWh

ano de energia firme, dos quais 66.470 MW-ano inventariados (inclusive a parcela já aproveitada, programada ou em construção que é de cerca de 24.000 MW-ano). Os restantes 40.100 MW-ano correspondem ao potencial estimado, dos quais 30.064 MW referentes a aproveitamentos individualizados e 10.036 MW-ano para o potencial remanescente, ou seja, sem individualização dos aproveitamentos.

Em termos de distribuição regional, quase metade deste potencial está nas regiões Norte/Centro-Oeste; o Nordeste possui cerca de 7% e o restante está dividido, praticamente, na mesma proporção entre Sul e Sudeste/Centro-Oeste.

O Quadro 3 indica o potencial hidrelétrico brasileiro em energia firme MW-ano, com especificação por região e por nível de conhecimento.

2. Recursos de carvão mineral e potencial termelétrico a carvão

As principais reservas brasileiras de carvão mineral de interesse comercial encontram-se na Região Sul do país, estendendo-se por uma faixa de sedimentos distribuída pelos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

As reservas são expressas em seu estado natural (*in situ*) e diferenciadas de acordo com o seu grau de confiabilidade em medidas indicadas e inferidas, definidas pelo DNPM/CPRM da seguinte forma:

- Reserva Medida é a reserva contígua aos furos de sondagem num raio de 400 metros, cuja área influenciada é de 0,50 km².

- Reserva Indicada é a reserva extensa à reserva medida, num raio de 1.200 metros, cuja área influenciada corresponde a uma coroa circular de área 4,02 km², excluindo a reserva medida.

- Reserva Inferida é a reserva situada além da reserva indicada até uma distância máxima de 4.800 metros dos furos de sondagem.

A avaliação das reservas efetivamente lavráveis depende do conhecimento da geologia que detalhe nas áreas onde ocorrem os depósitos carboníferos (descontinuidades das camadas de carvão, falhamento, intrusões de diques de diabásio) e da recuperação obtida na mineração, em função do método de lavra empregado.

Os trabalhos de prospecção realizadas pelo DNPM/CPRM vêm ampliando o valor das reservas geológicas de carvão



RESERVAS DE CARVÃO MINERAL - 10⁶ t

ESTADO	MEDIDA	IND+INF	TOTAL
RS	1.789	18.972	20.761
SC	569	1.347	1.916
PR	31	78	109
SP	2	8	10
TOTAL	2.391	20.405	22.796

Fonte: DNPM 1983

conhecidas, que passaram de 2,7 x 10⁹ t, em 1970 para 22,8 x 10⁹ t, em 1983, compreendendo: 2,4 x 10⁹ t de reservas medidas, 4,5 x 10⁹ t reservas indicadas e 15,9 x 10⁹ t de reservas inferidas. A localização e distribuição entre os Estados da Região Sul estão mostradas na Figura 1.

Excluindo-se a fração metalúrgica contida na Camada Barro Branco, em Santa Catarina, e admitindo-se uma recuperação média de 50% das jazidas, o total de carvão útil é de 11,2 x 10⁹ t. A utilização desse carvão permitiria uma

capacidade instalável em usinas termelétricas da ordem de 70.000 MW para uma vida útil de 30 anos e um fator de capacidade médio de 60%.

Em termos de utilização, entretanto, o carvão nacional tem grandes possibilidades na substituição de óleo combustível para geração de calor ou vapor industrial, via queima direta ou gaseificação. A parcela a ser destinada à geração elétrica dependerá desses novos usos do carvão, podendo dar-se, inclusive, mediante programas integrados de utilização conjunta de carvão.

O consumo de óleo combustível do País alcançou em 1983 cerca de 11 milhões de toneladas. Para substituir totalmente esse óleo por carvão seriam necessários 28 milhões de toneladas de carvão energético com um poder calorífico médio de 4.000 kcal/kg. Assim, apenas a terça-parte das reservas calculadas de carvão útil permitiria a substituição do atual nível de consumo de óleo combustível por mais de 100 anos.

Dessa forma, caso os dois terços restantes da reserva de carvão útil sejam destinados à termelétricidade, poderiam ser produzidos 28.500 MW-ano de energia durante 30 anos, correspondentes a uma capacidade instalável de 48.000 MW.

3. Recursos de urânio e capacidade instalável em usinas nucleares

No início da década de 70, as reservas brasileiras de urânio começaram a sofrer significativo incremento, devido à intensificação do programa de pesquisa e prospecção do minério. Com isso, no final da década de 70, o país passou a assumir posição de destaque entre os demais países possuidores de urânio, com reservas medidas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.

Normalmente é baixa a concentração do minério de urânio em cada jazida (1.500 e 2.000 p.p.m.), impossibilitando economicamente o seu beneficiamento (obtenção de U_3O_8 com alto grau de pureza) em locais distantes da ocorrência, uma vez que a quantidade de material a ser transportado seria muito grande.

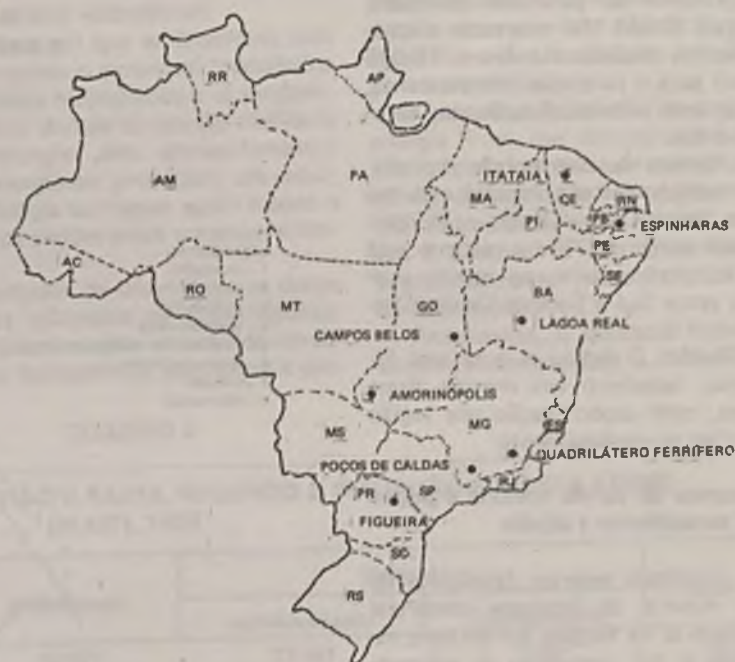
O elemento urânio vem sempre associado a outro elemento, que pode, ou não, ter valor econômico. No caso brasileiro, por exemplo, em Poços de Caldas, o urânio está associado ao molibdênio e zircônio; em Itataia, ao fosfato e, em Figueira, ao carvão e ao molibdênio. Cada tipo de associação condiciona o processo de beneficiamento que, portanto, pode variar de reserva para reserva.

A estimativa da NUCLEBRÁS para dezembro/1983 indica reservas no total de 301.490 toneladas de U_3O_8 , compreendendo 192.540 t de reservas medidas e indicadas e 108.950 t de reservas inferidas. A localização geográfica aproximadamente das principais ocorrências, bem como as quantidades em nível de jazidas, encontram-se na Figura 2.

Considerando as características operacionais de usinas nucleares PWR e os parâmetros de gerência externa do ciclo do combustível, o consumo específico

FIGURA 2

BRASIL – URÂNIO NATURAL – Reservas e Localização



JAZIDAS	Reservas em t de U_3O_8		
	Medidas Indicadas	Inferidas	Total
NUCLEBRÁS			
Planalto de Poços de Caldas/MG	20.000	6.800	26.800
Figueira/PR	7.000	1.000	8.000
Quadrilátero Ferrífero/MG	5.000	10.000	15.000
Amarinópolis/GO	2.000	3.000	5.000
Campos Belos/GO	500	500	1.000
Itataia/CE	91.200	51.300	142.500
Lagoa Real/BA	61.840	31.350	93.190
Subtotal NUCLAM	187.540	103.950	291.490
Espinharas/PB	5.000	5.000	10.000
Subtotal	5.000	5.000	10.000
Total Geral (NUCLEBRÁS e NUCLAM)	192.540	108.950	301.490

Fonte: NUCLEBRÁS 1983

de uma unidade de 1.300 MW é de $2,65 \times 10^{-5}$ t de U_3O_8 por MWh produzido de energia elétrica.

Supondo-se uma recuperação de 65% na exploração das jazidas, as reservas atuais de urânio permitem a instalação de 30 unidades PWR de 1.300 MW, totalizando 39.000 MW instaláveis, operando durante 30 anos de vida útil com um fator de capacidade de 70%.

Caso seja admitida a existência de reprocessamento do combustível irradiado, permitindo a recuperação do urânio e plutônio residuais e sua reciclagem nos

reatores PWR, seria possível uma economia de cerca de 25% na utilização das reservas de urânio. Com essa hipótese, as reservas brasileiras, possibilitariam a instalação de 37 usinas PWR de 1.300 MW, mais um reator de 650 MW, totalizando uma capacidade instalável de 48.750 MW.

4. Outras fontes renováveis para energia elétrica

4.1 Biomassa Florestal

A principal forma de utilização de biomassa florestal como fonte primária para geração de eletricidade é a queima

direta em usinas termelétricas convencionais. O baixo poder calorífico da madeira, no entanto, faz com que o seu consumo específico seja alto em instalações desse tipo, exigindo, portanto, o manuseio de quantidades consideráveis de biomassa e enorme infra-estrutura de exploração florestal, transporte e beneficiamento de madeira mesmo para unidades de pequeno porte.

Uma unidade de 50 MW de capacidade instalada com um rendimento global de 28% consumiria 1.450 toneladas/dia de madeira com 35% de umidade e poder calorífico inferior de 2.526 kcal/kg. A exploração florestal necessária é da ordem de 20 ha/dia de floresta nativa (densidade de 130 m³/ha) ou de 29 ha/dia no caso de floresta planejada (densidade de 90m³/ha).

Com relação às florestas nativas, o Brasil possui uma das maiores áreas florestais do mundo. A Amazônia legal, por exemplo, possuindo uma área de 500 x 10⁶ ha, permite estimar, conservadoramente, um volume de cerca de 42,2 x 10⁹ m³ de madeira. Para a região Sudeste e Sul, estima-se um volume de 4,0 x 10⁹ m³ de madeira.

Essas estimativas referem-se aos recursos existentes, pois o seu aproveitamento para qualquer uso exigiria levar em consideração a legislação florestal, áreas de conservação permanente, acessibilidade e as imposições de ordem ecológica.

Com relação ao potencial de reflorestamento (florestas planejadas) este tem ocorrido nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. No Nordeste, apenas a Bahia conta com área significativa de reflorestamento. A área total reflorestada no Brasil é da ordem de 5,0 x 10⁶ ha. O potencial de madeira estimado é da ordem de 467 x 10⁶ m³.

Uma possibilidade de madeira para termelétricidade é o caso da biomassa florestal das áreas a serem inundadas pelos reservatórios de usinas hidrelétricas da região amazônica. Neste caso, associado à geração térmica, há o benefício da limpeza da área do reservatório, necessária para evitar problemas ambientais e relacionadas com a operação e manutenção das usinas hidrelétricas. São contempladas no Plano 2000 a construção de nove usinas para a Região Norte e que inundarão uma área de aproximadamente 1,3 x 10⁶ ha com um potencial de madeira equivalente a 160 x 10⁶ m³, permitindo a instalação de cerca de 660 MW em usinas a lenha.

Outra possibilidade é a utilização da madeira como fonte primária na geração

elétrica, substituindo derivados de petróleo (óleo diesel) em cerca de 200 sistemas eletricamente isolados da Região Norte. Neste caso, seriam feitas adaptações de unidades diesel-elétricas para alimentação por gasogênios a lenha ou carvão vegetal, ou seriam construídas instalações de pequenas centrais térmicas a vapor.

4.2 Bagaço de Cana

O bagaço de cana é consumido para geração de vapor e energia elétrica, normalmente em sistemas de cogeração (produção conjunta), nas usinas de cana-de-açúcar e destilarias de álcool.

A partir de 1979, com a elevação dos preços do petróleo e a necessidade de sua substituição, associado ao Plano Nacional do Álcool, começaram a ser examinadas as possibilidades de uso do bagaço de cana em diversos setores industriais.

O aumento expressivo da produção de cana-de-açúcar e os novos projetos industriais, principalmente de destilarias autônomas, começaram a criar cada vez mais excedentes de bagaço, ampliando as possibilidades de seu uso como combustível em aplicações na indústria.

O estudo "Aproveitamento Energético dos Resíduos da Agro-Indústria da Cana-de-Açúcar - MME/ELETOBRÁS, 1983" - apresenta uma estimativa do potencial de excedentes de bagaço de cana.

A partir de hipóteses quanto à previsão de safras e do consumo nas próprias usinas ou destilarias, as estimativas conduzem a um potencial de bagaço de cana excedente, evoluindo na faixa de 3,0 a 4,8 milhões de toneladas para as safras de 1983/84 a 1985/86, com 50% de umidade e poder calorífico inferior de 1.777 kcal/kg. Desse potencial, mais da metade está concentrada na Região Sudeste, enquanto o Nordeste e o Centro-Oeste deverão concentrar cerca de 20% cada.

Como referência, pode ser mencionado que a utilização de uma disponibilidade anual de 4,0 x 10⁶ t de bagaço de cana permitiria a geração de eletricidade da ordem de 230 MW-ano.

4.3. Maremotriz

A ELETOBRÁS patrocinou um estudo de pré-inventário das possibilidades de geração maremotriz, compreendendo a costa dos Estados do Maranhão e Pará e do Território Federal do Amapá.

Foram selecionados 42 sítios com potencial superior a 60 MW e área do reservatório acima de 15 km². Os resulta-

dos, mediante estimativa conservadora, acusaram uma potência total instalável de 27.000 MW e produção anual de energia de 8.200 MW-ano.

Posteriormente, foram escolhidos e estudados com maior profundidade 12 desses sítios para os quais a potência instalável é de 16.900 MW com uma produção anual de energia de 5.250 MW-ano.

4.4 Resíduos Agrícola e Urbano, Eólico e Solar

Não existem estimativas globais da possível contribuição energética dessas fontes.

O potencial de uso dos resíduos agrícolas através de biodigestores seria na zona rural onde poderiam ser utilizados como opção para acelerar o suprimento de energia destas áreas.

Um dos rejeitos da sociedade industrial que tem encontrado aplicação na produção de eletricidade é o lixo urbano. Em cidades de grande porte, os problemas de degradação do meio-ambiente com o armazenamento e a disposição final do lixo podem ter custos tais que viabilizem a aplicação desse rejeito para geração elétrica.

A energia eólica/solar deverá ter um grande potencial em equipamentos de pequena potência para gerar energia elétrica em sistemas do tipo estação repetidora de microondas, centrais remotas de comunicações, equipamento de meteorologia e telemetria, sinais de navegação, pequenas ilhas e povoados e até mesmo bombeamento de água e usos rurais. Seu uso mais intenso vai depender da evolução tecnológica.

A energia solar especificamente deverá ter também um potencial de uso para fins de aquecimento de água, substituindo o aquecimento elétrico e o aquecimento a derivados de petróleo.

BIBLIOGRAFIA

1. O Potencial Hidrelétrico do Brasil - Eletrobrás, Maurício Schulman - 1980
2. Plano de Atendimento aos Requisitos de Mercado de Energia Elétrica até o Ano 2000 - Plano 2000 - ELETOBRÁS - 1981
3. Política e Planejamento do Setor de Energia Elétrica no Brasil - ELETOBRÁS, Diretoria de Planejamento e Engenharia - 1982
4. Balanço Energético Nacional - MME - Secretaria Geral - 1984
5. Boletim de Planejamento - ELETOBRÁS - Diretoria de Planejamento e Engenharia - 1984
6. Perspectivas Futuras da Produção e da Utilização da Energia Elétrica - ELETOBRÁS, Antonio Carlos Tatit Holtz