

# ENERGIA HIDRÁULICA

# 4

## 4.1. INFORMAÇÕES GERAIS

O uso da energia hidráulica foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos. Tinha a seu favor, para tanto, as seguintes características: disponibilidade de recursos, facilidade de aproveitamento e, principalmente, seu caráter renovável.

A energia hidráulica resulta da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, que provocam a evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre. Ao contrário das demais fontes renováveis, representa uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias de aproveitamento devidamente consolidadas. Atualmente, é a principal fonte geradora de energia elétrica para diversos países e responde por cerca de 17% de toda a eletricidade gerada no mundo.

No Brasil, água e energia têm uma histórica interdependência. A contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do País tem sido expressiva, seja no atendimento das diversas demandas da economia – atividades industriais, agrícolas, comerciais e de serviços – ou da própria sociedade, seja na melhoria do conforto das habitações e da qualidade de vida das pessoas. Também desempenha papel importante na integração e no desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais.

A contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional, segundo o Balanço Energético Nacional (2003), é da ordem de 14%, participando com quase 83% de toda a energia elétrica gerada no País. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores, estima-se que, nos próximos anos, pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica.

As políticas de estímulo à geração descentralizada de energia elétrica promovem uma crescente participação de fontes alternativas na matriz energética nacional, e nesse contexto, as pequenas centrais hidrelétricas terão certamente um papel importante a desempenhar.

## 4.2. DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HIDRÁULICOS

Uma primeira estimativa da quantidade de energia hidráulica disponível no mundo poder ser feita pela simples aplicação da fórmula de cálculo da energia potencial (EP):

$$EP = M \text{ (massa)} \times g \text{ (aceleração da gravidade)} \times h \text{ (altura)}$$

A precipitação média anual na Terra é da ordem de 1.017 kg e a altura média da superfície terrestre (em relação ao nível do mar) é de 800 m. Portanto, a energia hidráulica potencial é da ordem de 200 mil TWh por ano, o que equivale a duas vezes o consumo médio anual de energia primária no mundo (BOYLE, 1996).

Essa estimativa é pouco realista, pois, na prática, é impossível o aproveitamento de todo esse volume de água. Primeiramente, em virtude da inacessibilidade à parte desse volume e da reevaporação, antes que possa ser utilizado; em segundo lugar, porque há perdas de energia devido à turbulência e fricção da água nos canais e tubulações, de modo que a altura efetiva tende a ser bastante inferior à altura real. Há, ainda, perdas no processo de conversão, embora o sistema “turbo-gerador” seja um dos métodos mais eficientes de aproveitamento de energia primária (os modelos mais eficientes chegam a atingir um índice 90%).

Estima-se, assim, que apenas um quarto do referido volume de água precipitada esteja efetivamente disponível para aproveitamento hidráulico. Desse

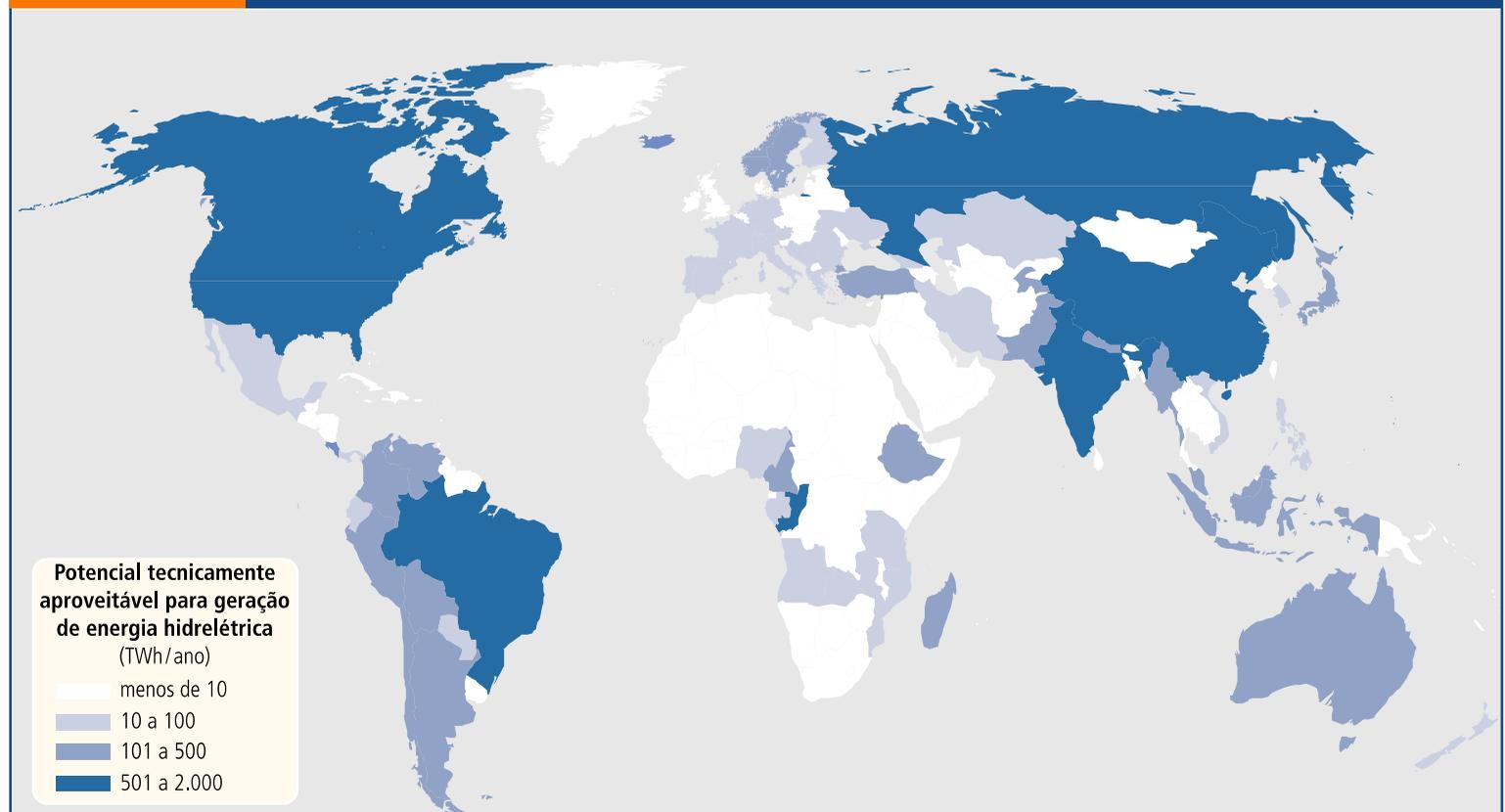
modo, a energia hidráulica disponível na Terra é de aproximadamente 50.000 TWh por ano, o que corresponde, ainda assim, a cerca de quatro vezes a quantidade de energia elétrica gerada no mundo atualmente.

Essa quantia supostamente disponível de energia hidráulica, também denominada recurso total, é ainda irrealista do ponto de vista técnico. A quantidade efetivamente disponível depende das condições locais do aproveitamento (como a topografia e o tipo de chuva) e do tempo efetivo de operação do sistema. Teoricamente, uma usina poderia operar continuamente (8.760 horas por ano), isto é, com um fator de capacidade de 100%. Na prática, porém, esse índice é da ordem de 40% apenas, em função de problemas operacionais e da necessidade de manutenção. Desse modo, estima-se que a energia hidráulica efetivamente disponível na Terra, isto é, o potencial tecnicamente aproveitável, varie de 10.000 TWh a 20.000 TWh por ano (ONU, 1992).

A Figura 4.1 ilustra o potencial tecnicamente aproveitável da energia hidráulica no mundo para geração de energia elétrica. Como se observa, os maiores potenciais estão localizados na América do Norte, antiga União Soviética, China, Índia e Brasil. O Continente Africano é o que apresenta os menores potenciais.

FIGURA 4.1

Potencial tecnicamente aproveitável para geração de energia hidrelétrica no mundo



Fonte: Elaborado com base em dados de THE INTERNATIONAL JOURNAL ON HYDROPOWER & DAMS – IJHD. World Atlas & Industry Guide. 2000.

## 4.3. POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO

O valor do potencial hidrelétrico brasileiro é composto pela soma da parcela estimada (remanescente + individualizada) com a inventariada.

O potencial estimado é resultante da somatória dos estudos:

- De potencial remanescente - resultado de estimativa realizada em escritório, a partir de dados existentes - sem qualquer levantamento complementar - considerando-se um trecho de um curso d'água, via de regra situado na cabeceira, sem determinar o local de implantação do aproveitamento;
- Individualizados - resultado de estimativa realizada em escritório para um determinado local, a partir de dados existentes ou levantamentos expeditos, sem qualquer levantamento detalhado.

A parcela inventariada inclui usinas em diferentes níveis de estudos - inventário, viabilidade e projeto básico - além de aproveitamentos em construção e operação (ELETROBRÁS, 2004).

O potencial inventariado é resultante da somatória dos aproveitamentos:

- Apenas em inventário - resultado de estudo da bacia hidrográfica, realizado para a determinação do seu potencial hidrelétrico, mediante a escolha da melhor alternativa de divisão de queda, que constitui o conjunto de aproveitamentos compatíveis, entre si e com projetos desenvolvidos, de forma a se obter uma avaliação da energia disponível, dos impactos ambientais e dos custos de implantação dos empreendimentos;
- Com estudo de viabilidade - resultado da concepção global do aproveitamento, considerada sua otimização técnico-econômica, de modo a permitir a elaboração dos documentos para licitação. Esse estudo

compreende o dimensionamento das estruturas principais e das obras de infra-estrutura local e a definição da respectiva área de influência, do uso múltiplo da água e dos efeitos sobre o meio ambiente;

- Com projeto básico - aproveitamento detalhado e em profundidade, com orçamento definido, que permita a elaboração dos documentos de licitação das obras civis e do fornecimento dos equipamentos eletromecânicos;
- Em construção - aproveitamento que teve suas obras iniciadas, sem nenhuma unidade geradora em operação; e
- Em operação - os empreendimentos em operação constituem a capacidade instalada.

Os aproveitamentos somente são considerados para fins estatísticos nos estágios "inventário", "viabilidade" ou "projeto básico", se os respectivos estudos tiverem sido aprovados pelo poder concedente.

O potencial hidrelétrico brasileiro situa-se ao redor de 260 GW. Contudo apenas 68% desse potencial foi inventariado (Tabela 4.1). Entre as bacias com maior potencial destacam-se as do Rio Amazonas e do Rio Paraná.

Na Bacia do Amazonas, destaca-se a sub-bacia 18 (Rio Xingu), com 12,7% do potencial inventariado no País (Tabela 4.2). Outras sub-bacias do Amazonas, cujos potenciais estimados são consideráveis, são a do Rio Tapajós (17), a do Rio Madeira (15) e a do Rio Negro (14). Na Bacia do Tocantins, destaca-se a sub-bacia 29 (Rio Itacaiunas e outros), com 6,1% do potencial brasileiro inventariado. Na Bacia do São Francisco, o destaque vai para a sub-bacia 49, que representa 9,9% do potencial inventariado. Na Bacia do Paraná, existem várias sub-bacias com grandes potenciais, entre elas a 64 (Paraná, Paranapanema e outros), com 8,1% do potencial hidrelétrico inventariado no País. O potencial hidráulico brasileiro, por sub-bacia hidrográfica, é apresentada na Figura 4.2.

**TABELA 4.1** Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica – situação em março de 2003

Bacia	Código	Estimado		Inventariado		Total (MW)	
		(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total
Bacia do Rio Amazonas	1	64.164,49	78,8	40.883,07	23,0	105.047,56	40,6
Bacia do Rio Tocantins	2	2.018,80	2,5	24.620,65	13,9	26.639,45	10,3
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3	1.070,50	1,3	2.127,85	1,2	3.198,35	1,2
Bacia do Rio São Francisco	4	1.917,28	2,4	24.299,84	13,7	26.217,12	10,1
Bacia do Atlântico Leste	5	1.779,20	2,2	12.759,81	7,2	14.539,01	5,6
Bacia do Rio Paraná	6	7.119,29	8,7	53.783,42	30,3	60.902,71	23,5
Bacia do Rio Uruguai	7	1.151,70	1,4	11.664,16	6,6	12.815,86	5,0
Bacia do Atlântico Sudeste	8	2.169,16	2,7	7.296,77	4,1	9.465,93	3,7
<b>Total</b>	-	<b>81.390,42</b>	<b>100</b>	<b>177.435,57</b>	<b>100</b>	<b>258.825,99</b>	<b>100</b>

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRÁS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

TABELA 4.2 Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003

Sub-bacia Hidrográfica	Código	Estimado		Inventariado		Total (MW)	
		(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total
Rio Solimões, Javari, Itaquaí	10	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rio Solimões, Içá, Jandiatuba e Outros	11	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rio Solimões, Juruá, Japurá e Outros	12	479,00	0,6	-	0,0	479,00	0,2
Rio Solimões, Purus, Coari e Outros	13	4.196,00	5,2	-	0,0	4.196,00	1,6
Rio Solimões, Negro, Branco e Outros	14	12.058,00	14,8	957,68	0,5	13.015,68	5,0
Rio Amazonas, Madeira, Guaporé e Outros	15	12.127,49	14,9	9.519,76	5,4	21.647,25	8,4
Rio Amazonas, Trombetas e Outros	16	752,00	0,9	6.248,30	3,5	7.000,30	2,7
Rio Amazonas, Tapajós, Juruena e Outros	17	28.230,00	34,7	1.404,42	0,8	29.634,42	11,4
Rio Amazonas, Xingu, Iriri, Paru	18	5.142,00	6,3	22.592,92	12,7	27.734,92	10,7
Rio Amazonas, Jari, Pará e Outros	19	1.180,00	1,4	160,00	0,1	1.340,00	0,5
Rio Tocantins, Maranhão, Almas e Outros	20	340,00	0,4	2.123,94	1,2	2.463,94	1,0
Rio Tocantins, Paranã, Palma e Outros	21	907,00	1,1	1.767,09	1,0	2.674,09	1,0
Rio Tocantins, M. Alves, Sono e Outros	22	322,80	0,4	2.794,57	1,6	3.117,37	1,2
Rio Tocantins, M. Alves Grande	23	123,00	0,2	3.453,53	1,9	3.576,53	1,4
Rio Araguaia, Caiapó, Claro e Outros	24	144,00	0,2	1.055,32	0,6	1.199,32	0,5
Rio Araguaia, Crixas-Açu, Peixe	25	47,00	0,1	-	0,0	47,00	0,0
Rio Araguaia, Mortes, Javaés e Outros	26	7,00	0,0	540,80	0,3	547,80	0,2
Rio Araguaia, Coco, Pau D'arco e Outros	27	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rio Araguaia, Muricizal, Lontra	28	-	0,0	2.042,80	1,2	2.042,80	0,8
Rio Tocantins, Itacaiúnas e Outros	29	128,00	0,2	10.842,60	6,1	10.970,60	4,2
Rios Oiapoque, Araguari e Outros	30	360,00	0,4	741,80	0,4	1.101,80	0,4
Rios Meruí, Acará, Guama e Outros	31	63,00	0,1	-	0,0	63,00	0,0
Rios Gurupi, Turiaçu e Outros	32	63,00	0,1	-	0,0	63,00	0,0
Rios Mearim, Itapecuru e Outros	33	247,00	0,3	2,50	0,0	249,50	0,1
Rio Paraíba	34	314,80	0,4	348,56	0,2	663,36	0,3
Rios Acaraú, Piranji e Outros	35	-	0,0	4,40	0,0	4,40	0,0
Rio Jaguaribe	36	-	0,0	17,57	0,0	17,57	0,0
Rios Apodi, Piranhas e Outros	37	-	0,0	6,42	0,0	6,42	0,0
Rios Paraíba, Potengi e Outros	38	5,50	0,0	1,35	0,0	6,85	0,0
Rios Capibaribe, Mundaú e Outros	39	17,20	0,0	1.005,25	0,6	1.022,45	0,4
Rios São Francisco, Paraopeba e Outros	40	438,80	0,5	1.250,96	0,7	1.689,76	0,7
Rios São Francisco, Das Velhas	41	298,60	0,4	887,23	0,5	1.185,83	0,5
Rios São Francisco, Paracatu e Outros	42	821,60	1,0	252,90	0,1	1.074,50	0,4
Rios São Francisco, Uruçuia e Outros	43	136,40	0,2	447,30	0,3	583,70	0,2
Rios São Francisco, Verde, Grande	44	109,00	0,1	384,20	0,2	493,20	0,2
Rios São Francisco, Carinhanha	45	5,20	0,0	247,58	0,1	252,78	0,1
Rios São Francisco, Grande e Outros	46	107,68	0,1	669,18	0,4	776,86	0,3
Rios São Francisco, Jacaré e Outros	47	-	0,0	1.050,00	0,6	1.050,00	0,4
Rios São Francisco, Pajeú e Outros	48	-	0,0	1.533,00	0,9	1.533,00	0,6
Rios São Francisco, Moxotó e Outros	49	-	0,0	17.577,50	9,9	17.577,50	6,8

## Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003 (cont.)

Sub-bacia Hidrográfica	Código	Estimado		Inventariado		Total (MW)	
		(MW)	% em relação	(MW)	% em relação	(MW)	% em relação
Rios Vaza-Barris, Itapicuru e Outros	50	10,50	0,0	-	0,0	10,50	0,0
Rios Paraguaçu, Jequiriça e Outros	51	173,70	0,2	467,43	0,3	641,13	0,2
Rio de Contas	52	29,30	0,0	116,95	0,1	146,25	0,1
Rios Pardo, Cachoeira e Outros	53	134,70	0,2	3,00	0,0	137,70	0,1
Rio Jequitinhonha	54	344,20	0,4	2.201,08	1,2	2.545,28	1,0
Rios Mucuri, São Mateus e Outros	55	70,20	0,1	288,70	0,2	358,90	0,1
Rio Doce	56	98,00	0,1	4.591,30	2,6	4.689,30	1,8
Rios Itapemirim, Itabapoana e Outros	57	176,50	0,2	553,14	0,3	729,64	0,3
Rio Paraíba do Sul	58	383,00	0,5	3.486,11	2,0	3.869,11	1,5
Rios Macaé, São João e Outros	59	359,10	0,4	1.052,10	0,6	1.411,20	0,5
Rio Paranaíba	60	2.260,80	2,8	10.345,90	5,8	12.606,70	4,9
Rio Grande	61	749,40	0,9	8.873,97	5,0	9.623,37	3,7
Rios Paraná, Tietê e Outros	62	198,50	0,2	5.499,10	3,1	5.697,60	2,2
Rios Paraná, Pardo e Outros	63	393,91	0,5	4.372,70	2,5	4.766,61	1,8
Rios Paraná, Paranapanema e Outros	64	967,62	1,2	14.331,36	8,1	15.298,98	5,9
Rios Paraná, Iguaçú e Outros	65	792,61	1,0	9.014,29	5,1	9.806,90	3,8
Rios Paraguai, São Lourenço e Outros	66	1.756,45	2,2	1.345,30	0,8	3.101,75	1,2
Rios Paraguai, Apa e Outros	67	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rios Paraná, Corrientes e Outros	68	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rios Paraná, Tercero e Outros	69	-	0,0	0,80	0,0	0,80	0,0
Rio Pelotas	70	204,00	0,3	1.166,60	0,7	1.370,60	0,5
Rio Canoas	71	16,00	0,0	1.426,33	0,8	1.442,33	0,6
Rios Uruguai, do Peixe e Outros	72	628,00	0,8	1.226,60	0,7	1.854,60	0,7
Rios Uruguai, Chapecó e Outros	73	-	0,0	3.560,82	2,0	3.560,82	1,4
Rios Uruguai, da Várzea e Outros	74	131,70	0,2	2.746,15	1,5	2.877,85	1,1
Rios Uruguai, Ijuí e Outros	75	-	0,0	1.148,96	0,6	1.148,96	0,4
Rios Uruguai, Ibicuí e Outros	76	172,00	0,2	16,20	0,0	188,20	0,1
Rios Uruguai, Quaraí e Outro	77	-	0,0	372,50	0,2	372,50	0,1
Rios Uruguai e Outros	78	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rio Uruguai, Negro e Outros	79	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Rios Itapanhaú, Itanhaém e Outros	80	29,00	0,0	2.932,40	1,7	2.961,40	1,1
Rio Ribeira do Iguape	81	74,00	0,1	993,53	0,6	1.067,53	0,4
Rios Nhundiaquara, Itapocu e Outros	82	254,66	0,3	229,35	0,1	484,01	0,2
Rio Itajaí-Açu	83	98,00	0,1	451,33	0,3	549,33	0,2
Rios Tubarão, Ararangua e Outros	84	136,00	0,2	96,95	0,1	232,95	0,1
Rio Jacuí	85	516,10	0,6	1.045,75	0,6	1.561,85	0,6
Rio Taquari	86	76,00	0,1	1.381,10	0,8	1.457,10	0,6
Lagoa dos Patos	87	857,40	1,1	166,36	0,1	1.023,76	0,4
Lagoa Mirim	88	128,00	0,2	-	0,0	128,00	0,0

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.



## 4.4. TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO

O aproveitamento da energia hidráulica para geração de energia elétrica é feito por meio do uso de turbinas hidráulicas, devidamente acopladas a um gerador. Com eficiência que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são atualmente as formas mais eficientes de conversão de energia primária em energia secundária.

As turbinas hidráulicas apresentam uma grande variedade de formas e tamanhos. O modelo mais utilizado é o Francis, uma vez que se adapta tanto a locais com baixa queda quanto a locais de alta queda. Como trabalha totalmente submerso, seu eixo pode ser horizontal ou vertical (RAMAGE, 1996).

Entre outros modelos de turbinas hidráulicas, destacam-se o Kaplan, adequado a locais de baixa queda (10 m a 70 m), e o Pelton, mais apropriado a locais de elevada queda (200 m a 1.500 m). A Figura 4.3 apresenta um exemplo de turbina hidráulica para cada um dos três modelos citados.

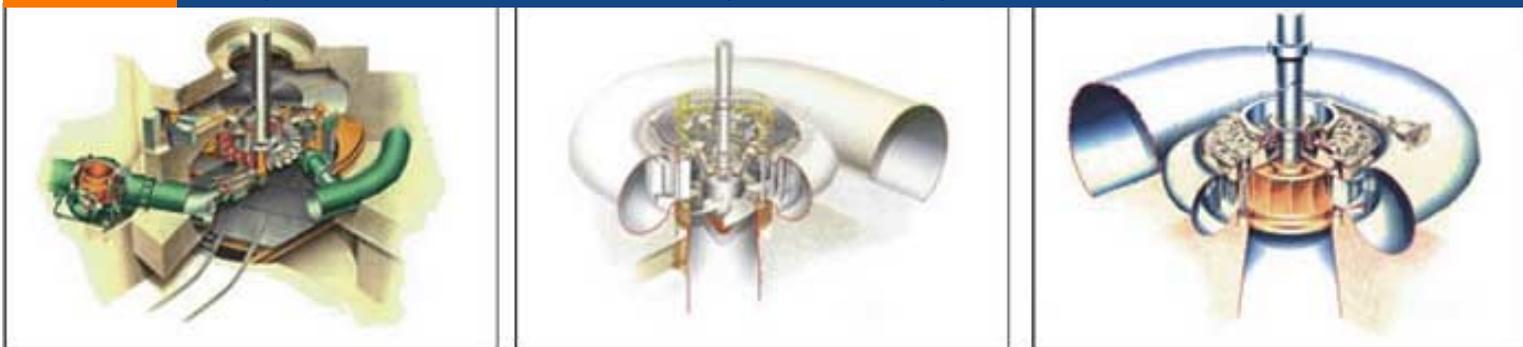
Os seguintes aspectos podem ser usados na classificação das usinas hidrelétricas (RAMAGE, 1996): i) altura efetiva da queda d'água; ii) capa-

cidade ou potência instalada; iii) tipo de turbina empregada; iv) localização, tipo de barragem, reservatório etc. Contudo, esses fatores são interdependentes. Geralmente, a altura da queda determina os demais, e uma combinação entre esta e a capacidade instalada determina o tipo de planta e instalação.

Não há limites muito precisos para a classificação do tipo de queda e, portanto, os valores variam entre fontes e autores. O Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, considera de baixa queda uma instalação com altura de até 15 m; instalações com alturas superiores a 150 m são consideradas de alta queda e instalações com altura entre esses dois valores são consideradas de média queda (CERPCH, 2000).

Segundo a referida fonte, os locais mais favoráveis às instalações de alta queda se encontram geralmente nas ribeiras de grandes declives, formados por rápidos ou cascatas. Nesse caso, as obras de tomada d'água e de prevenção de enchentes são, em geral, de dimensões limitadas e custos reduzidos. A maioria dos investimentos de construção civil é constituída pelo conduto hidráulico. A turbina mais adequada é a do tipo Pelton, com o uso de geradores de alta velocidade, cujas dimensões e preços unitários são sensivelmente mais baixos do que das máquinas mais lentas.

**FIGURA 4.3** Exemplos de turbinas hidráulicas (Pelton, Kaplan e Francis, respectivamente).



Fonte: GE Power Systems. General information. Disponível em: [www.gepower.com/hydro](http://www.gepower.com/hydro).

No Brasil, um exemplo típico desse tipo de aproveitamento hidráulico é a Usina Hidrelétrica de Henry Borden (Figura 4.4), localizada no Rio Pedras, município de Cubatão, Estado de São Paulo. O primeiro grupo gerador (seção externa) foi construído em pouco mais de um ano e entrou em operação em 1926, com potência nominal de 35 MW. Em 1952, iniciaram-se as obras da seção subterrânea, que entrou em operação em 1956. Atualmente, a capacidade instalada nas duas seções é de 889 MW, o suficiente para atender à demanda de uma cidade com cerca de dois milhões de habitantes. Seu sistema adutor capta água do Reservatório do Rio das Pedras, e a conduz até o pé da Serra do Mar, em Cubatão, aproveitando um desnível de cerca de 720 m (EMAE, 2001).

Em instalações de média queda (maioria dos projetos hidrelétricos brasileiros), os principais componentes da construção civil são a tomada d'água, as obras de proteção contra enchentes e o conduto hidráulico. As turbinas mais utilizadas são do tipo Francis, com velocidades de rotação entre 500 rpm e 750 rpm. No caso de velocidades mais baixas, pode-se usar um multiplicador de velocidade, a fim de se reduzirem os custos dos geradores.

Um exemplo desse tipo de barragem é o da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Figura 4.5), a maior hidrelétrica em operação no mundo, com uma potência instalada de 12.600 MW (18 unidades geradoras de 700 MW). As obras civis tiveram início em janeiro de 1975, e a usina en-

trou em operação comercial em maio de 1984. A última unidade geradora entrou em operação em abril de 1991. Atualmente, estão sendo instaladas mais duas unidades geradoras, o que aumentará sua capacidade nominal para 14.000 MW (ITAIPU, 2001).

Um modelo interessante e particular de barragem de média queda é o da Usina Hidrelétrica de Funil (Figura 4.6), localizada no Rio Paraíba do Sul, Município de Itatiaia – RJ. Construída na década de 60, a barragem é do tipo abóbada de concreto, com dupla curvatura, única no Brasil. Com uma capacidade nominal de 216 MW, sua operação teve início em 1969 (FURNAS, 2005).

Em instalações de baixa queda, a casa de força é integrada às obras de tomada d'água ou localizada a uma pequena distância. As turbinas são do tipo Kaplan ou Hélice, com baixa velocidade (entre 70 e 350 rpm). As obras civis podem ser reduzidas pelo uso de grupos axiais do tipo bulbo e o custo dos geradores também pode ser reduzido, com o uso de multiplicadores de velocidade.

No Brasil, um exemplo típico de aproveitamento hidrelétrico de baixa queda é o da Usina Hidrelétrica de Jupia (Figura 4.7), localizada no Rio Paraná, Município de Três Lagoas – SP. Com reservatório de 330 km<sup>2</sup>, a usina possui 14 turbinas Kaplan, totalizando uma potência instalada de 1.551 MW.

**FIGURA 4.4** Usina Hidrelétrica de Henry Borden (Cubatão – SP)



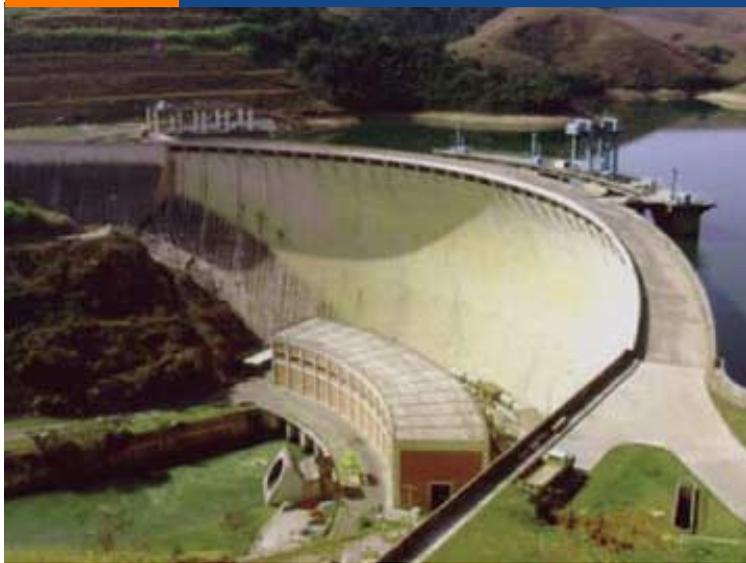
Foto: EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO - EMAE, 2001. (...) Disponível em [www.emaec.com.br](http://www.emaec.com.br).

**FIGURA 4.5** Vista panorâmica da Usina Hidrelétrica de Itaipu



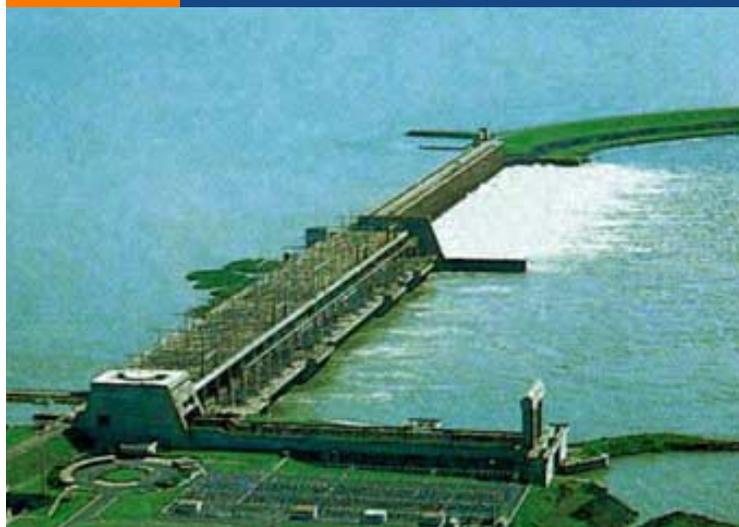
Foto: ITAIPU, 2001. Disponível em: [www.itaipu.gov.br/empresaport](http://www.itaipu.gov.br/empresaport).

FIGURA 4.6 Usina Hidrelétrica de Funil (Itatiaia – RJ)



Fonte: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS. Parque gerador. 2001. Disponível em [www.furnas.com.br](http://www.furnas.com.br).

FIGURA 4.7 Usina Hidrelétrica de Jupia (Três Lagoas – SP)



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. 2001.

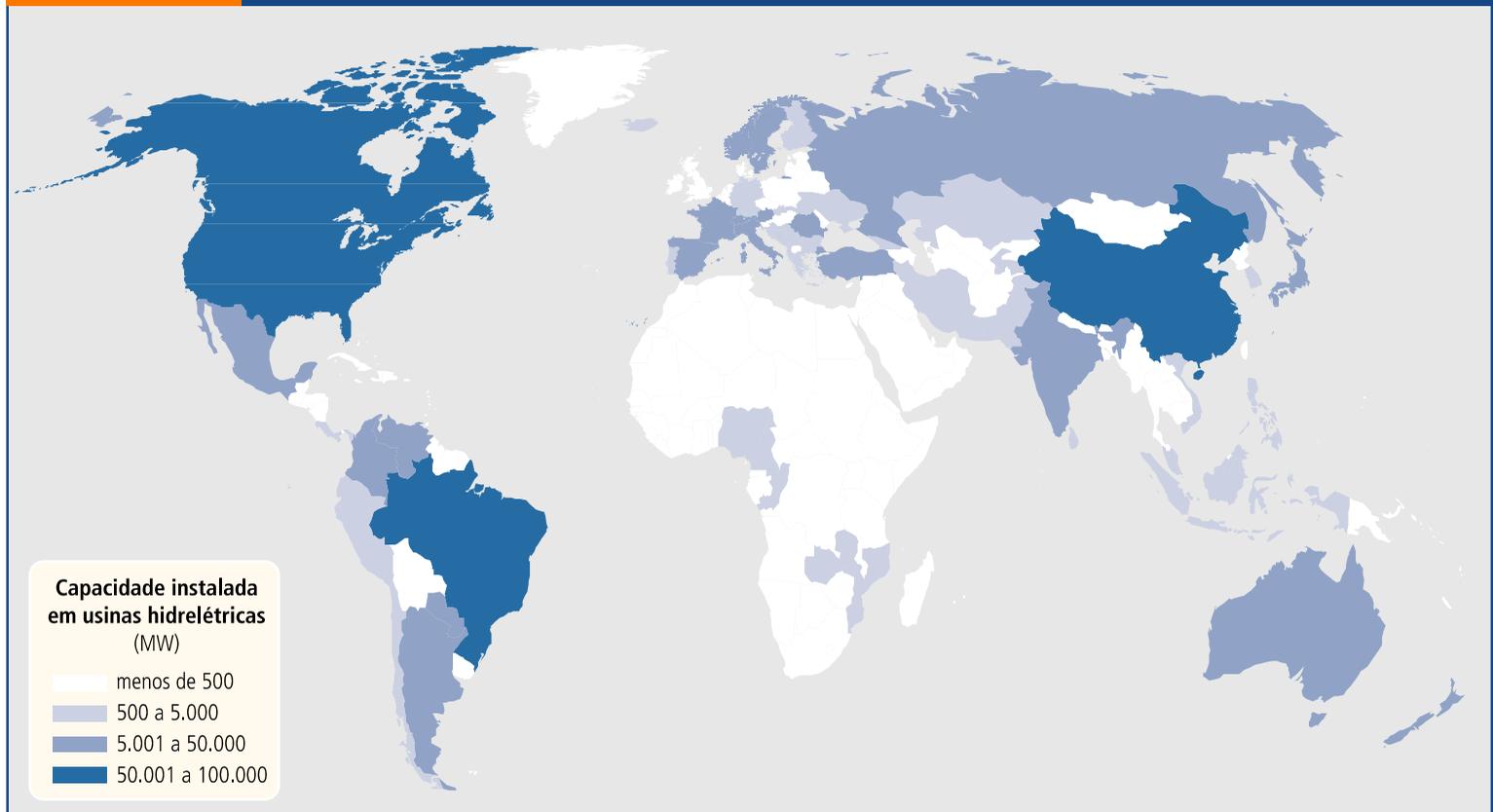
## 4.5. CAPACIDADE INSTALADA

Em termos absolutos, os cinco maiores produtores de energia hidrelétrica no mundo são Canadá, China, Brasil, Estados Unidos e Rússia, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 4.8. Em 2001, esses países foram responsáveis por quase 50% de toda a produção mundial de energia hidrelétrica (AIE, 2003).

Pouco menos de 60% da capacidade hidrelétrica instalada no Brasil está na Bacia do Rio Paraná. Outras bacias importantes são a do São Francisco e a do Tocantins, com 16% e 12%, respectivamente, da capacidade instalada no País. As bacias com menor potência instalada

são as do Atlântico Norte/Nordeste e Amazonas, que somam apenas 1,5% da capacidade instalada no Brasil (Tabela 4.3).

Na Bacia do Paraná, destacam-se as sub-bacias 60 (Rio Paranaíba), 61 (Grande), 64 (Parapanema) e 65 (Iguaçu), com índices que variam de 10,1% a 13,2% da capacidade instalada no País (Tabela 4.4). Na Bacia do São Francisco, destaca-se a sub-bacia 49 (rios São Francisco, Moxotó e outros), onde estão localizadas as usinas hidrelétricas de Xingó e Paulo Afonso IV, que somam juntas 5.460 MW de potência instalada. Na Bacia do Tocantins, destaca-se a sub-bacia 29, onde se localiza a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, cuja capacidade instalada poderá ser duplicada num futuro próximo. Uma ilustração da capacidade instalada em aproveitamentos hidrelétricos por sub-bacia hidrográfica é apresentada na Figura 4.9.

**FIGURA 4.8** Capacidade instalada em usinas hidrelétricas no mundo – 1999

Fonte: Elaborado com base em dados de THE INTERNATIONAL JOURNAL ON HYDROPOWER & DAMS – IJHD. World Atlas & Industry Guide. 2000.

**TABELA 4.3** Capacidade instalada por bacia hidrográfica (MW) – situação em março de 2003

Bacia	Código	Capacidade Instalada (MW)	
Bacia do Rio Amazonas	1	667,30	1,0%
Bacia do Rio Tocantins	2	7.729,65	11,7%
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3	300,92	0,5%
Bacia do Rio São Francisco	4	10.289,64	15,5%
Bacia do Atlântico Leste	5	2.589,00	3,9%
Bacia do Rio Paraná	6	39.262,81	59,3%
Bacia do Rio Uruguai	7	2.859,59	4,3%
Bacia do Atlântico Sudeste	8	2.519,32	3,8%
<b>Brasil</b>	-	<b>66.218,23</b>	<b>100%</b>

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro - SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

TABELA 4.4 Capacidade instalada por sub-bacia hidrográfica (MW) – situação em março de 2003

Bacia	Código	Capacidade Instalada (MW)	
Rio Solimões, Javari, Itaquaí	10	0	0,0%
Rio Solimões, Içá, Jandiatuba e Outros	11	0	0,0%
Rio Solimões, Juruá, Japurá e Outros	12	0	0,0%
Rio Solimões, Purus, Coari e Outros	13	0	0,0%
Rio Solimões, Negro, Branco e Outros	14	0	0,0%
Rio Amazonas, Madeira, Guaporé e Outros	15	366,36	0,6%
Rio Amazonas, Trombetas e Outros	16	255	0,4%
Rio Amazonas, Tapajós, Juruena e Outros	17	14,02	0,0%
Rio Amazonas, Xingu, Iriti, Paru	18	31,92	0,0%
Rio Amazonas, Jari, Pará e Outros	19	0	0,0%
Rio Tocantins, Maranhão, Almas e Outros	20	1.276,57	1,9%
Rio Tocantins, Paranã, Palma e Outros	21	510,80	0,8%
Rio Tocantins, M. Alves, Sono e Outros	22	933,57	1,4%
Rio Tocantins, M. Alves Grande	23	1,03	0,0%
Rio Araguaia, Caiapó, Claro e Outros	24	2,28	0,0%
Rio Araguaia, Crixas-Açu, Peixe	25	0	0,0%
Rio Araguaia, Mortes, Javaés e Outros	26	12,60	0,0%
Rio Araguaia, Coco, Pau D'arco e Outros	27	0	0,0%
Rio Araguaia, Muricizal, Lontra	28	2,8	0,0%
Rio Tocantins, Itacaiúnas e Outros	29	4.990	7,5%
Rios Oiapoque, Araguari e Outros	30	68	0,1%
Rios Meruú, Acará, Guama e Outros	31	0	0,0%
Rios Gurupi, Turiaçu e Outros	32	0	0,0%
Rios Mearim, Itapecuru e Outros	33	0	0,0%
Rio Paraíba	34	225	0,3%
Rios Acaraú, Piranji e Outros	35	4,4	0,0%
Rio Jaguaribe	36	0	0,0%
Rios Apodi, Piranhas e Outros	37	3,52	0,0%
Rios Paraíba, Potengi e Outros	38	0	0,0%
Rios Capibaribe, Mundaú e Outros	39	0	0,0%
Rios São Francisco, Paraopeba e Outros	40	416,08	0,6%
Rios São Francisco, Das Velhas	41	13,36	0,0%
Rios São Francisco, Paracatu e Outros	42	0	0,0%
Rios São Francisco, Urucuia e Outros	43	0	0,0%
Rios São Francisco, Verde, Grande	44	4,2	0,0%
Rios São Francisco, Carinhanha	45	9	0,0%
Rios São Francisco, Grande e Outros	46	10	0,0%
Rios São Francisco, Jacaré e Outros	47	1.050	1,6%
Rios São Francisco, Pajeú e Outros	48	0	0,0%

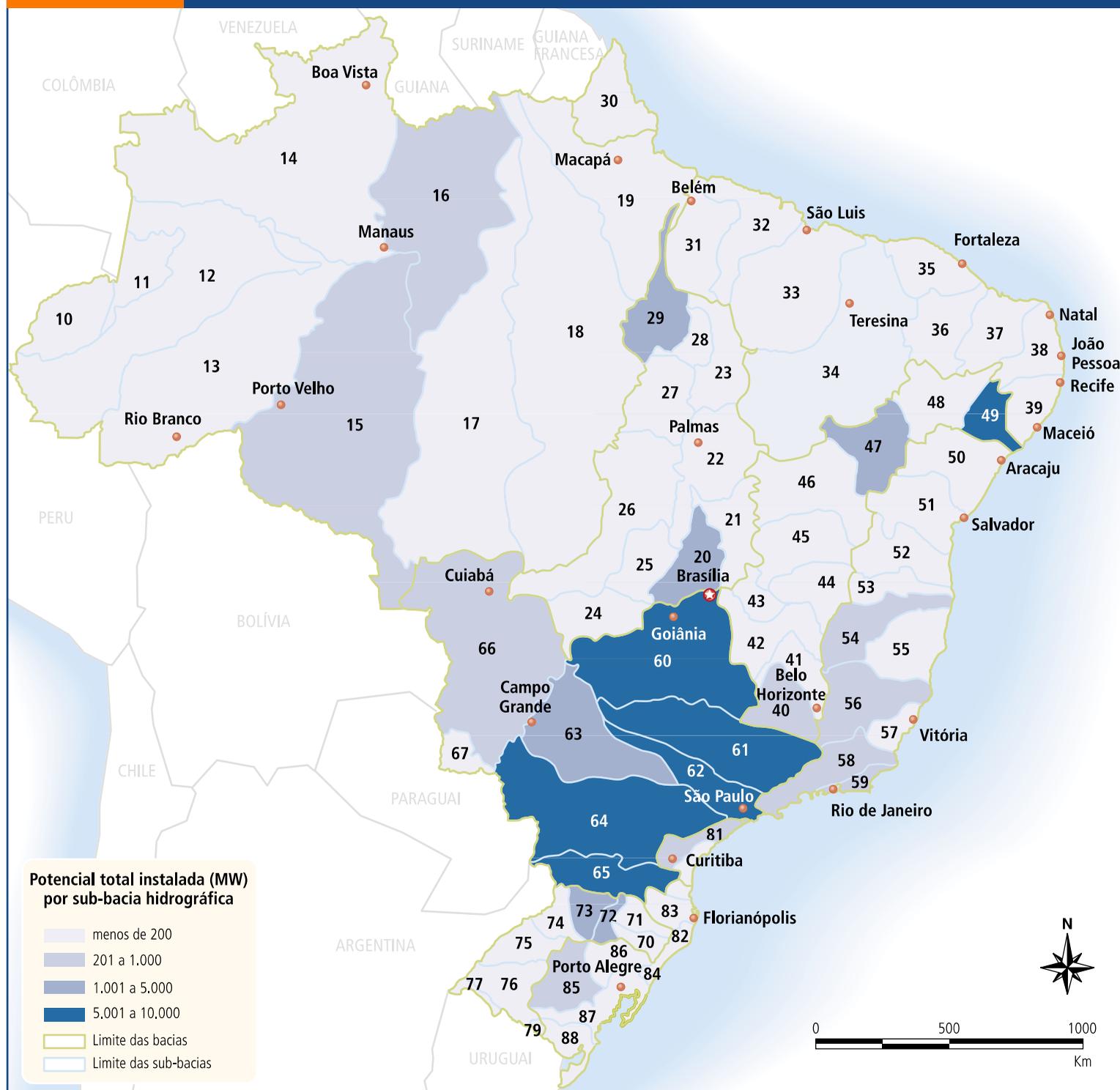
## Capacidade instalada por sub-bacia hidrográfica (MW) – situação em março de 2003 (cont.)

Bacia	Código	Capacidade Instalada (MW)	
Rios São Francisco, Moxotó e Outros	49	8.787	13,3%
Rios Vaza-Barris, Itapicuru e Outros	50	0	0,0%
Rios Paraguaçu, Jequiriça e Outros	51	0	0,0%
Rio de Contas	52	53	0,1%
Rios Pardo, Cachoeira e Outros	53	0	0,0%
Rio Jequitinhonha	54	451,48	0,7%
Rios Mucuri, São Mateus e Outros	55	60	0,1%
Rio Doce	56	648,02	1,0%
Rios Itapemirim, Itabapoana e Outros	57	133,84	0,2%
Rio Paraíba do Sul	58	607,96	0,9%
Rios Macaé, São João e Outros	59	634,7	1,0%
Rio Paranaíba	60	7.166,67	10,8%
Rio Grande	61	7.722,13	11,7%
Rios Paraná, Tietê e Outros	62	5.385,52	8,1%
Rios Paraná, Pardo e Outros	63	3.029,30	4,6%
Rios Paraná, Paranapanema e Outros	64	8.766,73	13,2%
Rios Paraná, Iguazu e Outros	65	6.692,70	10,1%
Rios Paraguai, São Lourenço e Outros	66	498,96	0,8%
Rios Paraguai, Apa e Outros	67	0	0,0%
Rios Paraná, Corrientes e Outros	68	0	0,0%
Rios Paraná, Tercero e Outros	69	0,8	0,0%
Rio Pelotas	70	0,2	0,0%
Rio Canoas	71	14,03	0,0%
Rios Uruguai, do Peixe e Outros	72	1.145,46	1,7%
Rios Uruguai, Chapecó e Outros	73	1.690,59	2,6%
Rios Uruguai, da Várzea e Outros	74	4,13	0,0%
Rios Uruguai, Ijuí e Outros	75	5,18	0,0%
Rios Uruguai, Ibicuí e Outros	76	0	0,0%
Rios Uruguai, Quaraí e Outros	77	0	0,0%
Rios Uruguai e Outros	78	0	0,0%
Rio Uruguai, Negro e Outros	79	0	0,0%
Rios Itapanhaú, Itanhaém e Outros	80	902,4	1,4%
Rio Ribeira do Iguape	81	456,5	0,7%
Rios Nhundiaquara, Itapocu e Outros	82	81,25	0,1%
Rio Itajaí-Açu	83	44,15	0,1%
Rios Tubarão, Ararangua e Outros	84	8,6	0,0%
Rio Jacuí	85	963,75	1,5%
Rio Taquari	86	5,66	0,0%
Lagoa dos Patos	87	57,01	0,1%
Lagoa Mirim	88	0	0,0%

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

FIGURA 4.9

Capacidade instalada por sub-bacia hidrográfica - situação em março de 2003



Fonte: Elaborado com base em dados das CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.  
 Nota: Os números correspondem aos códigos das sub-bacias, como indicado na Tabela 4.4.

Em termos de esgotamento dos potenciais, verifica-se que as bacias mais saturadas são a do Paraná e a do São Francisco, com índices de aproveitamento (razão entre potencial aproveitado e potencial existente) de 64,5% e 39,2%, respectivamente (Tabela 4.5). As menores taxas de aproveitamento são verificadas nas bacias do Amazonas e Atlântico

Norte/Nordeste. Em nível nacional, cerca de 25,6% do potencial hidrelétrico estimado já foi aproveitado. Em relação ao potencial inventariado, essa proporção aumenta para 37,3%. A Figura 4.10 ilustra os índices de aproveitamento dos potenciais hidráulicos brasileiros por sub-bacia hidrográfica.

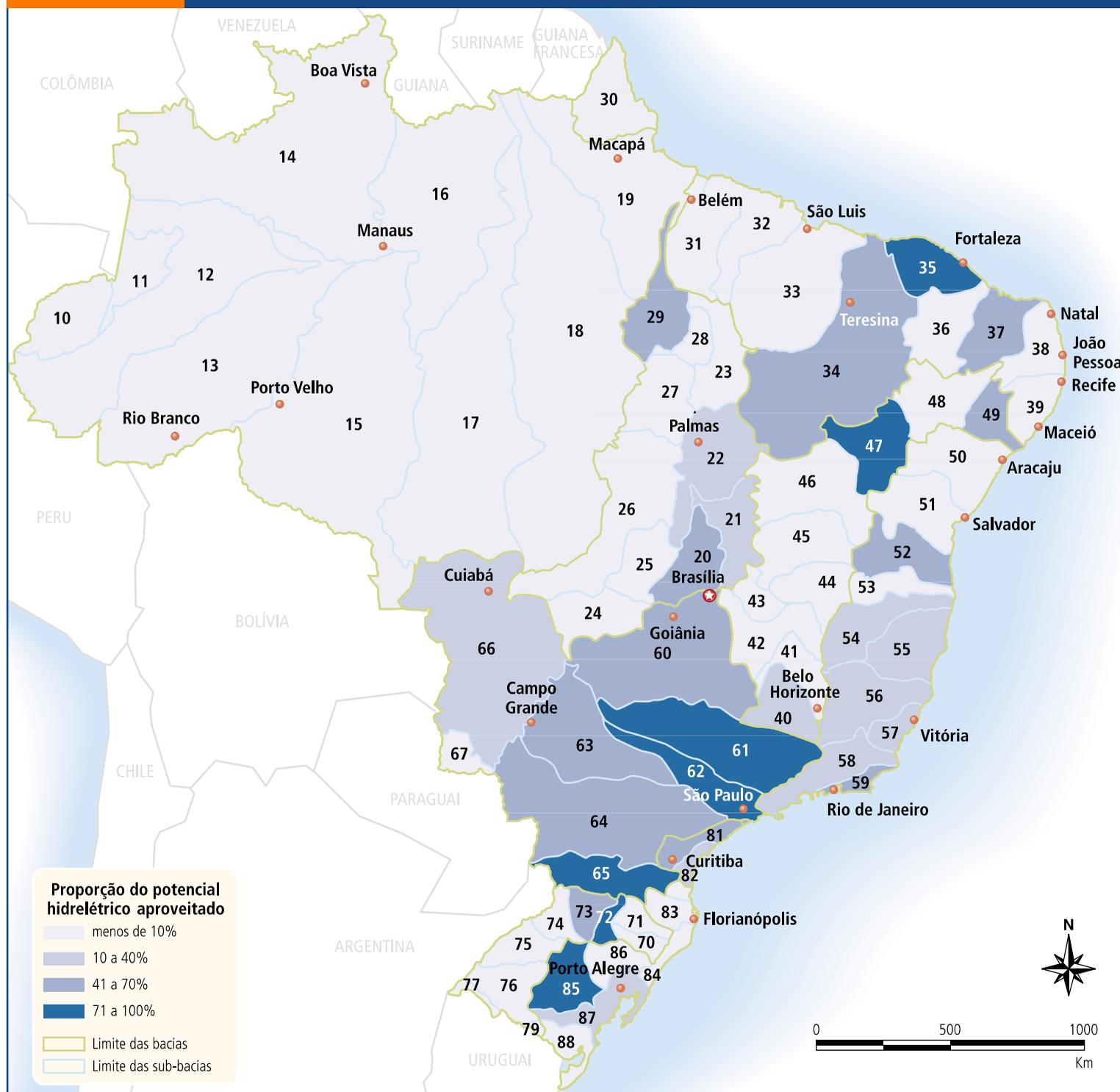
**TABELA 4.5** Índices de aproveitamento por bacia - situação em março de 2003

Bacia	Código	Inventariado (MW) [a]	Inventariado + Estimado (MW) [b]	Capacidade Instalada (MW) [c]	Índices de aproveitamento [c/a]	Índices de aproveitamento [c/b]
Bacia do Rio Amazonas	1	40.883,07	105.047,56	667,30	1,6%	0,6%
Bacia do Rio Tocantins	2	24.620,65	26.639,45	7.729,65	31,4%	29,0%
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	3	2.127,85	3.198,35	300,92	14,1%	9,4%
Bacia do Rio São Francisco	4	24.299,84	26.217,12	10.289,64	42,3%	39,2%
Bacia do Atlântico Leste	5	12.759,81	14.539,01	2.589,00	20,3%	17,8%
Bacia do Rio Paraná	6	53.783,42	60.902,71	39.262,81	73,0%	64,5%
Bacia do Rio Uruguai	7	11.664,16	12.815,86	2.859,59	24,5%	22,3%
Bacia do Atlântico Sudeste	8	7.296,77	9.465,93	2.519,32	34,5%	26,6%
Brasil	-	177.435,57	258.825,99	66.218,23	37,3%	25,6%

Fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

FIGURA 4.10

Índice de aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro - situação em março de 2003



Fonte: Elaborado a partir de CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003.

Nota: Os números correspondem aos códigos das sub-bacias, como indicado na Tabela 4.4.

Os baixos índices de aproveitamento da Bacia do Amazonas são devidos ao relevo predominante da região (planícies), à sua grande diversidade biológica e à distância dos principais centros consumidores de energia. Já na região centro-sul do País, o desenvolvimento econômico muito mais acelerado e o relevo predominante (planaltos) levaram a um maior aproveitamento dos seus potenciais hidráulicos. Mas o processo de interiorização do País e o próprio esgotamento dos melhores potenciais das regiões Sul e Sudeste têm requerido um maior aproveitamento hidráulico de regiões mais remotas e economicamente menos desenvolvidas.

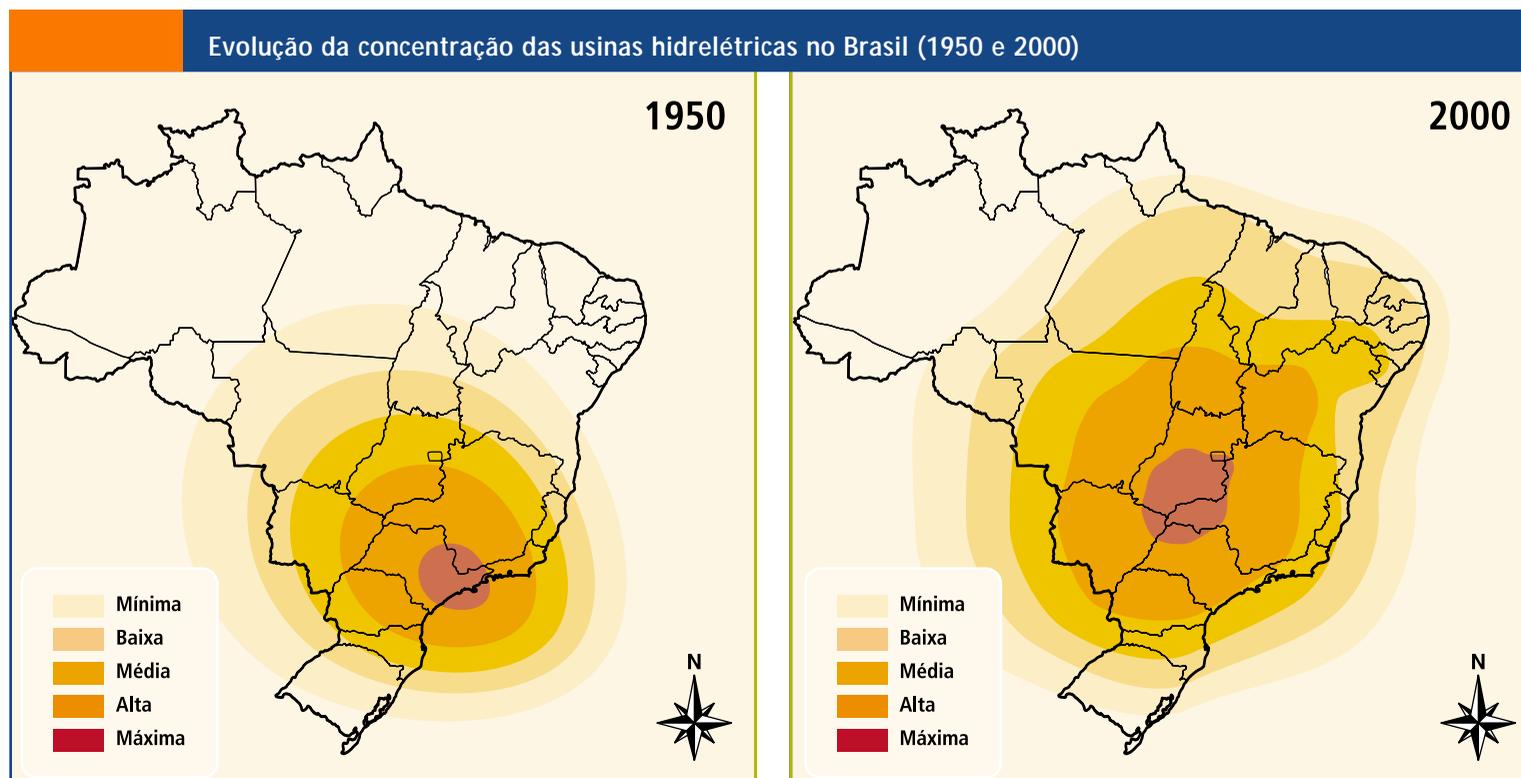
Na primeira metade do século XX, a grande maioria dos projetos hidrelétricos foi instalada na Região Sudeste. No período de 1945 a 1970, os empreendimentos se espalharam mais em direção ao Sul e ao Nordeste, com destaque para os Estados do Paraná e de Minas Gerais. Entre 1970 e meados dos anos 1980, espalharam-se por diversas regiões do País, graças ao aprimoramento de tecnologias de transmissão de energia elétrica em grandes blocos e distâncias. Nesse mesmo período, verificou-se também uma forte concentração de projetos na zona de transição entre as regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde estão duas importantes sub-bacias do Paraná (Grande e Paranaíba). Mais recentemente, têm-se destacado as regiões Norte e Centro-Oeste, principalmente o Estado de Mato Grosso.

A Figura 4.11 ilustra melhor a evolução da concentração dos empreendimentos hidrelétricos no País. Como se observa, até 1950, as usinas estavam concentradas próximas ao litoral, entre os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Atualmente, há uma dispersão mais acentuada, cujo centro de massa está localizado entre os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás.

## 4.6. CENTRAIS HIDRELÉTRICAS EM OPERAÇÃO NO BRASIL

Em setembro de 2003, havia registro de 517 centrais hidrelétricas em operação no Brasil, das quais 378 eram empreendimentos de pequeno porte – micro e pequenas centrais hidrelétricas. Como indicado na Tabela 4.6, as usinas acima de 30 MW correspondem a 98,4% da capacidade hidrelétrica instalada no País.

Conforme ilustra a Figura 4.12, a maioria das grandes centrais hidrelétricas brasileiras está localizada na Bacia do Paraná, notadamente nas sub-bacias do Paranaíba, Grande e Iguaçu. Entre as demais, destacam-se Tucuruí, no Rio Tocantins, e Sobradinho, Paulo Afonso e Xingó, no Rio São Francisco (Anexo 3-A).



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. 2001.

**TABELA 4.6** Distribuição das centrais hidrelétricas em operação por faixa de potência - situação em setembro de 2003

Faixa de Potência	Número de usinas	Potência	
		MW	%
UHE (acima 30 MW)	139	69.563	98,40
PCH (de 1 até 30 MW, inclusive)	230*	1.048	1,48
CGH (até 1 MW, inclusive)	148	81	0,12
<b>Total</b>	<b>517</b>	<b>70.693**</b>	<b>100</b>

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

(\*) Ressalta-se que existem mais empreendimentos com características de PCH, os quais foram outorgados anteriormente à Lei 9.648, de maio de 1998 e, portanto, não enquadrados nessa categoria.

(\*\*) Esta cifra aqui apresentada não coincide com aquela mencionada nas tabelas 4.3 e 4.5 em função das datas em que os dados foram extraídos das fontes e de diferenças na forma de contabilização.

O marco legal do setor elétrico, ao introduzir incentivos aos empreendedores interessados, tem estimulado a multiplicação de aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte e baixo impacto ambiental no Brasil. Esses empreendimentos procuram atender a demandas próximas aos centros de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão e em pontos marcados pela expansão agrícola nacional, promovendo o desenvolvimento de regiões remotas do País. Os Anexos 3-B e 3-C apresentam a relação dessas centrais.

Como ilustrado nas Figuras 4.13 e 4.14, a maioria dos pequenos aproveitamentos hidrelétricos se localiza nas regiões Sul e Sudeste, nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste, próximo aos grandes centros consumidores de energia elétrica.

O Anexo 4 apresenta um diagrama topológico das usinas hidrelétricas existentes no Brasil.

## 4.7. FUTUROS PROJETOS HIDRELÉTRICOS NO BRASIL

Apesar da participação crescente de outras fontes na geração de energia elétrica, a hidroeletricidade continua sendo muito importante na expansão do setor elétrico brasileiro. Somando-se a potência nominal dos empreendimentos em construção e daqueles apenas outorgados (construção não iniciada até setembro de 2003), verifica-se que a energia hidráulica poderá adicionar ao sistema elétrico nacional cerca de 13.213 MW, nos próximos anos.

No Anexo 3-D consta a relação das UHEs em construção ou apenas outorgadas, as quais poderão adicionar ao sistema elétrico 10.166 MW, com 46 novos empreendimentos. Quanto aos 232 futuros em-

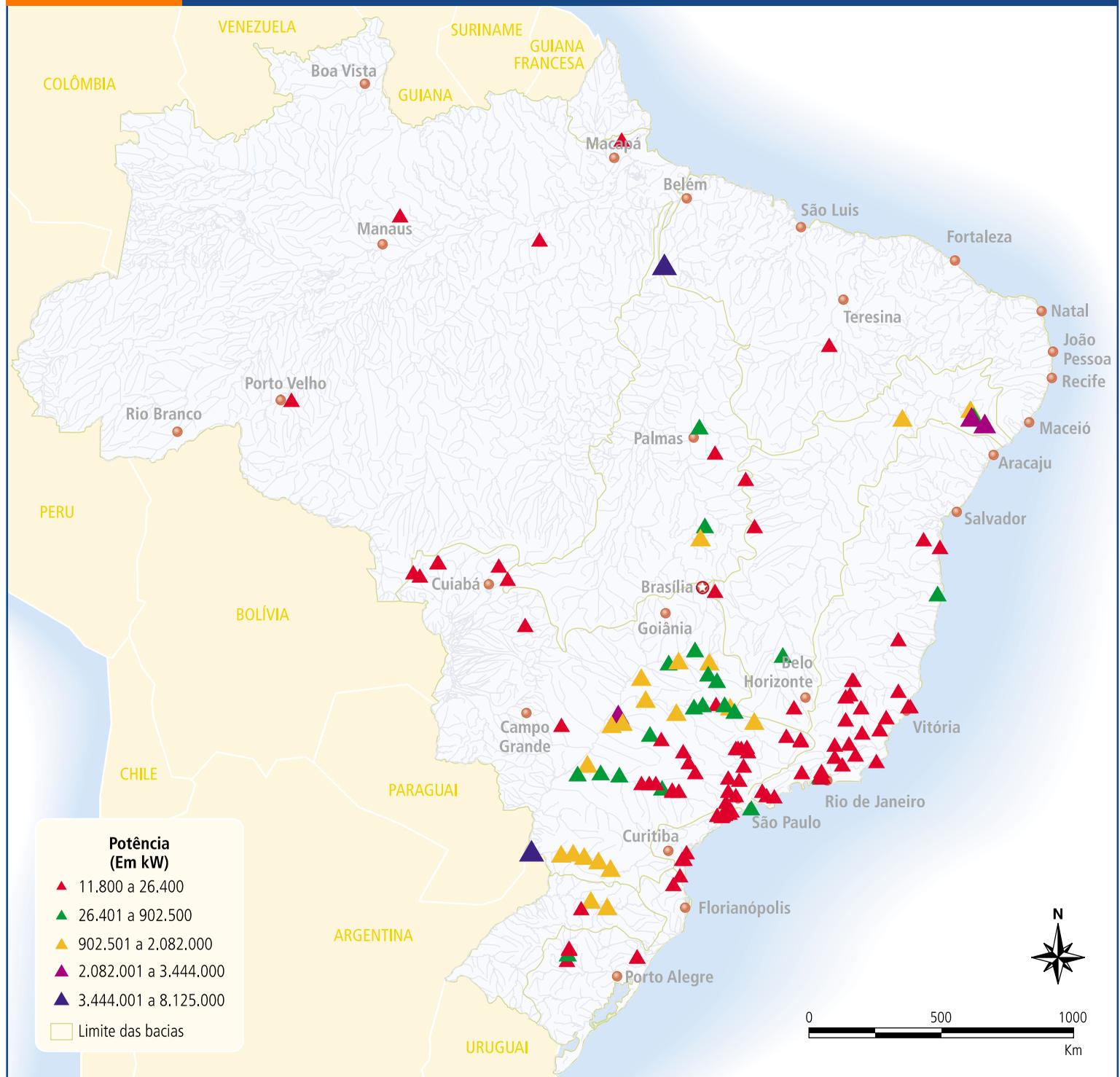
preendimentos de pequeno porte (Anexo 3-E), estes devem somar 3.046 MW. A Figura 4.15 mostra a localização desses futuros empreendimentos.

## 4.8. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DOS EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS BRASILEIROS

Em 04 de dezembro de 1998, a ANEEL publicou a Resolução nº 396 que estabeleceu as condições para a implantação, operação e manutenção de estações fluviométricas e pluviométricas associadas aos empreendimentos hidrelétricos. Teve por objetivo obter dados consistentes sobre os regimes de operação dos reservatórios.

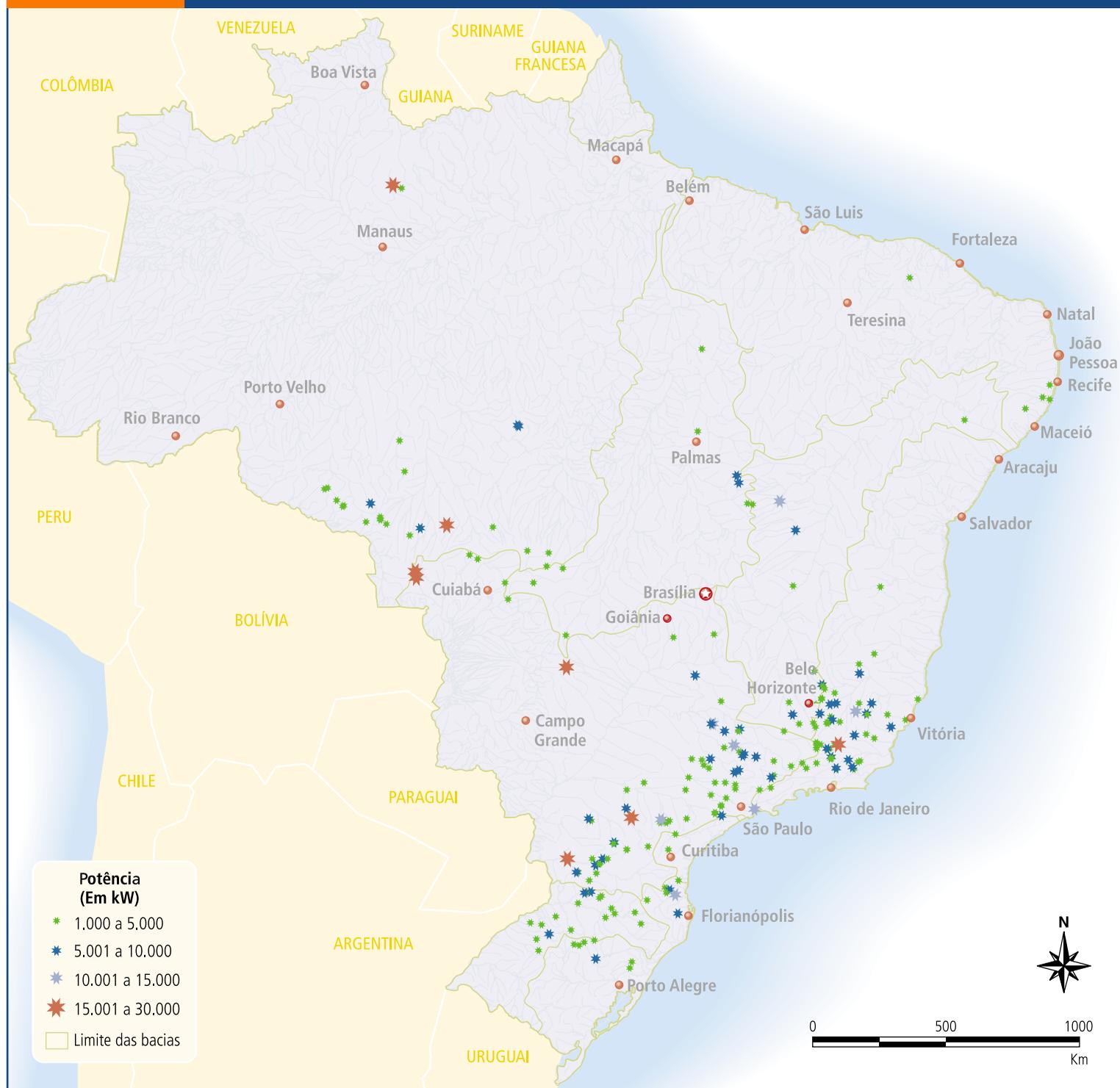
Os dispositivos dessa Resolução são baseados na área incremental dos aproveitamentos hidroelétricos, que é a área de drenagem, desconsideradas as áreas dos empreendimentos de montante. Em função da dimensão desta área incremental, as empresas devem instalar um quantitativo de estações hidrométricas. Este quantitativo pode variar de uma estação fluviométrica convencional a 7 (sete) estações fluviométricas e pluviométricas com telemetria. A Resolução prevê, ainda, que usinas hidrelétricas com áreas inundadas maiores que 3 km<sup>2</sup> devem instalar uma estação fluviométrica telemétrica, de forma a monitorar o nível do reservatório.

O Sistema de Monitoramento Hidrológico dos Empreendimentos Hidrelétricos atualmente possui o cadastro de 252 empresas, 646 usinas hidrelétricas e mais de 1100 estações hidrométricas, dentre as quais uma grande parcela já está disponibilizando dados hidrológicos, representando o monitoramento de mais de 90% de toda a potência instalada no País. A Figura 4.16 mostra a abrangência deste monitoramento em todo o País.

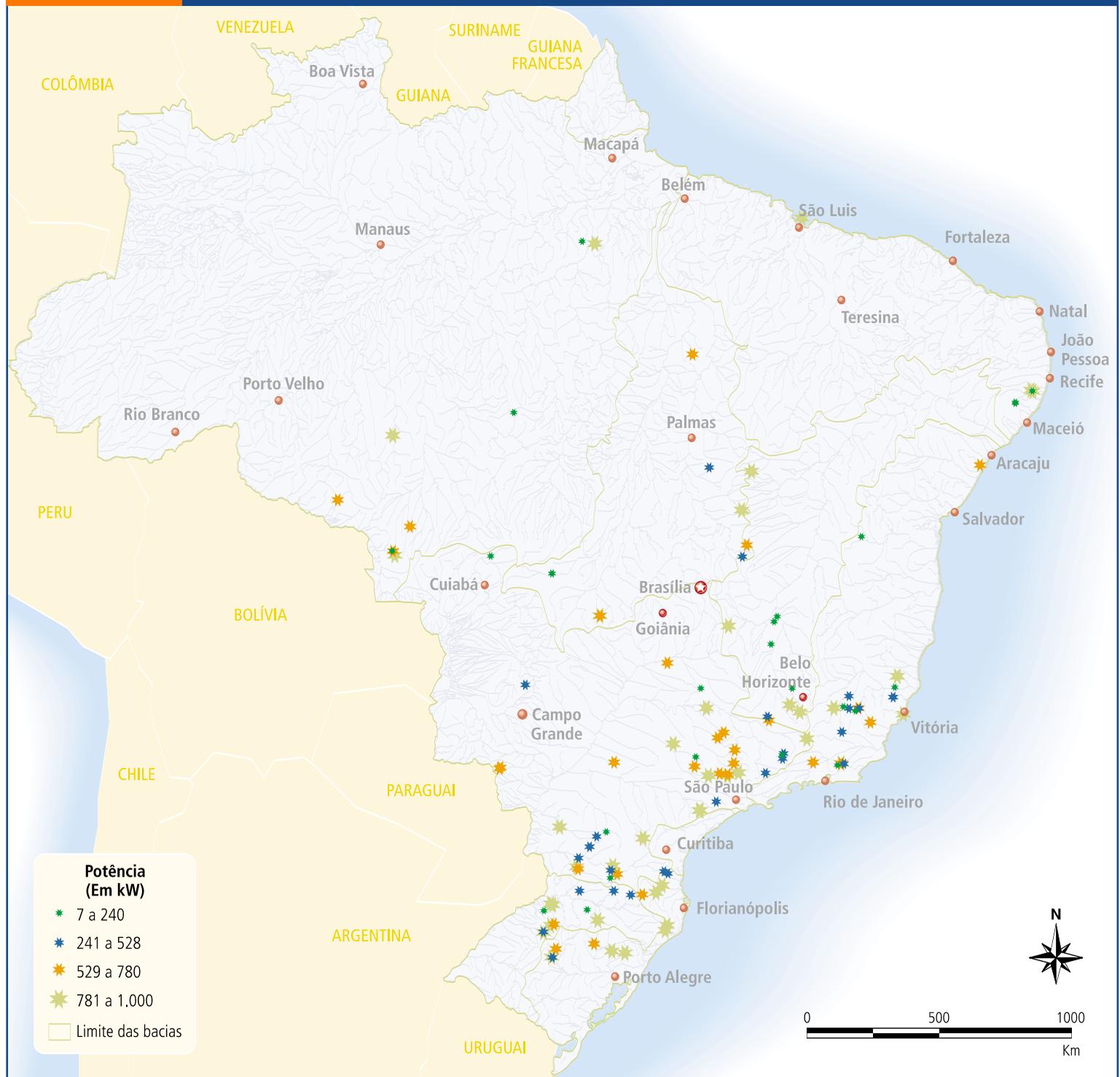
**FIGURA 4.12** Usinas hidrelétricas (UHEs) em operação no País – situação em setembro de 2003


Fonte: Elaborado com base em dados da AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**FIGURA 4.13** Localização das PCHs em operação no Brasil – situação em setembro de 2003

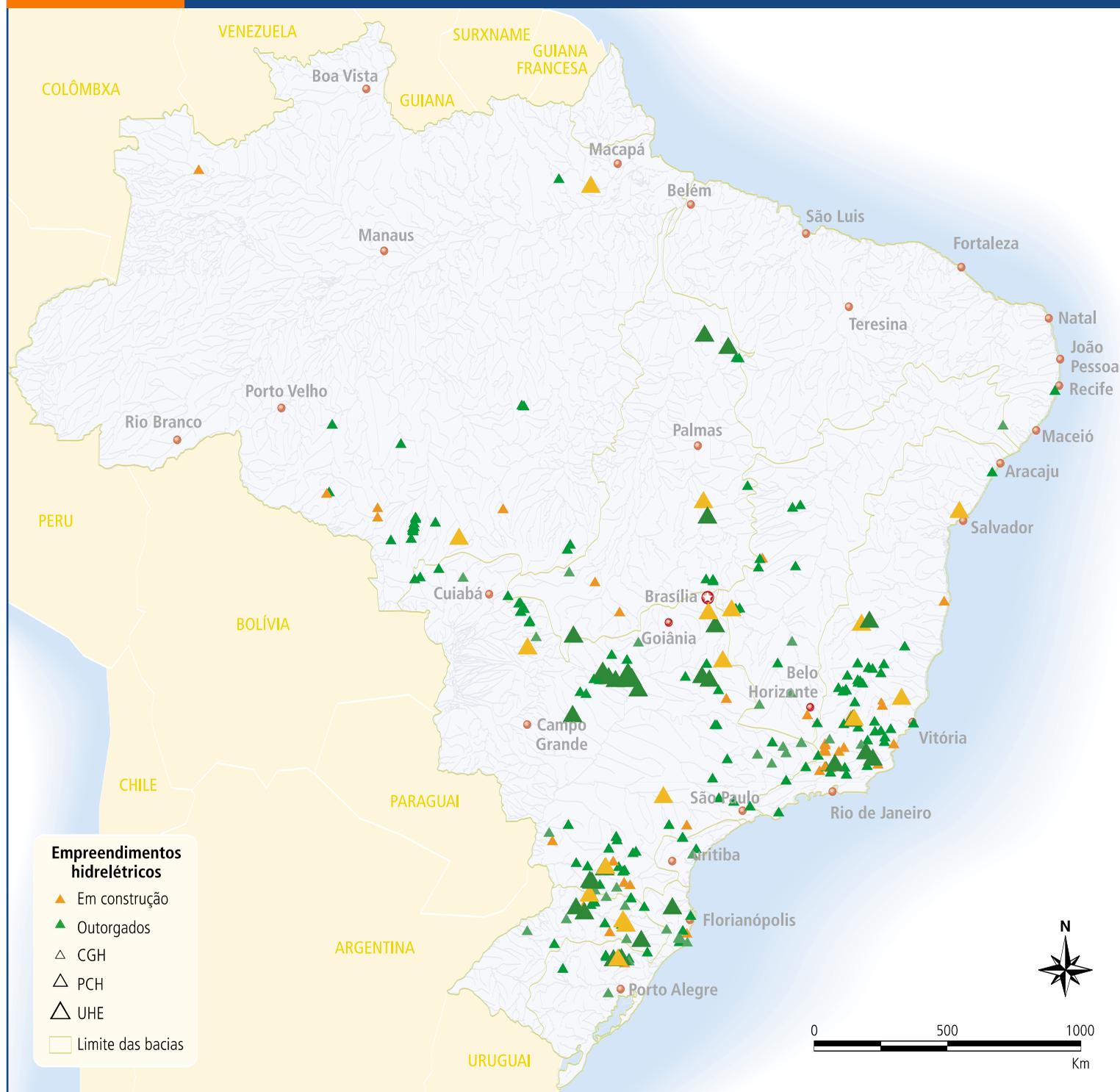


Fonte: Elaborado a partir de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**FIGURA 4.14** Localização das CGHs em operação no Brasil – situação em setembro de 2003


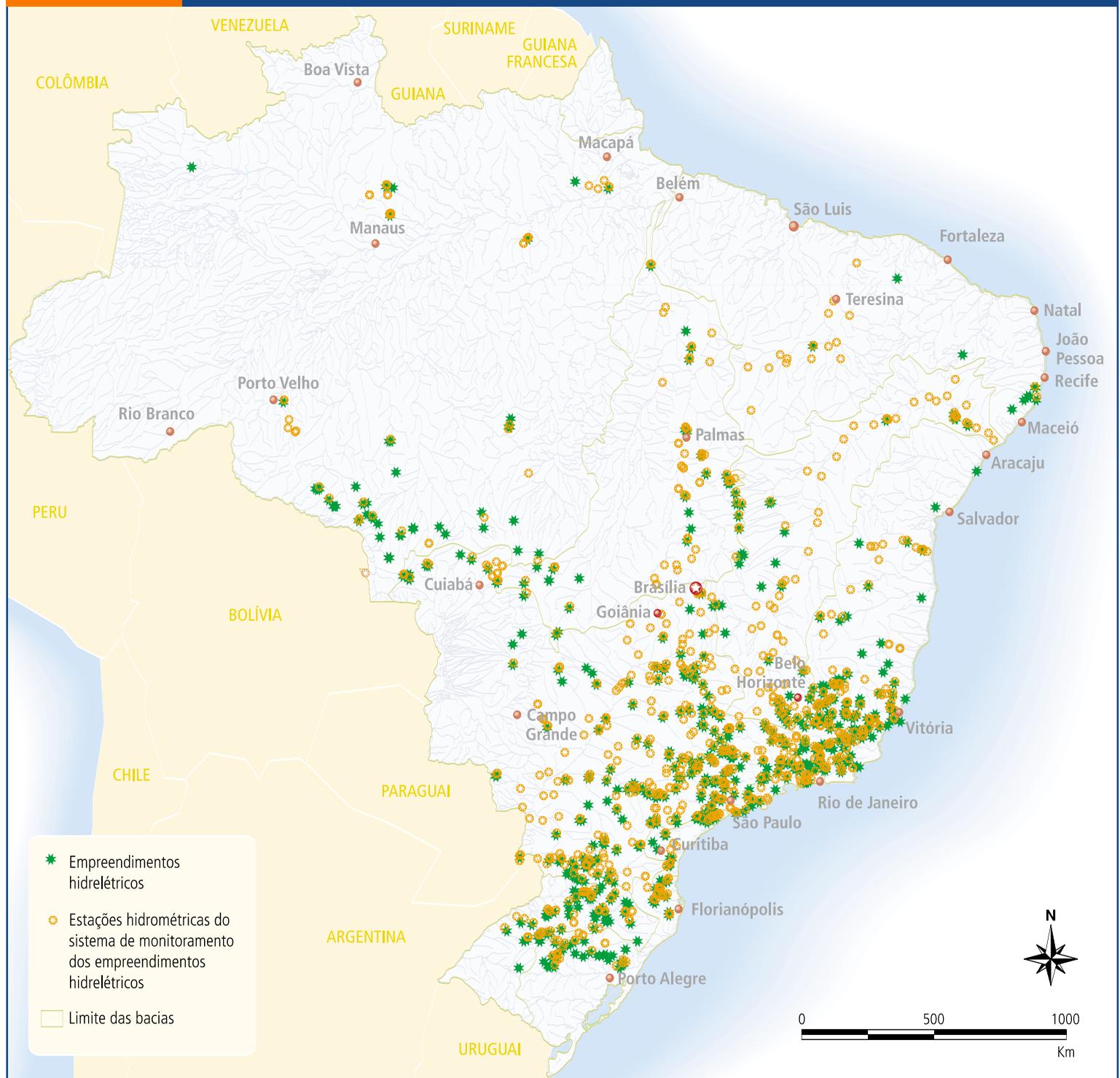
Fonte: Elaborado com base em dados da AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**FIGURA 4.15** Futuros Empreendimentos Hidrelétricos – situação em setembro de 2003



Fonte: Elaborado a partir de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**FIGURA 4.16** Estações Hidrométricas do sistema de monitoramento hidrológico dos aproveitamentos hidrelétricos



Fonte: Elaborado com base em dados da AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

## 4.9. REDE HIDROMETEOROLÓGICA BÁSICA

A rede hidrometeorológica básica foi instalada para viabilizar o levantamento de informações necessárias aos estudos e projetos que demandam o conhecimento das disponibilidades hídricas e potenciais hidráulicos das bacias hidrográficas brasileiras, assim como para permitir o cálculo das séries de vazões naturais médias mensais nos locais de aproveitamentos, visando ao planejamento energético e simulações relativas aos sistemas elétricos do País (ANA, 2003).

A responsabilidade pelas estações hidrometeorológicas da rede básica em todo território brasileiro, assim como a inserção dos dados no Sistema de Informações Hidrológicas são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). As Figuras 4.17 e 4.18 mostram a abrangência desse monitoramento em todo País. Das estações fluviométricas, aproximadamente 1.769 estão em operação e 1.519 desativadas. Das pluviométricas, 2.501 estão em operação e 1.020 desativadas (situação em outubro de 2003).

## 4.10. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS

O aproveitamento de potenciais hidráulicos para a geração de energia elétrica requer, muitas vezes, a formação de grandes reservatórios e, conseqüentemente, a inundação de grandes áreas. Na maioria dos casos, trata-se de áreas produtivas e/ou de grande diversidade biológica, o que exige, previamente, a realocação de grandes contingentes de pessoas e animais silvestres.

A formação de reservatórios de acumulação de água e regularização de vazões, por sua vez, provoca alterações no regime das águas e a forma-

ção de microclimas, favorecendo certas espécies (não necessariamente as mais importantes) e prejudicando ou até mesmo extinguindo outras. Entre as espécies nocivas à saúde humana, destacam-se parasitas e transmissores de doenças endêmicas, como a malária e a esquistossomose.

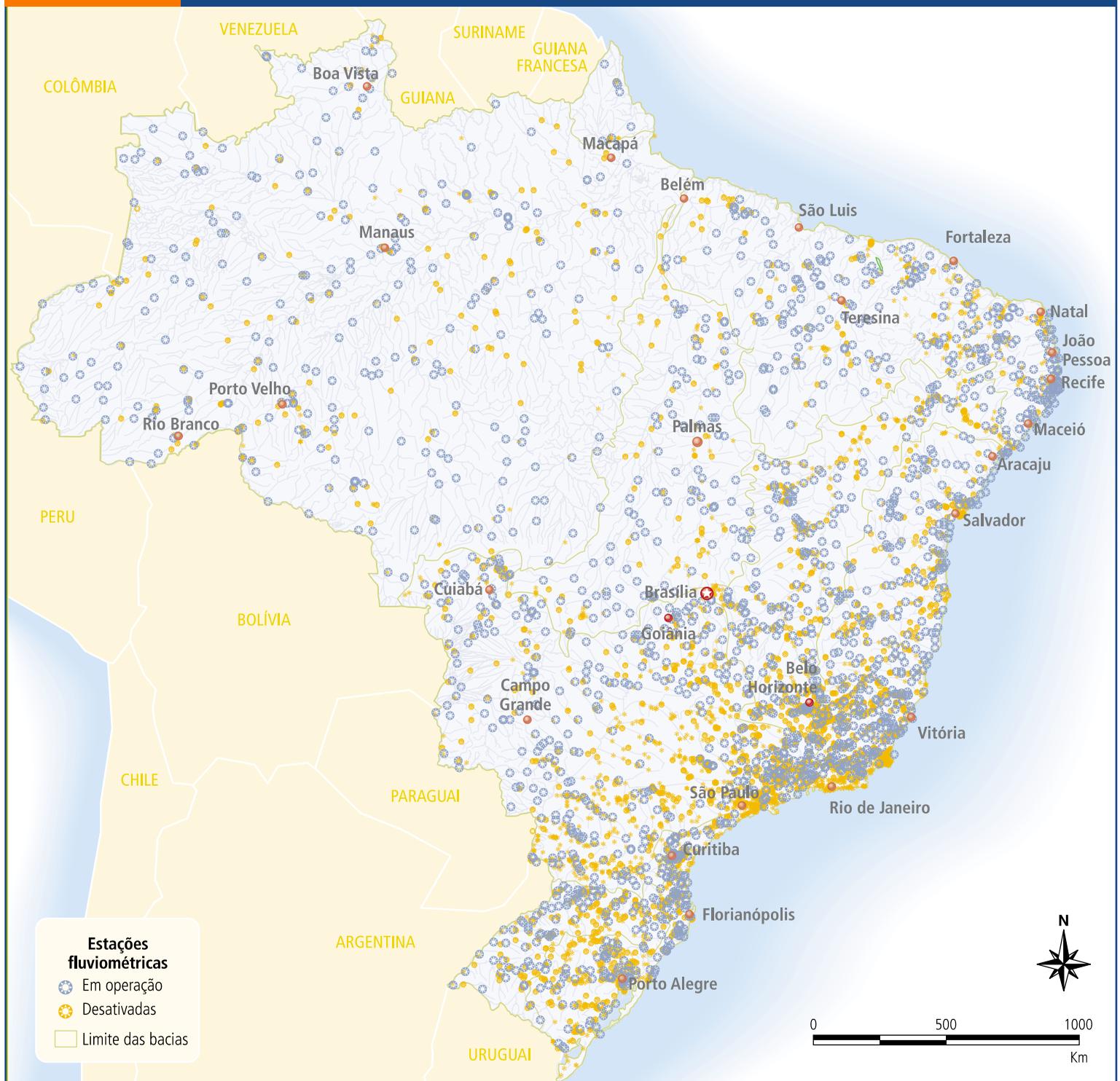
Dois exemplos internacionais de graves problemas decorrentes de empreendimentos hidrelétricos são Akossombo (Gana) e Assuan (Egito). Além de alterações de ordem hídrica e biológica, esses projetos provocaram o aumento da prevalência da esquistossomose mansônica, que em ambos os casos ultrapassou o índice de 70% da população local e circunvizinha, entre outros transtornos de ordem cultural, econômica e social (ANDREAZZI, 1993).

Há também os perigos de rompimento de barragens e outros acidentes correlatos, que podem causar problemas de diversas ordens e dimensões. Um exemplo clássico é o de Macchu, na Índia, onde 2.500 pessoas pereceram, em razão da falha de uma barragem em 1979 (ELETRONUCLEAR, 2001). Por tudo isso é necessário realizar estudos prévios e medidas preventivas a respeito do impacto sócioambiental potencial decorrente da implantação de um determinado empreendimento hidrelétrico.

No Brasil, há vários exemplos de grandes impactos socioambientais decorrentes de empreendimentos hidrelétricos, como Tucuruí e Balbina, na Amazônia, e Sobradinho, no Nordeste do País.

É importante ressaltar, porém, que esses e outros impactos indesejáveis não são entraves absolutos à exploração dos potenciais remanescentes. Primeiramente, porque os maiores aproveitamentos já foram realizados. Em segundo lugar, porque esses impactos podem ser evitados ou devidamente mitigados com estudos prévios (geológicos, hidrológicos e socioambientais), exigidos pelo poder concedente e pelos órgãos legislativos.

**FIGURA 4.17** Estações Fluviométricas da rede hidrometeorológica básica nacional – situação em outubro de 2003



Fonte: Elaborado com base em dados da AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, HidroWeb - Sistemas de Informações Hidrológicas, 2003. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>.

**FIGURA 4.18** Estações Pluviométricas da rede hidrometeorológica básica nacional – situação em outubro de 2003



Fonte: Elaborado com base em dados da AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. HidroWeb - Sistemas de Informações Hidrológicas. 2003. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>.

Os graves e indesejados impactos de grandes hidrelétricas do passado tiveram como efeito positivo a incorporação da variável ambiental e de outros aspectos no planejamento do setor elétrico, principalmente na construção de novos empreendimentos.

Também é importante mencionar a existência de ações atuais de mitigação de impactos causados no passado, que já se tornaram atividade importante de muitas empresas, por força da lei ou espontaneamente. Outro aspecto a ser mencionado é que impactos negativos inevitáveis podem (e devem) ser devidamente compensados por impactos positivos. Além da geração de energia elétrica, um empreendimento hidrelétrico pode proporcionar uma série de outros benefícios, como contenção de cheias, transporte hidroviário, turismo/recreação etc.

## 4.11. COMPENSAÇÃO FINANCEIRA E ROYALTIES

Na Constituição Federal, o artigo 20 define como bens da União, entre outros, os potenciais de energia hidráulica. Seu parágrafo primeiro assegura participação dos Estados, Distrito Federal, Municípios e Órgãos da administração direta da União, no resultado da exploração de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, ou a compensação financeira por esta exploração.

Nesse contexto foram estabelecidos, como pagamento pela exploração de recursos hídricos, os *royalties* para a Itaipu Binacional<sup>(11)</sup> e, para as demais concessionárias e empresas autorizadas<sup>(12)</sup>, a Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos.

O gerenciamento do recolhimento dos recursos, assim como da distribuição entre os beneficiários, é feito pela ANEEL.

O valor da Compensação Financeira corresponde a 6,75% da energia de origem hidráulica efetivamente verificada, medida em MWh, multiplicados pela Tarifa Atualizada de Referência (TAR), fixada pela ANEEL. No cálculo dos *royalties* advindos de Itaipu, a energia efetivamente verificada, medida em GWh, é multiplicada por um valor correspondente, atualmente, a US\$ 650,00 (valor do GWh), e por um multiplicador K, sendo o valor resultante corrigido pela variação cambial. Desse recurso, 50% é destinado ao Brasil e a outra parcela ao Paraguai.

Na distribuição dos recursos da Compensação Financeira, dos 6,75%, 0,75% são destinados ao Ministério do Meio Ambiente para a aplicação na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, constituindo-se tal parcela em pagamento pelo uso de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica. Os 6% restantes são destinados da seguinte forma: 45% dos recursos aos municípios atingidos pelas barragens, proporcionalmente às áreas alagadas de cada município abrangido pelos reservatórios e instalações das UHEs; aos estados onde se localizam os reservatórios outros 45%, correspondentes à soma das áreas alagadas dos seus respectivos municípios; ficando a União com os 10% restantes<sup>(13)</sup>. Os *royalties* são distribuídos de forma semelhante.

Nas Tabela 4.7 e 4.8 é apresentado um histórico dos benefícios distribuídos. Conforme os dados destas tabelas, em todo País, 135 usinas recolhem a Compensação Financeira, sendo beneficiados 570 municípios e 22 Estados. Quanto aos *royalties* de Itaipu, são beneficiados 363 municípios e 6 Estados.

A localização e a dimensão dos reservatórios hidrelétricos (área alagada) em que incidem a Compensação Financeira ou os *royalties* são ilustradas na Figura 4.19. Na Tabela 4.9 consta a listagem desses empreendimentos. Na Figura 4.20, como exemplo, uma imagem de satélite do reservatório de Sobradinho, no Rio São Francisco.

(11) Criados pelo Tratado de Itaipu.

(12) Excetuando as caracterizadas como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH).

(13) 3% para o Ministério do Meio Ambiente, 3% para o Ministério de Minas e Energia e 4% para o Fundo Nacional de Ciência e Tecnologia.

TABELA 4.7 Histórico dos benefícios distribuídos

	2003	2002	2001
<b>Compensação Financeira (R\$)</b>			
Municípios	263.723.641,28	200.879.352,69	171.122.215,09
Estados	263.723.641,28	200.879.352,69	171.122.215,09
<b>(Subtotal) Estados e municípios</b>	<b>527.447.282,56</b>	<b>401.758.705,39</b>	<b>342.244.430,18</b>
MMA*	73.249.241,36	55.794.240,21	47.529.195,24
FNDCT	23.405.473,16	17.828.042,55	15.187.096,59
MMA	17.603.553,06	13.408.696,79	11.422.407,86
MME	17.603.553,06	13.408.696,79	11.422.407,86
<b>TOTAL</b>	<b>659.309.103,19</b>	<b>502.198.381,73</b>	<b>427.805.537,73</b>
<b>Royalties de Itaipu (R\$)</b>			
Municípios	256.590.281,66	253.409.393,05	204.621.769,00
Estados	256.590.281,66	253.409.393,05	204.621.769,00
<b>(Subtotal) Estados e municípios</b>	<b>513.180.563,32</b>	<b>506.818.786,10</b>	<b>409.243.538,01</b>
FNDCT	22.808.025,04	22.525.279,38	18.188.601,69
MMA	17.106.018,78	16.893.959,54	13.641.451,27
MME	17.106.018,78	16.893.959,54	13.641.451,27
<b>TOTAL</b>	<b>570.200.625,91</b>	<b>563.131.984,55</b>	<b>454.715.042,23</b>
<b>TOTAL Royalties e Compensação Financeira</b>	<b>1.229.509.729,10</b>	<b>1.065.330.366,29</b>	<b>882.520.579,96</b>

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. 2004. Disponível em: [www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacoesstart\\_internet.asp?Origem=1](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacoesstart_internet.asp?Origem=1).  
 (\*) Parcela referente ao pagamento pelo uso dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica.

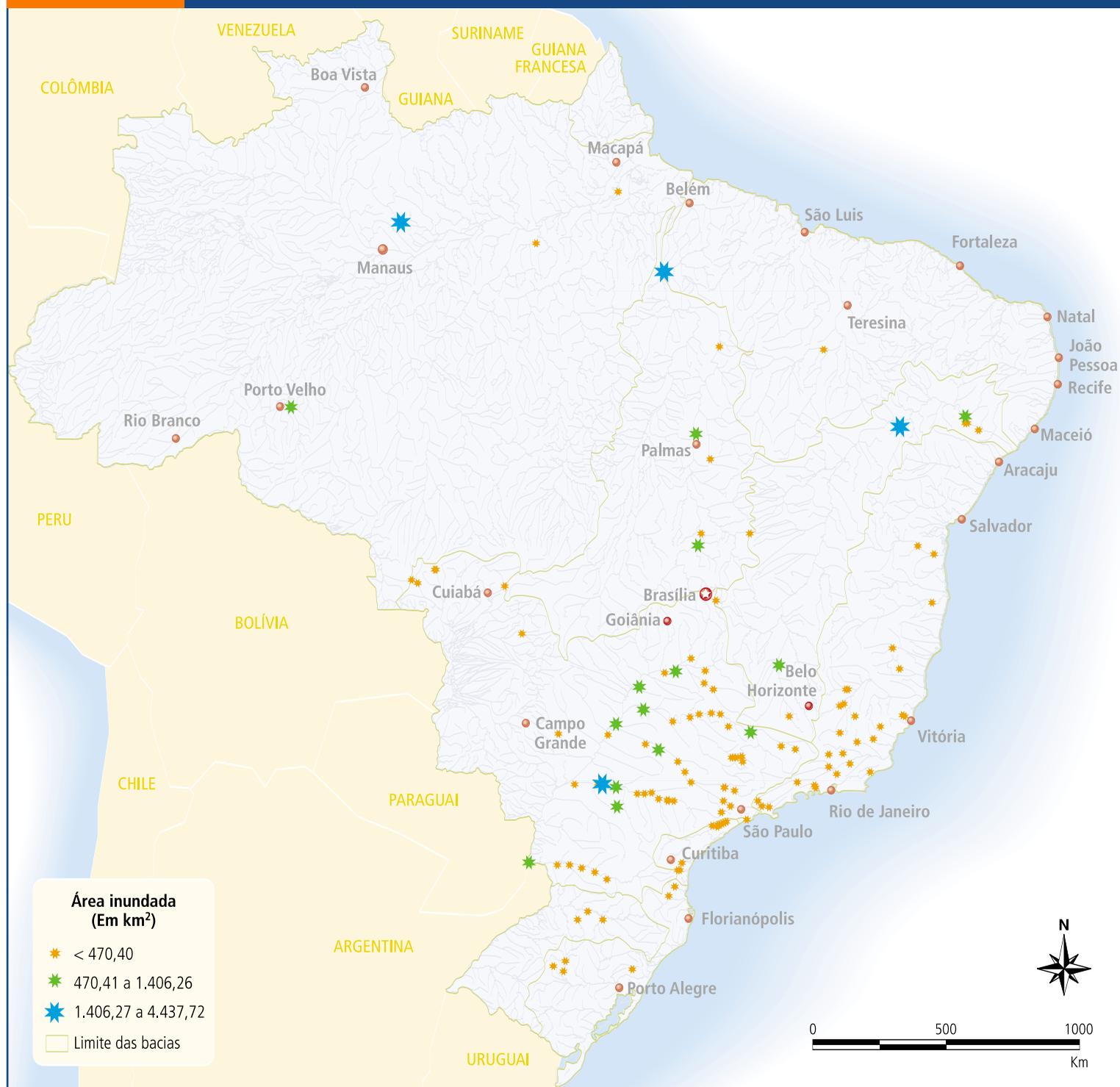
TABELA 4.8 Histórico dos benefícios distribuídos, segundo unidades da Federação

UF	Compensação Financeira						Royalties de Itaipu					
	2003		2002		2001		2003		2002		2001	
	N° Mun*	Valor (R\$)	N° Mun*	Valor (R\$)	N° Mun*	Valor (R\$)	N° Mun*	Valor (R\$)	N° Mun*	Valor (R\$)	N° Mun*	Valor (R\$)
AL	4	6.822.971,94	4	5.142.631,99	5	4.360.986,00	-	-	-	-	-	-
AM	2	885.641,72	2	834.318,77	3	755.268,35	-	-	-	-	-	-
AP	1	496.526,32	1	368.667,75	1	344.170,35	-	-	-	-	-	-
BA	23	23.170.674,45	20	17.634.070,05	21	15.992.542,33	-	-	-	-	-	-
DF	1	113.143,77	1	116.452,49	1	98.450,03	1	27.163,64	1	25.671,16	1	19.351,57
ES	6	854.564,31	6	757.338,53	6	520.789,98	-	-	-	-	-	-
GO	36	25.428.463,83	37	17.229.679,80	36	16.834.335,66	26	5.733.325,34	26	5.642.631,51	26	4.568.585,82
MA	3	666.332,31	3	632.877,47	3	513.114,97	-	-	-	-	-	-
MG	125	57.444.168,08	120	36.441.968,18	123	29.495.347,37	96	20.145.010,28	92	19.950.135,06	92	16.071.300,17
MS	11	14.055.504,72	11	11.730.800,46	11	8.189.029,36	12	4.938.218,05	12	4.854.553,9	12	3.813.655,64
MT	10	2.135.919,76	4	1.123.510,41	4	565.705,42	-	-	-	-	-	-
PA	8	24.510.749,37	8	21.176.922,05	8	18.354.959,82	-	-	-	-	-	-
PE	6	3.568.228,86	6	2.685.995,46	6	2.435.475,33	-	-	-	-	-	-
PI	4	579.533,00	4	550.436,13	4	443.696,93	-	-	-	-	-	-
PR	64	36.947.393,50	64	30.897.004,56	67	32.140.539,42	48	216.573.939,04	48	213.955.318,69	48	172.837.440,84
RJ	11	3.173.426,46	11	3.002.029,48	11	2.532.909,45	-	-	-	-	-	-
RO	4	869.234,65	4	607.812,53	5	627.084,63	-	-	-	-	-	-
RS	40	11.912.052,47	39	10.527.056,39	37	7.865.866,11	-	-	-	-	-	-
SC	15	4.804.212,38	15	4.910.151,66	11	3.465.449,26	-	-	-	-	-	-
SE	1	5.044.238,24	1	3.834.783,52	1	3.352.120,63	-	-	-	-	-	-
SP	190	36.388.715,29	189	29.001.212,79	205	22.115.943,33	180	9.172.625,31	180	8.981.082,68	180	7.311.434,97
TO	10	3.851.943,83	10	1.673.632,21	2	118.430,37	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>575</b>	<b>263.723.641,25</b>	<b>560</b>	<b>200.879.352,69</b>	<b>571</b>	<b>171.122.215,09</b>	<b>363</b>	<b>256.590.281,66</b>	<b>359</b>	<b>253.409.393,05</b>	<b>359</b>	<b>204.621.769,00</b>

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. 2004. Disponível em: [www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacao\\_start\\_internet.asp?Origem=1](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacao_start_internet.asp?Origem=1).

(\*) Quantidade de municípios que efetivamente receberam recursos

**FIGURA 4.19** Usinas hidrelétricas que pagam compensação financeira ou *royalties*, segundo área alagada – situação em 2003



Fonte: Elaborado com base em dados da AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. 2004. Disponível em: [www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacaosstart\\_internet.asp?Origem=1](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacaosstart_internet.asp?Origem=1).

TABELA 4.9 Usinas hidrelétricas que pagam compensação financeira ou *royalties*, segundo área alagada - situação em setembro de 2003

UHE	Potência (KW)	Área Alagada (Km <sup>2</sup> )
Água Vermelha (José Ermirio de Moraes)	1.396.200,00	673,63
Alecrim	72.000,00	1,54
Americana	30.000,00	11,93
Antas II	16.500,00	7,71
Areal	18.000,00	2,00
Balbina	250.000,00	4.437,72
Bariri (Álvaro de Souza Lima)	143.100,00	58,35
Barra	40.400,00	2,02
Barra Bonita	140.760,00	331,69
Boa Esperança (Castelo Branco)	225.300,00	376,36
Bracinho	16.500,00	1,14
Brecha	12.400,00	1,00
Bugres	11.700,00	16,33
Cachoeira Dourada	658.000,00	86,32
Caconde	80.490,00	36,30
Camargos	45.000,00	50,47
Cana Brava	450.000,00	139,63
Canastra	44.800,00	0,05
Canoas-I	82.500,00	34,99
Canoas-II	69.930,00	25,71
Capivara (Escola de Engenharia Mackenzie)	640.000,00	609,73
Casca III	12.420,00	0,37
Chaminé	18.000,00	4,11
Chavantes	414.000,00	392,12
Coaracy Nunes	67.982,00	30,37
Corumbá I	375.000,00	62,81
Curuá-Una	30.300,00	121,00
Dona Francisca	125.000,00	22,30
Eloy Chaves	19.000,00	0,47
Emboque	18.000,00	3,51
Emborcação	1.136.000,00	403,95
Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho)	1.050.000,00	46,56
Euclides da Cunha	108.890,00	1,06
Fonte Nova	132.000,00	31,30
França	29.500,00	12,70
Fumaça	36.400,00	6,92
Funil	180.000,00	40,49
Funil	30.000,00	6,16
Funil	216.000,00	43,18
Furnas	1.216.000,00	1.406,26
Gafanhoto	12.880,00	1,30
Glória	13.800,00	2,44
Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (Foz do Areia)	1.676.000,00	138,52
Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo)	1.260.000,00	84,67
Governador Parigot de Souza (Capivari/Cachoeira )	260.000,00	14,79

Usinas hidrelétricas que pagam compensação financeira ou *royalties*, segundo área alagada - situação em setembro de 2003 (cont.)

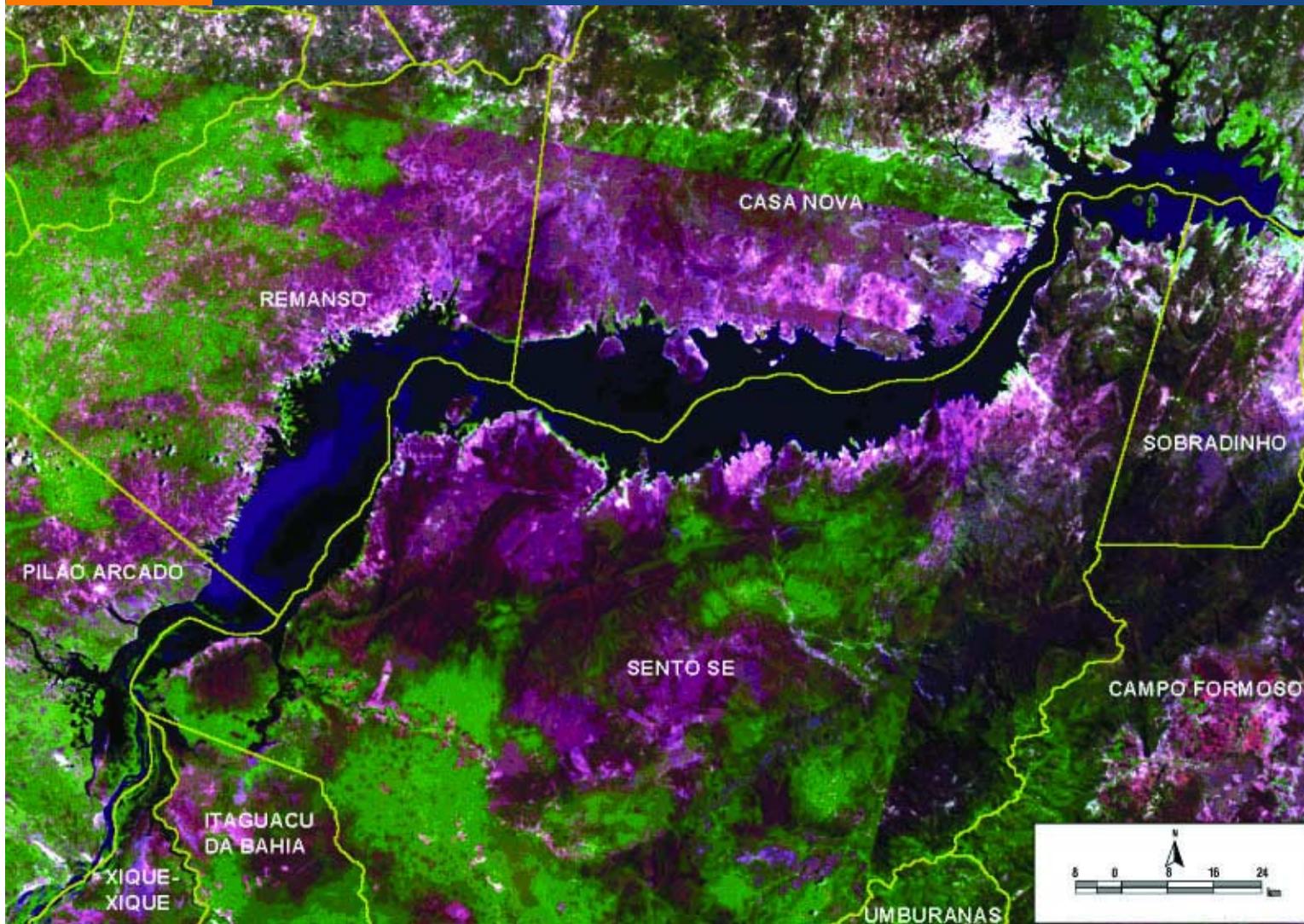
UHE	Potência (KW)	Área Alagada (Km²)
Guaporé	120.000,00	5,09
Guaricana	36.000,00	0,85
Guilman Amorim [Samarco (49%) Belgo (51%)]	140.000,00	1,08
Henry Borden	889.000,00	127,00
Ibitinga	131.490,00	126,06
Igarapava	210.000,00	40,94
Ilha dos Pombos	164.000,00	3,55
Ilha Solteira	3.444.000,00	1.357,62
Isamu Ikeda/Balsas Mineiro	27.600,00	11,15
Itá	1.450.000,00	126,32
Itaipu	12.600.000,00	1.049,56
Itapebi	450.000,00	62,48
Itaúba	512.400,00	12,95
Itiquira	156.000,00	1,00
Itumbiara	2.082.000,00	749,12
Itupararanga	55.000,00	25,27
Itutinga	48.600,00	2,04
Jacuí	180.000,00	5,42
Jaguara	448.000,00	32,43
Jaguari	27.600,00	46,39
Jaguari	11.800,00	0,74
Jaurú	110.000,00	121,50
Juba I	42.000,00	0,92
Juba II	42.000,00	2,79
Jupiaá (Engº Souza Dias)	1.551.200,00	321,68
Jurumirim (Armando Avellanal Laydner)	97.750,00	470,40
Lajeado	902.500,00	1.040,10
Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)	32.000,00	2,49
Luiz Gonzaga (Itaparica)	1.500.000,00	839,40
Macabu	21.000,00	2,89
Machadinho	1.140.000,00	89,33
Marechal Mascarenhas de Moraes (Ex-Peixoto)	476.000,00	269,48
Marimbondo	1.440.000,00	452,38
Mascarenhas	104.000,00	5,31
Mimoso Assis Chateaubriand	29.500,00	16,00
Miranda	390.000,00	52,36
Moxotó (Apolônio Sales)	440.000,00	94,96
Muniz Freire	25.000,00	0,20
Nilo Peçanha	380.000,00	15,59
Nova Avanhandava (Rui Barbosa)	347.000,00	218,05
Nova Maurício	32.000,00	3,71
Nova Ponte	510.000,00	397,41
Palmeiras	24.400,00	3,12
Paraibuna	85.000,00	197,62
Paranapanema	31.500,00	1,49

Usinas hidrelétricas que pagam compensação financeira ou *royalties*, segundo área alagada - situação em setembro de 2003 (cont.)

UHE	Potência (KW)	Área Alagada (Km <sup>2</sup> )
Paranoá	30.000,00	39,11
Passo Fundo	220.000,00	153,52
Passo Real	158.000,00	248,82
Paulo Afonso I,II,III	1.524.000,00	5,19
Paulo Afonso IV	2.460.000,00	15,92
Pedras	23.000,00	89,17
Pereira Passos	100.000,00	1,09
Piau	18.012,00	0,37
Pirajú	70.000,00	17,13
Porto Colômbia	320.000,00	148,94
Porto Estrela	112.000,00	3,77
Porto Góes	24.800,00	0,23
Porto Primavera	1.540.000,00	2.976,98
Porto Raso	28.400,00	1,59
Promissão (Mário Lopes Leão)	264.000,00	572,72
Rasgão	22.000,00	0,83
Rio Bonito	16.800,00	2,20
Rio do Peixe (Casa de Força I e II)	18.060,00	0,91
Rosal	55.000,00	2,28
Rosana	372.000,00	261,44
Sá Carvalho	78.000,00	1,50
Salto Caxias	1.240.000,00	140,99
Salto de Iporanga	36.870,00	2,69
Salto Grande	102.000,00	5,83
Salto Grande (Lucas Nogueira Garcez)	73.760,00	14,91
Salto Osório	1.078.000,00	59,90
Salto Santiago	1.420.000,00	213,65
Samuel	216.000,00	655,60
Santa Branca	50.000,00	29,67
Santa Clara	60.000,00	8,79
São Domingos	12.000,00	2,46
São Simão	1.608.000,00	716,16
Serra da Mesa	1.275.000,00	1.254,09
Serraria	24.000,00	2,13
Sobradinho	1.050.000,00	4.380,79
Sobragi	60.000,00	0,04
Suíça	30.000,00	0,60
Taquaruçu (Escola Politécnica)	554.000,00	110,26
Três Irmãos	1.292.000,00	669,59
Três Marias	387.600,00	1.110,54
Tucuruí I e II	8.125.000,00	3.014,23
UHE Manso	210.000,00	427,00
Volta Grande	380.000,00	196,68
Xingó	3.000.000,00	58,94

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. 2004. Disponível em: [www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacaosstart\\_internet.asp?Origem=1](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/cpmf/gerencial/compensacaosstart_internet.asp?Origem=1).

FIGURA 4.20 Imagem de satélite do reservatório da Usina Hidrelétrica de Sobradinho



Fonte: Imagem do satélite Landsats - passagem em 25/06/99

