

HISTÓRIA DAS USINAS HIDRELÉTRICAS

GERALDO MAGELA PEREIRA
 Universidade de Brasília, DF, Brasil.
 magela2909@gmail.com

O presente trabalho apresenta um resumo sobre a história das usinas hidrelétricas, extraído do livro Projeto de Usinas Hidrelétricas Passo a Passo¹ do autor (2015), o qual foi elaborado com o intuito de preencher uma lacuna existente no assunto.

Apesar de a Terra e o sistema solar terem se originado há 4,6 bilhões de anos, foi somente durante o período Quaternário, época do Holoceno, há cerca de 10 mil anos, que os seres humanos desenvolveram a agricultura de subsistência. Nós passamos a maior parte de nossa história como caçadores e coletores de alimentos.

Apenas nos últimos 9.000 a 10.000 anos, nossa espécie descobriu como plantar e dominar animais. Tais mudanças provavelmente ocorreram nas colinas da Síria e do Iraque dos dias atuais.

As barragens têm servido aos povos por pelo menos 5.000 anos, como atestam as ruínas de obras pré-históricas de irrigação na Mesopotâmia, no Egito, Índia, Pérsia e no Extremo Oriente (Jansen, 1983²). O Quadro 1 apresenta uma cronologia do conhecimento da água.

A história remota das barragens não é bem conhecida. Muitas datas antes de 1.000 a.C. podem ser apenas estimadas. Isto é particularmente verdade no Egito antigo, cuja cronologia peculiar, às vezes, lança apenas uma fraca luz em muitas dinastias e suas realizações de engenharia.

Ruínas de obras antigas na Índia e Sri Lanka (antigo Ceilão) oferecem alguma evidência de como os reservatórios de água foram criados pelas civilizações antigas. Um dos métodos comuns de construção envolvia as barreiras de terra atra-

vés dos rios. Alguns dos lagos formados ocupavam vastas áreas.

Quadro 1. Cronologia de conhecimento a respeito da água antes da era cristã (Mays, 1999³).

Período	Tipo de Uso
Pré-histórico	Minas de água, fontes naturais.
III a II milênio a.C.	Barragens, Cisternas e Poços.
II milênio a.C.	Suprimento de água por gravidade: canais e condutos.
Século VIII a VI a.C.	Linhas longas de abastecimento de água com túneis e pontes, bem como intervenções para aproveitamentos de água cárstica.
Século VI a.C.	Banheiros públicos: banheiras, chuveiros, latrinas, lavanderias. Uso definitivo de dois ou três tipos de qualidade de água: potável, sub potável e não potável, incluindo uso para irrigação.
Século VI a III a.C.	Tubos pressurizados e sistemas de sifão.

Os materiais de construção eram transportados em cestas ou outros recipientes. A compactação era realizada pelo pisotear dos pés dos transportadores. Até hoje, em alguns países onde os custos do trabalho são relativamente baixos, esse método é usado. Os construtores antigos fizeram uso livre de solos e cascalhos. Como eles só tinham um leve conhecimento da mecânica dos materiais e dos escoamentos das cheias, seus métodos eram ao acaso, e frequentemente, suas obras ruíam.

No Egito antigo, a construção de canais foi o maior esforço dos faraós. Os primeiros deveres dos governadores das províncias eram a escavação e o reparo de canais, os quais eram usados para irrigar grandes extensões de terras nas épocas de cheia do rio Nilo. A terra foi retalhada

1 Pereira, Geraldo M. - Projeto de usinas hidrelétricas - Passo a passo. Oficina de Textos, 2015

2 Jansen, Robert B. - Dams and public safety. US Department of the Interior. Bureau of Reclamation, 1983

3 Mays, Larry W. - Water distribution system handbook. McGraw-Hill Education, 1999

com pequenas bacias através de um sistema de diques.

Como reportado por Jansen (*op cit*), um dos registros mais antigos de obras de engenharia é o relativo à fundação da cidade de Memphis, junto ao rio Nilo, cuja execução pode ser estimada entre 5.700 e 2.700 d.C. O historiador Heródoto atribuiu esta construção à Menés, o primeiro faraó do início da dinastia egípcia. De acordo com algumas interpretações dos registros de Heródoto, Menés construiu uma barragem de alvenaria no rio Nilo, em Kosheish, 20 km a montante do sítio planejado para a capital.

Esta versão, considerada lenda por alguns historiadores, relata que, antes de fundar a capital, Menés desviou o curso do rio Nilo para o lado leste do vale, construindo uma barragem grande junto das colinas líbias, com o propósito de assegurar espaço para a construção da cidade do lado oeste, mais protegido dos ataques dos inimigos.

As quedas d'água têm sido usadas para realizar trabalho há milhares de anos. A ação direta do

jato proveniente de uma queda sobre uma roda d'água, por exemplo, produz energia mecânica. Os romanos já conheciam esses dispositivos desde o século I a.C.

No entanto, as rodas só passaram a ser usadas extensivamente a partir do século XIV em trabalhos de moagem, nas serrarias e para a alimentação de fábricas têxteis, dentre outras utilizações. Ao final do século XVIII, existiam aproximadamente 10.000 rodas d'água na Inglaterra.

Durante os séculos XVIII e XIX, com o surgimento de tecnologias como a máquina a vapor, o motor, o dínamo, a lâmpada e a turbina hidráulica, tornou-se possível converter a energia mecânica em energia elétrica. Moinhos e fábricas eram construídos juntos aos sítios das hidrelétricas visando-se utilizar diretamente a energia disponível. A potência dessas primeiras usinas, limitada a 100 kW (134 CV), é comparada na figura abaixo com as de outras fontes de energia no período entre 1700 e 1970.

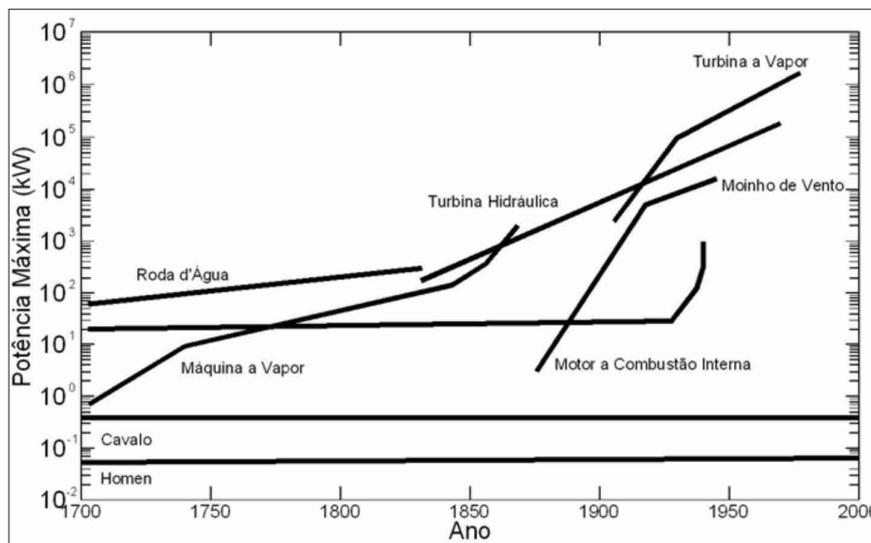


Figura 1. Potências máximas de máquinas selecionadas no período de 1700 a 1970.

Fonte: Gulliver e Arndt, 1991⁴.

4 Gulliver, John S., Arndt, Roger, E.A. – Hydropower Engineering Handbook. McGraw-Hill, 1991

No Brasil, a primeira usina hidrelétrica entrou em operação em 1883. Ela foi construída no ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, na cidade de Diamantina (MG). Foi instalada numa queda de 5 m e possuía dois dínamos Gramme de 8 HP cada, que geravam energia capaz de movimentar bombas d'água para desmonte das formações rochosas das minas de diamante. Mais tarde, a usina passou a gerar energia para abastecimento da cidade. A linha de transmissão associada tinha 2 km de extensão.

Em 1887, foi colocada em operação no rio Macacos, Nova Lima, Minas Gerais, uma usina de 500 HP, sob uma queda de 40 m, para atender a uma mineração de ouro e para iluminação.

Dois anos depois, em 1889, entrou em operação a Usina Marmelos Zero no rio Piabanha, Minas Gerais, (Figs. 2 e 3), da Companhia Mineira de Eletricidade. Foram instalados dois grupos de geradores com potência de 126 kW cada um, da empresa americana Max Nothman & Co, para fornecimento de energia para Juiz de Fora. Em 1891 foi instalado um terceiro gerador, de 125 kW, para fins industriais.

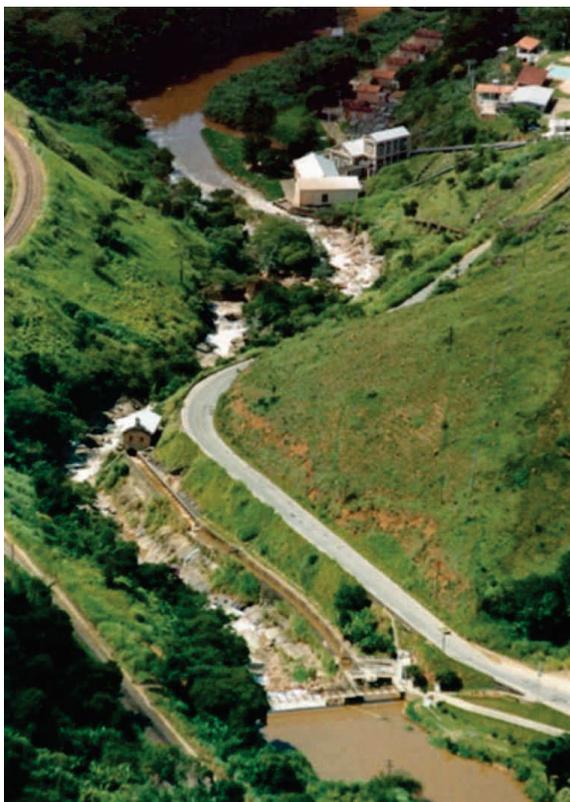


Figura 2. Usina Marmelos Zero. Vista aérea do reservatório com a BR-040 à direita.



Figura 3. Usina Marmelos Zero. Vista geral de jusante para montante com casa de força em primeiro plano e barramento vertente ao fundo.



Figura 4. Usina Marmelos Zero. Detalhe do barramento vertente.

Na virada para o século XX, a Light Serviços de Eletricidade S.A. foi fundada em 30 de maio de 1905, no Rio de Janeiro, com a tarefa de implantar o desenvolvimento da engenharia de barragens e colocar usinas hidrelétricas em funcionamento no Brasil. A ilustração abaixo mostra os aproveitamentos da Light.

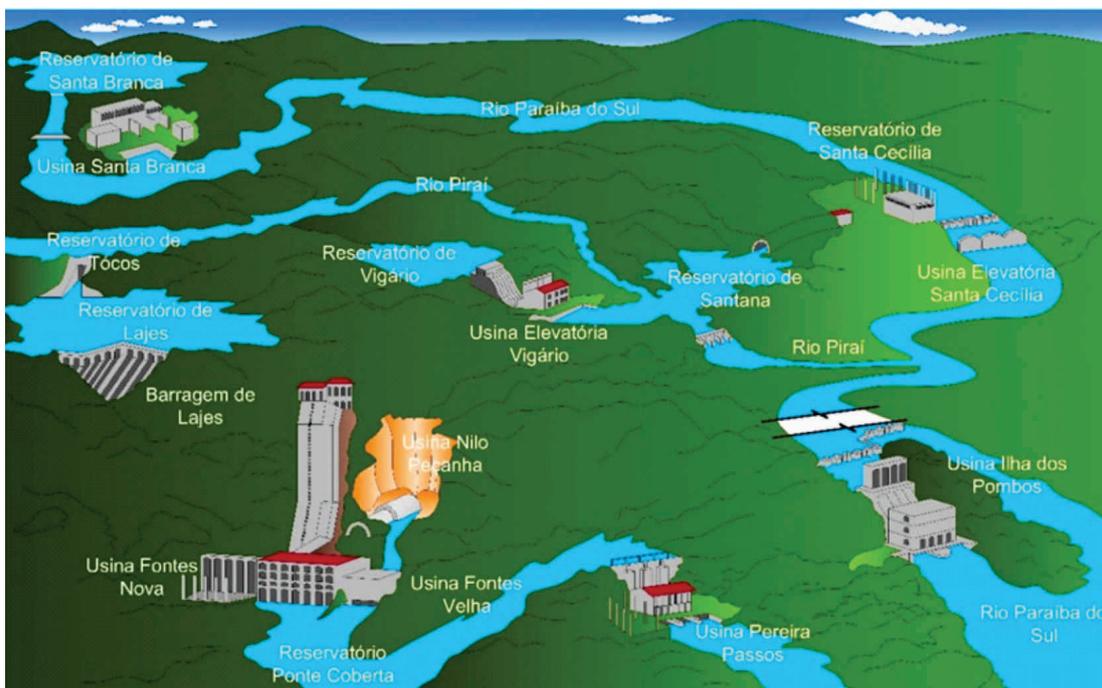


Figura 5. Esquema dos aproveitamentos hidrelétricos da Light.

Fonte: Adaptado de “Esquema geral do aproveitamento hidrelétrico dos rios Paraíba, Pirai e do ribeirão das Lajes” (Light, 1981).

A UHE Fontes Velha foi inaugurada em 1908 com potência de 12 MW, sendo em sua época a maior da América Latina e a segunda maior do mundo. A barragem, concluída em 1906, era uma estrutura do tipo concreto gravidade em arco de 100 m de raio, 32 m de altura, com 234 m de extensão na crista, sendo 134 m do vertedouro de lâmina livre. Em 1909 foi concluída a ampliação para 24 MW, gerenciada pelo Engenheiro Clint Kearny (CBDB, 2011), um evento digno de destaque.

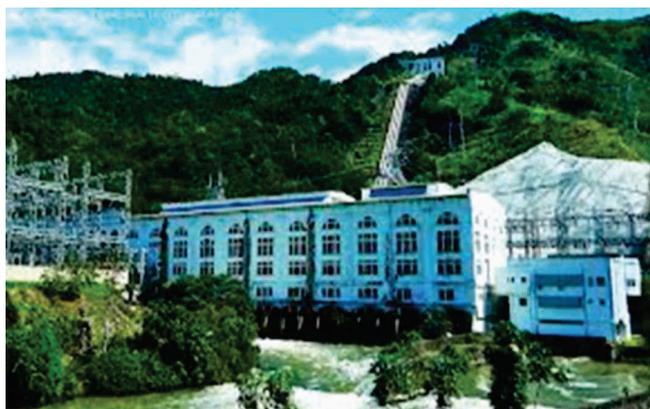


Figura 6. UHE Fontes Velha. Estrutura da casa de força (24 MW).

Em 1914, foi concluída no rio Pirai a barragem de Tócos, com 25 m de altura e um túnel de 8,4 km de extensão, na época o mais longo túnel hidráulico do mundo, para desviar água (25 m³/s) para o reservatório de Lajes, possibilitando aumentar capacidade da UHE Fontes para 54 MW.

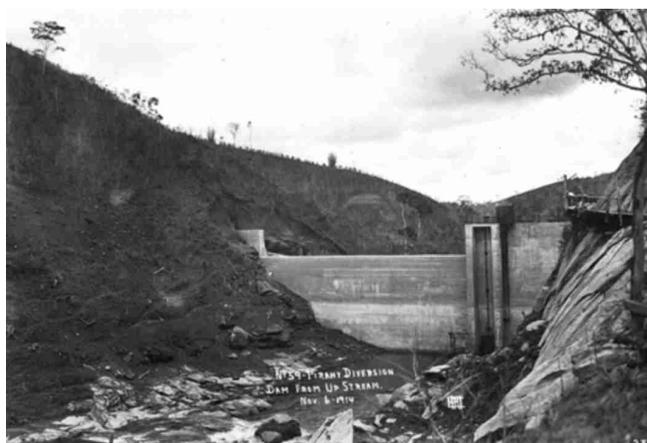


Figura 7. Barragem de Tócos (1914).



Figura 8. Emboque de jusante do túnel de Tócos.



Figura 9. UHE Ilha do Pombos.

Fonte: CBDB (2011).

Em 1924, foi concluída a UHE Ilha dos Pombos. A usina tem um canal de adução com 2,5 km de comprimento constituído por diques de terra compactada e trechos em concreto. O vertedouro principal, localizado na margem esquerda, tem três comportas tipo setor, com vão de 45 m por 7,40 m de altura, área de 333 m², que até hoje são as maiores do mundo e operam normalmente (CBDB, 2011, e Erbisti, 2002). Em 1937, após a ampliação, a usina, com 31 m de queda bruta, atingiu a potência de 167 MW. Nos anos 90, após mais de 50 anos de operação, foi executada uma reabilitação completa da barragem e das comportas.



Em 1937, foi criada a Seção de Geologia e Petrografia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Em 1938, ela foi transformada em Seção de Geologia e Minas e em 1939, em Seção de Solos, chefiada por Ernesto Pichler, que se dedicava a estudos na área de Geologia de Engenharia sobre a qual, até então, não existiam informações precisas (Ruiz, 1987⁵). A Seção de Geologia Aplicada do IPT foi criada em 1955.

O Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB publicou em 2011, na comemoração dos seus 50 anos, um excelente livro sobre a história das barragens no Brasil nos séculos passados. Recomen-

da-se consultar essa publicação para maiores detalhes sobre nossa brilhante história.

O Quadro 2, a seguir, resume uma série de eventos importantes para o Setor Elétrico Brasileiro, dentre os quais destaca-se:

- 1941 – Companhia Siderúrgica Nacional (CSN);
- 1942 – Companhia Vale do Rio Doce (CVRD);
- 1943 – Início da criação das companhias estaduais e federais de energia;
- 1945 – Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF);
- 1952 – Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG);
- 1953 – Usinas Elétricas do Paranapanema (USELPA);

5 Ruiz, Murilo D. – A evolução da geologia de engenharia no Brasil e suas perspectivas. Anais do CBGE, 1987.

- 1995 – Companhia Energética do Rio Pardo (CHERP), Centrais Elétricas do Urubupungá (CELUSA) e Centrais Elétricas de Goiás (CELG);
- 1956 – Centrais Elétricas do Espírito Santo (ESCELSA);
- 1957 – FURNAS;
- 1961 – ELETROBRÁS.

Quadro 2. Eventos de Energia Elétrica no Brasil 1880 e 2010 (2013).

Ano	Evento
1889	1ª UHE de grande porte, Marmelos Zero, Cia. Mineira de Metais (JF-MG)
1892	1ª Linha de bondes elétricos do Rio de Janeiro
1903	Congresso aprova texto disciplinando o uso da energia elétrica
1905	Criada, em 30/05, a The Rio de Janeiro LIGHT and Power Co. Ltd.
1908	Inauguração da UHE Fontes Velha, 12 MW, (RJ), à maior da América Latina e a 2ª do mundo
1909	Concluída a Ampliação de Fontes Velha para 24 MW
1912	Unificação da LIGHT RJ-SP. Companhia Paulista de Força e Luz
1913	UHE Delmiro Gouveia – 1ª hidrelétrica da cachoeira de Paulo Afonso no rio S. Francisco (BA)
1920	Capacidade instalada atinge 360 MW
1924	Inauguração da UHE Ilha dos Pombos
1930	Capacidade instalada atinge 780 MW (541 hidrelétricas, 337 térmicas e 13 mistas)
1934	Edição do Código de Águas
1940	Capacidade instalada atinge 1.250 MW
1941	CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
1942	CVRD – Companhia Vale do Rio Doce
1943	Ano de Início da Criação das Companhias Estaduais e Federais de Energia
1945	CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. Início do projeto de Paulo Afonso I
1950	Capacidade instalada atinge 1.900 MW
1952	BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
1953	USELPA – Usinas Hidrelétricas do Rio Paranapanema
1954	UHE Paulo Afonso I em operação. CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina
1955	CHERP e CELUSA. CELG – Centrais Elétricas de Goiás
1956	ESCELSA – Centrais Elétricas do Espírito Santo
1957	FURNAS (iniciam-se os projetos de Porto Colômbia, Marimondo, Estreito e Volta Grande)
1960	Capacidade instalada atinge 4.800 MW. Ministério das Minas e Energia
1961	ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A.
1962	CANAMBRA – Canambra Engineering Company executou estudos no Brasil
1963	UHE Furnas ligando MG-RJ-SP
1965	DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
1966	CESP – Cia Energética de São Paulo. Iniciam-se os projetos dos rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná. Jupia, I. Solteira, Á. Vermelha. Continuam os projetos do rio Paranaíba (S. Simão, Emborcação)
1968	ELETROSUL, UTE Santa Cruz, ENERAM (Comitê Coordenador dos Estudos Amazônia)
1969	GCOI – Grupo Coordenador da Operação Interligada
1970	Capacidade instalada atinge 11.460 MW
1973	ITAIPU, ELETRONORTE, NUCLEBRÁS, CEPEL
1979	LIGHT nacionalizada. UHE Sobradinho
1980	Capacidade instalada atinge 31.300 MW
1982	GCPS – Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema
1984	UHE Itaipu, UHE Tucuruí
1985	Usina Nuclear ANGRA I

Ano	Evento
1990	Capacidade instalada atinge 53.000 MW
1995	Iniciam-se os leilões de privatização
1996	ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
1997	ELETRONUCLEAR - Centrais Elétricas Nucleares
1998	MAE-Mercado Atacadista de Energia; ONS - Operador Nacional do Sistema
2000	Capacidade instalada atinge 72.200 MW. UHE Itá. Programa Prioritário de UTEs
2001	Crise, racionamento. UHE Lajeado
2002	UHE Canabrava. UHE Machadinho
2003	Capacidade Instalada atinge 77.300 MW
2004	EPE - Empresa de Pesquisa Energética (MME)
2005	CERAN - Complexo Energético do Rio das Antas
2007	UHE Campos Novos e UHE Barra Grande
2010	Capacidade Instalada atinge 78.658 MW.
2016	Capacidade instalada atinge 96.925 MW
2021	Capacidade Instalada atinge 108.650 MW (Dado do site do O.N.S)

A partir da criação da Eletrobras, em 1961, a instalação de hidrelétricas no Brasil tomou maior impulso, como mostrado na Figura 10.

No Quadro 3 abaixo apresentam-se as maiores usinas hidrelétricas ao redor do mundo ranqueadas pela potência instalada.

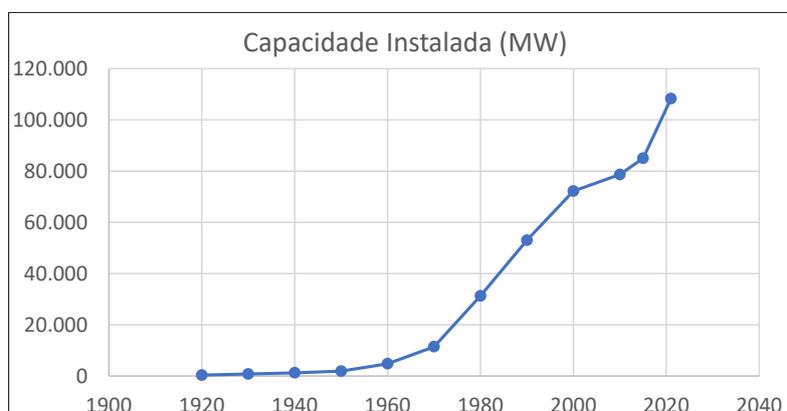


Figura 10. Evolução da capacidade instalada no Brasil.

Fonte: ?

Quadro 3. Maiores usinas hidrelétricas em potência instalada ao redor do mundo.

Ordem	Nome	País	H ^a (m)	Potência (MW)	Data
1	Three Gorges	China	181	22.400	2012
2	Itaipu	Brasil/Paraguai	196	14.000	2004
3	Guri ^b	Venezuela	162	10.600	1968
4	Tucuruí	Brasil	93	8.400	2003
5	Grand Coulee	USA	168	7.460	1942
6	Sayano-Shushensk	Rússia	245	6.400	1980
7	Krasnoyarsk	Rússia	124	6.000	1968
8	La Grande 2	Canadá	168	5.328	1979
9	Churchill Falls	Canadá	32	5.225	1971
10	Bratsk	Rússia	125	4.500	1961

Ordem	Nome	País	H ^a (m)	Potência (MW)	Data
11	Ust-Ilim	Rússia	102	3.840	1977
12	Ilha Solteira	Brasil	74	3.200	1973
13	Brumley Gap	USA	78	3.200	1973
14	Xingó	Brasil	140	3.012	1987
15	Bennett, W.A.C.	Canadá	183	2.730	1968
16	Mica	Canadá	242	2.660	1976
17	São Simão	Brasil	120	2.680	1979
18	Volvograd	Rússia	47	2.563	1958
19	Paulo Afonso IV	Brasil	33	2.460	1979
20	Cahora Bassa ^b	Moçambique	171	2.425	1975
21	Chicoas`em	Mexico	261	2.400	1980
22	Gezhouba	China	47	2.340	1975
23	La Grande 3	Canadá	93	2.304	1982
24	Volga-V.I. Lenin	Rússia	45	2.300	1955
25	Iron Gates	Romania/Servia	60	2.300	1970

^a Altura da barragem sobre fundação. ^b Capacidade Adicional Planejada ou em Construção.

Fonte: adaptado de Gulliver e Arndt (1991).

Em 1995 ocorreu a reestruturação do setor elétrico. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada em 1996 e o Operador Nacional do Sistema (ONS) em 1998.

A EPE, Empresa de Pesquisa Energética foi criada em 2004, vinculada ao Ministério das Mi-

nas, e tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético brasileiro. As figuras abaixo foram selecionadas do Plano Nacional de Energia 2030 – Geração Hidrelétrica⁶

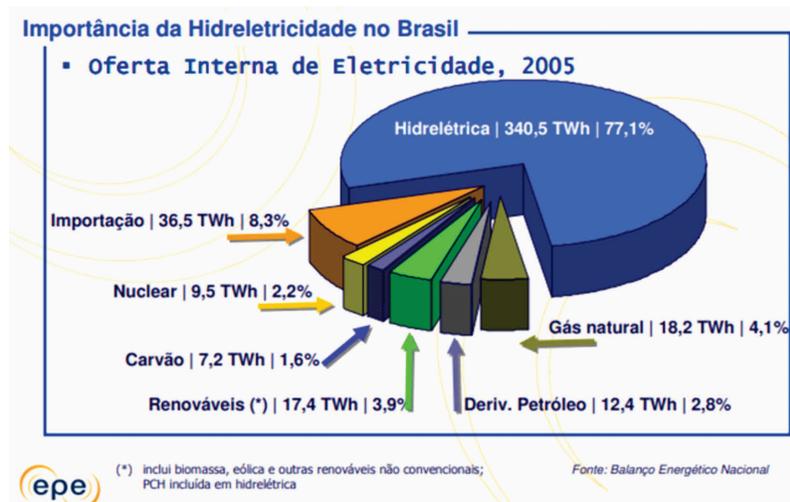


Figura 11. Participação da energia hidráulica no Brasil.

Fonte: PNE 2030.

6 <https://www.epe.gov.br/pt/resultado-de-busca?k=potencial%20hidrel%C3%A9trica%20brasileiro>

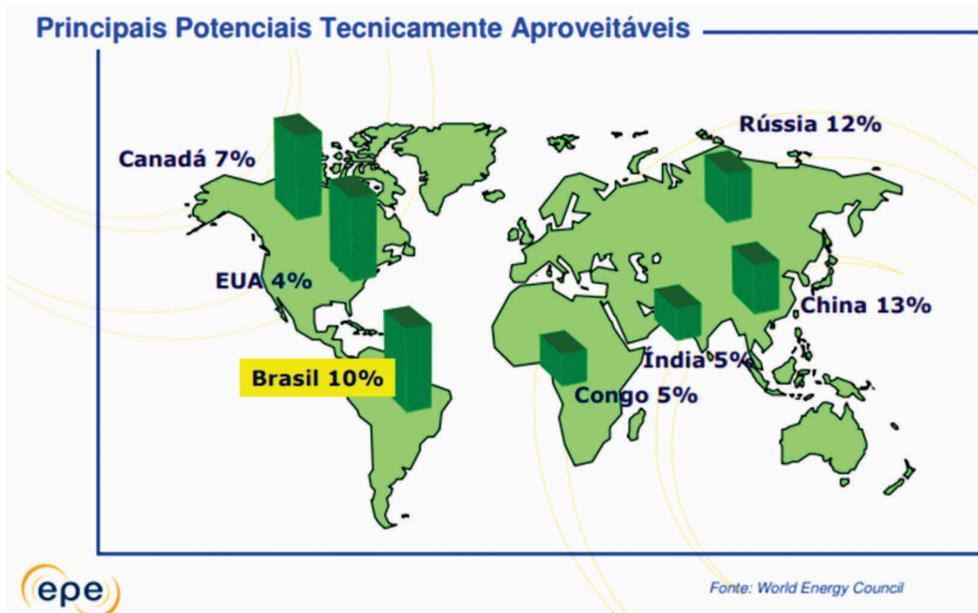


Figura 12. Potencial tecnicamente aproveitável no mundo em percentual no mapa.

Fonte: PNE 2030.

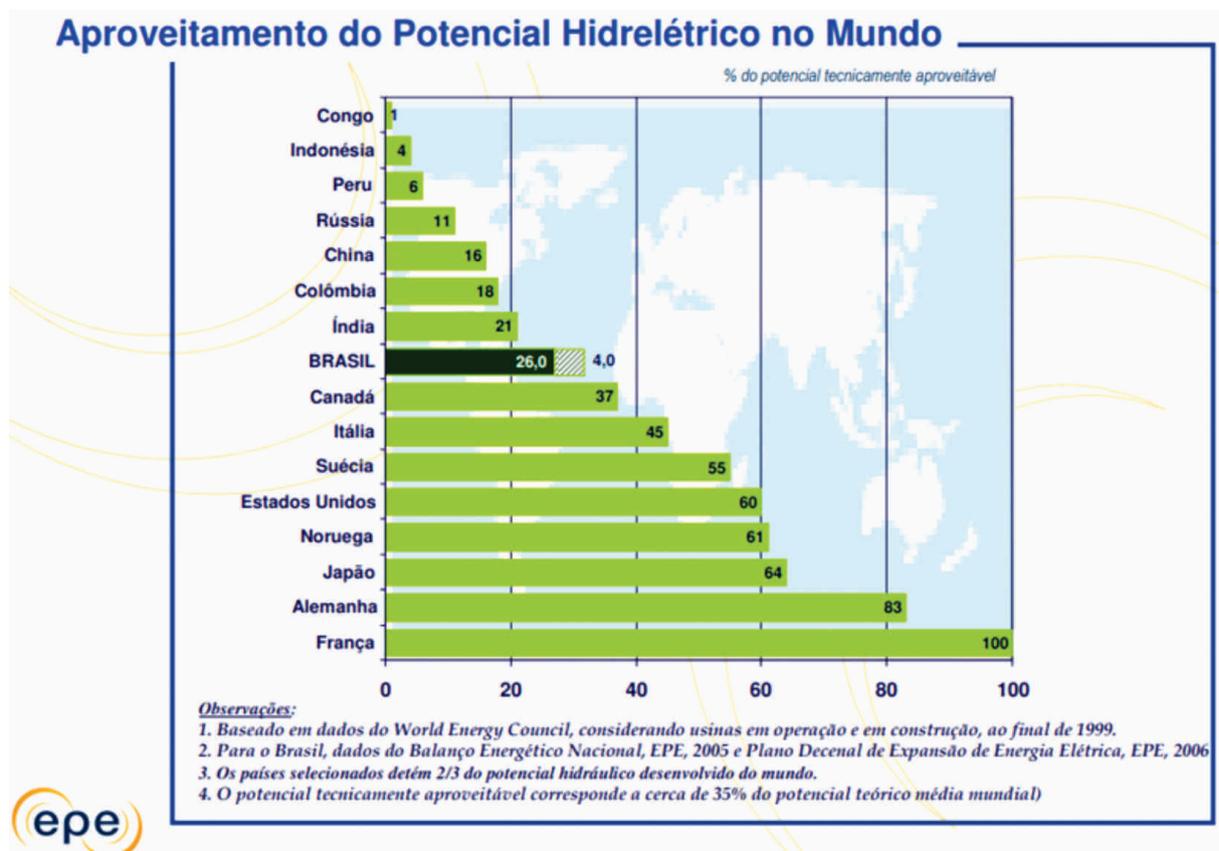


Figura 13. Percentual de aproveitamento hidrelétrico no mundo.

Fonte: PNE 2030.

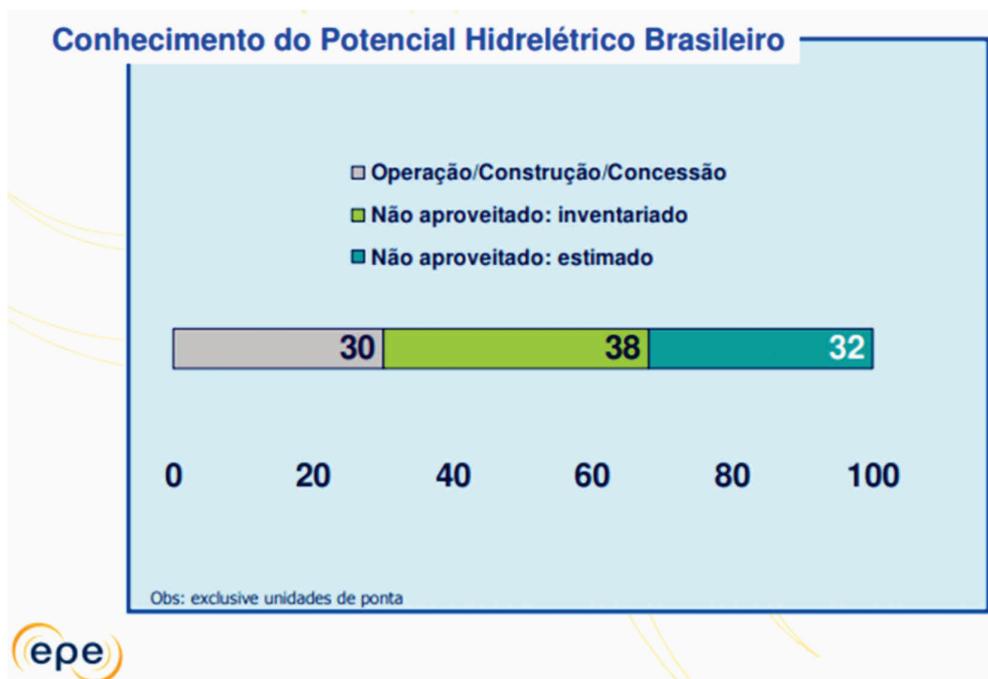


Figura 14. Nível de conhecimento do potencial hidrelétrico brasileiro.

Fonte: PNE 2030.

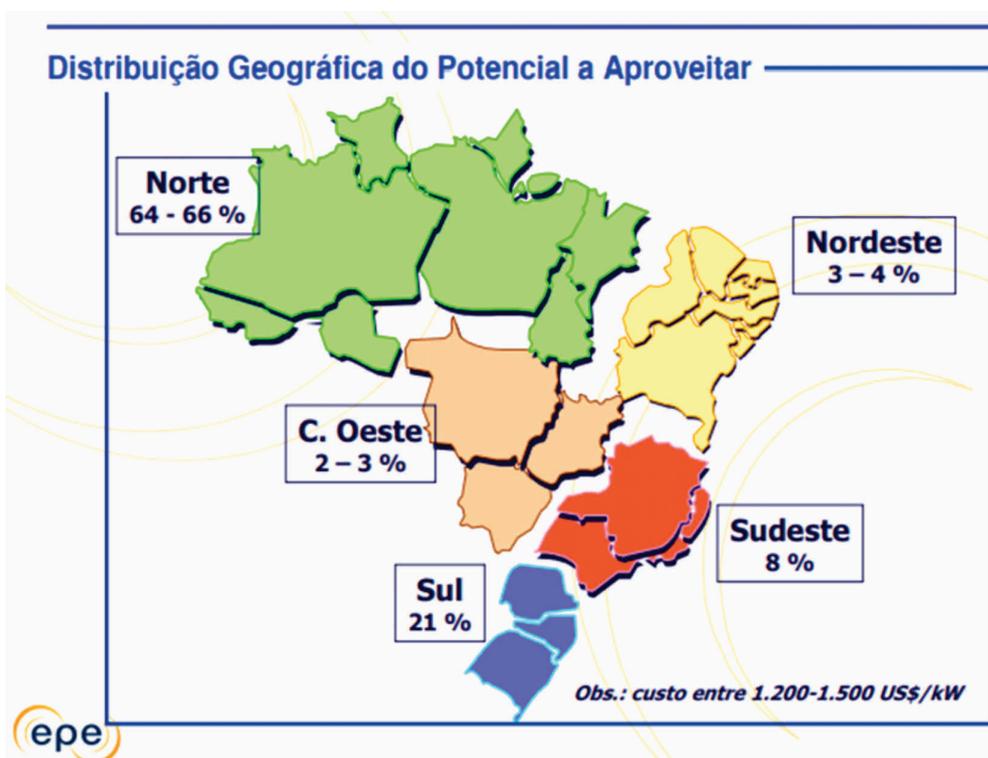


Figura 15. Distribuição nas regiões do Brasil do potencial hidrelétrico a ser aproveitado.

Fonte: PNE 2030.

O Plano Nacional de Energia – PNE 2030 registra que a energia elétrica associada à fonte hidráulica corresponde à mais de três quartos da energia gerada no Brasil e que ainda, o país permanece com apenas 26% de aproveitamento do potencial hidrelétrico tecnicamente viável, o que corresponde a 10% do potencial mundial.

Em termos de nosso conhecimento do nosso potencial em hidroenergia, dois terços permanecem inventariados ou apenas estimados, sendo a região norte do país a grande detentora de potenciais disponíveis ao aproveitamento.

Fica claro o extenso horizonte que ainda existe no desenvolvimento hidrelétrico nacional. Ao

mesmo tempo, não há dúvida que cada vez mais, a sociedade precisa buscar formas mais inteligentes e sustentáveis para o necessário uso dos recursos naturais.

É, portanto, justamente neste contexto que precisam atuar o CBDB e a ABGE enquanto associação técnico-científicas e os profissionais que aplicam seus conhecimento em Geologia de Engenharia e Ambiental às inúmeras formas de interação entre a humanidade e o espaço físico superficial e subterrâneo.