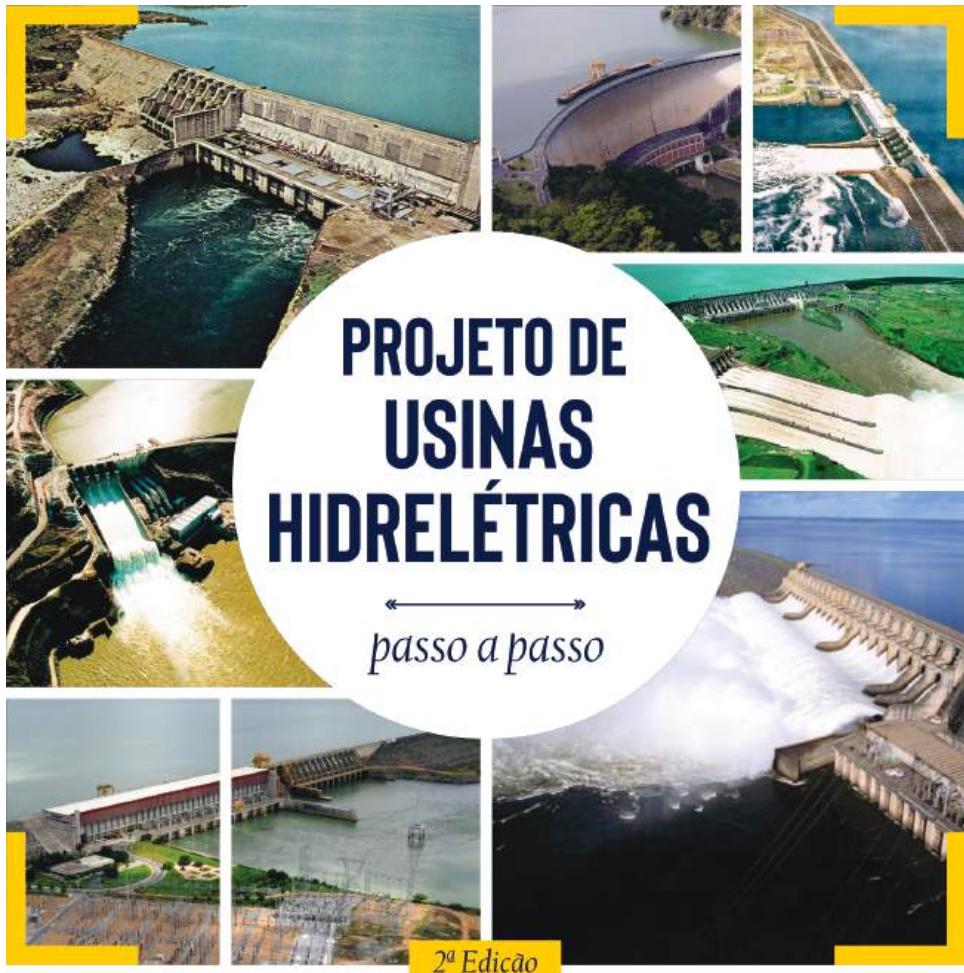


Exemplos adicionais de arranjos de usinas hidrelétricas



GERALDO MAGELA PEREIRA

SIGLAS E ABREVIATURAS

Série de siglas e abreviaturas do jargão dos profissionais do ramo, algumas usadas no texto.

| | |
|----------|---|
| AAI | Avaliação Ambiental Integrada |
| ABCE | Associação Brasileira de Consultores de Engenharia |
| ABGE | Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental |
| ABMS | Associação Brasileira de Mecânica dos Solos |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRHidro | Associação Brasileira de Recursos Hídricos |
| AC | Antes de Cristo |
| ACL | Ambiente de Contratação Livre |
| ACR | Ambiente de Contratação Regulada |
| AHE | Aproveitamento Hidroelétrico |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| APP | Área de Preservação Permanente |
| ArcGIS | Plataforma para projeto de soluções por meio do conhecimento geográfico |
| ASCE | American Society of Civil Engineers |
| ASDSO | Association of State Dam Safety |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| AT | Alta Tensão |
| AWS | American Welding Society |
| BD | Bacia de Dissipação |
| BEFC | Barragem de Enrocamento/Face de Concreto |
| BG | Barragem de Gravidade |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| BT | Baixa Tensão |
| BT | Barragem de Terra |
| CANAMBRA | Canambra Engineering Consultants Ltd. |
| CAV | Curva Cota Área Volume |
| CBA | Companhia Brasileira de Alumínio |
| CDBB | Comitê Brasileiro de Barragens |
| CCC | Condição de Carregamento de Construção |
| CCE | Condição de Carregamento Excepcional |
| CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica |
| CCL | Condição de Carregamento Limite |
| CCN | Condição de Carregamento Normal |
| CCR | Concreto Compactado a Rolo |
| CCV | Concreto Gravidade Convencional |

| | |
|--------|---|
| CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica |
| CEHPAR | Centro de Hidráulica Prof. Parigot de Souza. Universidade Federal do Paraná |
| CELESC | Centrais Elétricas de Santa Catarina |
| CELG | Centrais Elétricas de Goiás |
| CELUSA | Centrais Elétricas do Urubupungá S. A. |
| CEMAR | Companhia Energética do Maranhão |
| CEMIG | Companhia Energética de Minas Gerais |
| CEPEL | Centro de Pesquisa da Eletrobras |
| CERAN | Complexo Energético do Rio das Antas |
| CF | Casa de Força; Conduto Forçado; Fuga |
| CGH | Central Geradora Hidrelétrica até 5,0 MW |
| CHERP | Companhia Hidrelétrica do Rio Pardo |
| CHESF | Companhia Hidroelétrica do Rio São Francisco |
| CIRIA | Construction Industry Research and Information Association |
| CLAIM | Pedido Formal de Compensação Especial por Variação de Quantidades |
| CMP | Cheia Máxima Provável |
| CMSE | Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico |
| CNPE | Conselho Nacional de Política Energética |
| CNRH | Conselho Nacional de Recursos Hídricos |
| CNTP | Condições Normais de Temperatura e Pressão |
| CO | Centro-Oeste |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CONFEN | Conselho Federal de Engenharia e Agronomia |
| CPFL | Companhia Paulista de Força e Luz |
| CPRM | Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais |
| CREA | Conselho Regional de Engenharia e Agronomia |
| CSN | Companhia Siderúrgica Nacional |
| CVRD | Companhia Vale do Rio Doce |
| DC | Depois de Cristo |
| DF | Descarregador de Fundo (Outlet) |
| DNAEE | Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (extinto) |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| DRDH | Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica |
| DRM-RJ | Departamento de Recursos Minerais – Rio de Janeiro |
| DSP | Despacho |
| EFC | Enrocamento com Face de Concreto |
| EI | Ensaio de Infiltração |
| EIA | Estudo de Impacto Ambiental |
| EIH | Estudo de Inventário Hidrelétrico |

| | |
|----------|--|
| El | Elevação |
| ELB | ELETROBRAS Centrais Elétricas Brasileiras |
| ELN | ELETRO NORTE Centrais Elétricas do Norte do Brasil |
| ESUL | ELETROSUL Centrais Elétricas do Sul do Brasil |
| ENERAN | Comitê Coordenador dos Estudos Amazônia |
| ENERSUL | Empresa Energética do Mato Grosso do Sul |
| EPA | Ensaio de Perda d'Água Sob Pressão |
| EPC | <i>Engineering, Procurement and Construction</i> (Eng., Fornecimento e Construção) |
| EPC-M | <i>Engineering, Procurement and Construction and Management</i> |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| ESCELSA | Espírito Santo Centrais Elétricas S. A. |
| EVE | Estudo de Viabilidade Econômica |
| FCP | Fundação Cultural Palmares |
| FCTH | Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – Universidade de São Paulo |
| FEED | Front-end Engineering Design, que é o Projeto Básico Detalhado |
| FEMA | Agência Federal de Gestão de Emergências (EUA) |
| FERC | Comissão Reguladora Federal de Energia |
| FS | Fator de Segurança |
| FUNAI | Fundação Nacional do Índio |
| FURNAS | Furnas Centrais Elétricas |
| GCOI | Grupo Coordenador para a Operação Interligada |
| GCPS | Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema |
| GF | Garantia Física |
| GIS | Sistema de Informações Geográficas |
| GPR | Ground Penetration Radar |
| GPS | Global Positioning System |
| GSF | Generating Scaling Factor |
| GW | Giga Watt |
| HDC | Hydraulic Design Criteria – Corps of Engineers |
| HDS | Hydraulic Design of Spillways |
| HDSBED | Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators |
| HEC-RAS | Hydrologic Engineering Center-River Analysis System |
| HIDROESB | Laboratório Hidrotécnico Saturnino de Brito-RJ |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICMBIO | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade |
| ICODS | Comissão Interinstitucional sobre Segurança de Barragens |
| ICOLD | Comissão Internacional de Grandes Barragens |
| IEC | International Electrotechnical Commission |

| | |
|-------|---|
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IEF | Instituto Estadual de Florestas |
| INEA | Instituto Estadual do Ambiente – Rio de Janeiro |
| IPHAN | Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo |
| JNCLD | Japanese National Committee on Large Dams |
| L | Leste |
| LF | Licença de Funcionamento |
| LI | Licença de Instalação |
| LIGHT | Light Serviços de Eletricidade S. A. |
| LO | Licença de Operação |
| LP | Licença Prévia |
| MAB | Movimento dos Atingidos por Barragens |
| MAE | Mercado Atacadista de Energia |
| MCH | Micro Central Hidrelétrica |
| MD | Margem Direita |
| ME | Margem Esquerda |
| MEF | Método dos Elementos Finitos |
| MG | Minas Gerais |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MME | Ministério das Minas e Energia |
| MOU | Memorandum of Understanding |
| MRE | Mecanismo de Realocação da Energia |
| MST | Movimento dos Trabalhadores Sem Terra |
| N | Norte |
| NA | Nível d'Água |
| NBR | Norma Brasileira |
| NIT | Norwegian Institute of Technology. Hydropower Development |
| NPSH | Net Positive Suction Head |
| NUST | Norwegian University of Science and Technology |
| O | Oeste |
| ONG | Organização Não Governamental |
| ONS | Operador Nacional do Sistema Elétrico |
| OPE | Orçamento Padrão Eletrobrás |
| PB | Projeto Básico |
| PBA | Projeto Básico Ambiental |
| PBC | Projeto Básico Consolidado |
| PBE | Projeto Básico de Engenharia |
| PCH | Pequena Central Hidrelétrica (5 MW < P < 30 MW) |

| | |
|--------|--|
| PI | Potência instalada; Poço de Inspeção |
| PMCH | Pequena e Média Central Hidrelétrica (5 MW<P<30 MW) |
| PMF | Cheia Máxima Provável |
| PMP | Precipitação Máxima Provável |
| PNSB | Política Nacional de Segurança de Barragens |
| POC | Plano de Operação de Comportas |
| PPA | Power Purchase Agreement |
| PSB | Plano de Segurança de Barragem |
| PVC | Cloreto de Polivinil |
| RAS | Relatório Ambiental Simplificado |
| RE | Relatório |
| RES | Resolução |
| RDH | Reserva de Disponibilidade Hídrica |
| RDPA | Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais |
| RIMA | Relatório de Impacto Ambiental |
| RJ | Rio de Janeiro |
| RLO | Renovação da Licença de Operação |
| RMR | Rock Mass Rating |
| S | Sul |
| SCG | Superintendência de Concessão da Geração (ANEEL) |
| SE | Sudeste; Subestação; |
| SEED | Avaliação da Segurança das Barragens Existentes (Safety Evaluation of Existing Dams) |
| SEV | Sondagem Elétrica Vertical |
| SFG | Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (ANEEL) |
| SGH | Superintendência de Gestão e Estudos Hidroenergéticos (ANEEL) |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| SI | Sistema Internacional de Unidades |
| SNGB | Seminário Nacional de Grandes Barragens |
| SNISSB | Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens |
| SP | São Paulo |
| SP | Sondagem a Percussão |
| SPC | Specific Purpose Company (Companhia de Propósito Específico) |
| SPT | Standard Penetration Test |
| SR | Sondagem Rotativa |
| SRG | Superintendência de Regulação dos Serviços de Geração |
| SRIH | Scientific Research Institute of Hydrotechnics (Leningrad) |
| SSARR | Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation |
| SSM | Standard Step Method for Backwater Computations |
| SUCS | Sistema Unificado de Classificação dos Solos |
| SSM | Standard Step Method |

| | |
|----------|---|
| ST | Sondagem a Trado |
| TA | Tomada d'Água |
| TAC | Termo de Ajuste de Conduta |
| TBM | Tunelling Boring Machine |
| TEIF | Taxa de Indisponibilidade Forçada (%) |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| TR | Tempo de Recorrência |
| TVA | Tennessee Valley Authority |
| UC | Unidade de Conservação |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UFRJ | Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| UHE | Usina Hidrelétrica (> 30 MW) |
| UHR | Usina Hidrelétrica Reversível |
| UNCITRAL | United Nations Commission on International Trade Law |
| USA | United States of America |
| USACE | United States Army Corps of Engineers |
| USBR | United States Bureau of Reclamation |
| USCOLD | United States Committee on Large Dams |
| USELPA | Usinas Hidrelétricas do Rio Paranapanema |
| USGS | United States Geological Survey (1879) |
| USP | Universidade de São Paulo |
| UTE | Usina Termoelétrica |
| VMP | Vazão Máxima Provável |
| VT | Vertedouro |
| WES | Waterways Experiment Station (Corps of Engineers – USA) |
| WMO | World Meteorological Organization |
| WP&DC | Water Power and Dam Construction |

Apresenta-se neste anexo exemplos adicionais de arranjos de usinas hidrelétricas para os usuários, principalmente os mais novos, verem que para os sítios com características topográficas similares os arranjos são semelhantes. Cada arranjo tem muito a ver com a experiência e a preferência pessoal de cada empresa de projetos.

Os leitores podem observar, pela coluna “**Ano de Operação**”, que o ritmo de construção de hidrelétricas no Brasil no século passado era intenso. E vejam que vários outros exemplos de usinas brasileiras não estão na lista.

Destaca-se que ao longo do livro outros arranjos são apresentados. **Arranjos compactos**, com todas as estruturas do barramento num mesmo eixo, e **arranjos de derivação**, com a casa de força a jusante distante da barragem.

| | Usina | Rio | Potência (MW) | Ano de operação |
|----|---------------------------|--------------------------------|---------------|-----------------|
| 1 | Balbina | Uatumã | 257,5 | 1989 |
| 2 | Tucuruí | Tocantins | 8.400 | 1984 |
| 3 | Sobradinho | São Francisco | 1.050 | 1979 |
| 4 | Complexo Paulo Afonso | - | - | - |
| 5 | - PA I | São Francisco | 180 | 1954 |
| 6 | - PA II | São Francisco | 420 | 1961 |
| 7 | - PA III | São Francisco | 794,2 | 1971 |
| 8 | - PA IV | São Francisco | 2.460 | 1983 |
| 9 | - Moxotó (Apolônio Sales) | São Francisco | 440 | 1975 |
| 10 | Xingó | São Francisco | 3.126 | 1997 |
| 11 | Serra da Mesa | Tocantins | 1.275 | 1997 |
| 12 | Nova Ponte | Araguari | 510 | 1995 |
| 13 | Corumbá I | Corumbá | 375 | 1997 |
| 14 | Funil (RJ) | Parába do Sul | 223 | 1969 |
| 15 | Itaipu | Paraná | 14.180 | 1984 |
| 16 | Barra Grande | Pelotas | 708 | 2005 |
| 17 | Campos Novos | Canoas | 900 | 2006 |
| 18 | Itá | Uruguai | 1.450 | 2000 |
| 19 | Dona Francisca | Jacuí | 125 | 2001 |
| 20 | Monjolinho | Passo Fundo | 74 | 2009 |
| 21 | Pinalito | Tireo (Rep. Dominicana) | 46,5 | 2009 |
| 22 | Yellowtail | Bighorn (EUA-MO) | 250 | 1966 |
| 23 | Theodore Roosevelt | Salt (EUA-AZ) | 36 | 1911 |
| 24 | Buffalo Bill | Shoshone (EUA-WY) | 5 | 1910 |
| 25 | Parker | Colorado (EUA-AZ) | 120 | 1938 |
| 26 | Fort Peck | Missouri (EUA-MO) | 185 | 1940 |
| 27 | Oroville | Feather (EUA-CA) | 675 | 1967 |
| 28 | Cherry | Cherry (EUA-CA) | 124 | 1956 |
| 29 | Brownlee | Snake (EUA-ID-OR) | 585 | 1988 |
| 30 | Oxbow | Snake (EUA-ID-OR) | 190 | 1961 |
| 31 | Hells Canyon | Snake (EUA-ID-OR) | 391 | 1968 |
| 32 | Nantahala | Nantahala (EUA-NC) | 43,2 | 1942 |
| 33 | Boundary | Pend Oreile (EUA-WA) | 1.000 | 1967 |
| 34 | Wanapum | Columbia (EUA-WA) | 831 | 1964 |
| 35 | Wells | Columbia (EUA-WA) | 820 | 1969 |
| 36 | Dworshak | North Fork Clearwater (EUA-ID) | 400 | 1973 |
| 37 | Libby | Kootenai (EUA-MO) | 600 | 1957 |

1. UHE Balbina

A UHE Balbina (1989), com potência instalada de 257,50 MW, está implantada no rio Uatumã, no Estado do Amazonas (Fig. 3.15 A e B)).

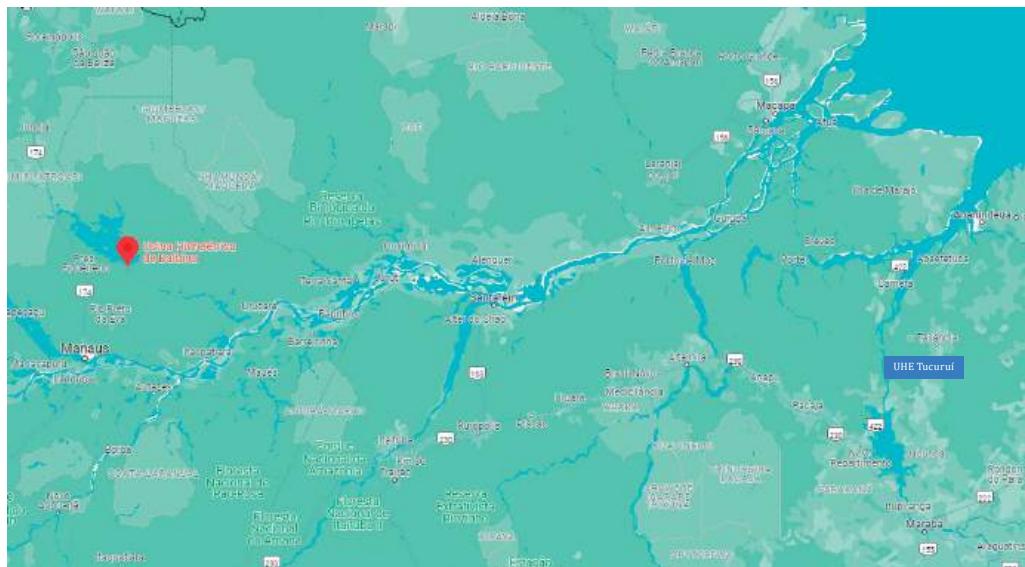


Fig. 3.15 A – UHE Balbina – Mapa de localização.
Observar local da UHE Tucuruí e sítio da UHE Belo Monte.



Fig. 3.15 B – UHE Balbina.
Foto aérea do sítio (1977).
(Revista Eletronorte).
Observar “Ilha do Meio”,
onde foi implantado o vertedouro.

O reservatório, NAmáx normal, na El. 50,00 m, inunda uma área de 2.360 km². Seu enchimento começou em outubro/1987. A 1^a máquina entrou em operação em fevereiro/1989.

O eixo do barramento está num local sem queda natural, em planície, com uma extensão de 3,2 km, aproximadamente. Com essas características, o arranjo geral das obras selecionado contempla, além das barragens de concreto com 334 m de extensão, estruturas da tomada de água/casa de força e do vertedouro, barragens de terra com 2.930 m de extensão, anexas,

para fechar o rio, por serem mais baratas. Se no local tiver, por exemplo, muito cascalho, a seção pode ser mista.

No caso da UHE de Balbina, o arranjo (Fig. 3.16) contempla:

- barragens de terra em ambas as margens e de enrocamento no leito do rio, com 2,93 km de extensão total e 31 m de altura máxima; os pontos de fuga do reservatório foram fechados com diques de terra;
- muros de transição direito e esquerdo;
- vertedouro, como barragem de gravidade, com 74 m de comprimento, com 4 comportas de 13,5 m de largura por 13,5 m de altura cada e capacidade máxima de vazão de 5.840 m³/s; dissipação de energia em ressalto hidráulico (bacia);
- tomada de água com casa de força no pé da barragem com comprimento total de 124 m, com cinco máquinas Kaplan com queda líquida de 23,2 m e potência unitária de 51,50 MW.



Fig. 3.16 – UHE Balbina.

Fonte: Revista ELN (1998).

Notas:

- 1) A quinta unidade entrou em operação em julho de 1990;
- 2) Observar as correntes de retorno características entre o vertedouro e a barragem, impactando sobre o talude de jusante da barragem e entrando na bacia de dissipação;
- 3) Observar, também, que o muro lateral direito da bacia, que separa os escoamentos do vertedouro e do canal de fuga, é maior que o muro esquerdo da bacia. Essa solução é adotada rotineiramente.
- 3) As fases de desvio do rio são mostradas nas figuras a seguir (Figs. 3.17 a 3.19).



Fig. 3.17 – UHE Balbina

– 1^a fase de desvio.



Fig. 3.18 – UHE Balbina.
1^a fase de desvio.
(1981- EletroNorte).



Fig. 3.19 – UHE Balbina.
2^a fase de desvio.
(1985 - EletroNorte).

2. UHE Tucuruí

A UHE Tucuruí, 8.400 MW, está implantada no rio Tocantins (1984), no exutório da bacia dos rios Tocantins e Araguaia, como mostra a figura 3.20 a seguir.

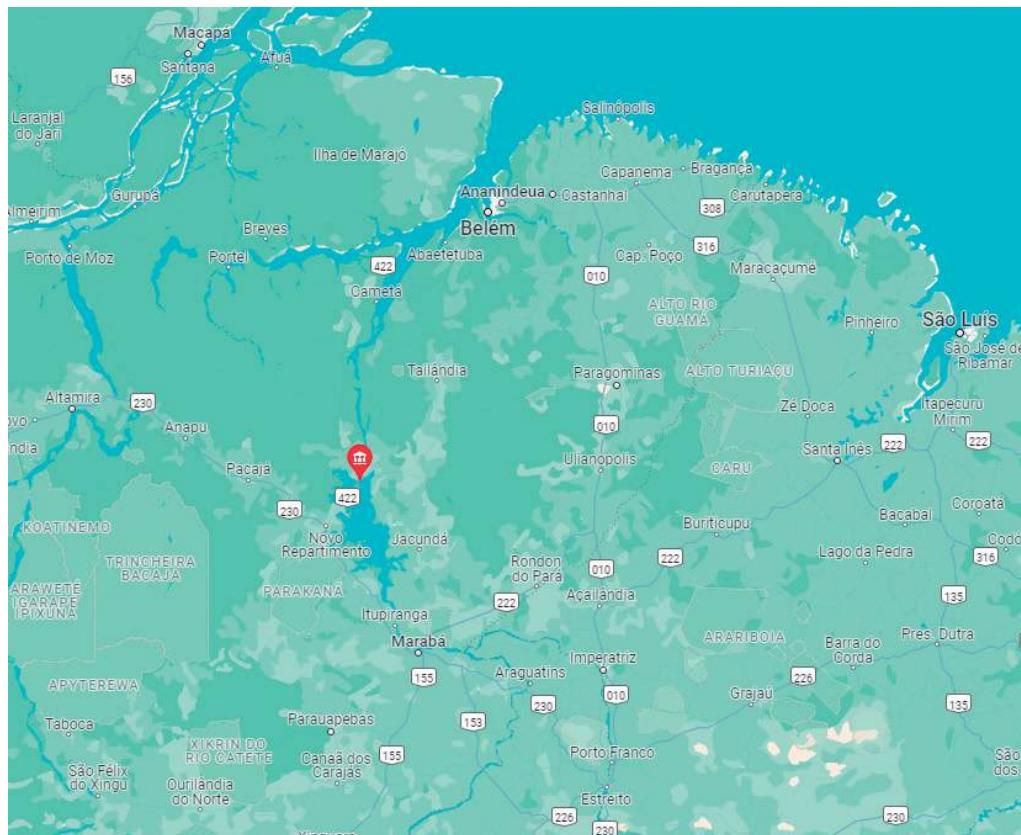


Fig. 3.20 – UHE Tucuruí – Mapa de localização.

Destaca-se que o eixo do barramento se situa num local sem queda natural, em planície, com uma extensão de 7,0 km. Como no caso anterior, num local com essas características, muito largo, a barragem, usada para criar a queda, é principalmente de terra por ser mais barata. As estruturas hidráulicas do barramento são de concreto convencional.

Cabe citar que a margem do rio está na cota +10,00 m e o fundo do rio é variável. A região a montante do vertedouro está na cota 0,00 m. A profundidade do canal do rio é de 10 m.

O arranjo geral das obras (Fig. 3.21) de barramento contempla estruturas com dimensões extraordinárias:

- Barragem de Terra da Margem Direita com 3,6 km de extensão e 95 m de altura máxima;
 - Vertedouro em barragem a gravidade com 92 m de altura e 602 m de comprimento, 23 comportas de 20 m de largura por 21 m de altura cada e capacidade máxima de vazão de 110.000 m³/s; dissipação de energia em salto de esqui ;
 - Tomada de água a gravidade/casa de força com comprimento total de 1.000 m, com 22 máquinas Francis e potência total de 8.400 MW;
 - Barragem de ligação da margem esquerda com 520 m de extensão;
 - Eclusas de navegação com duas câmaras de 210 m de comprimento x 33 m de largura; os desníveis são de 37,8 m na câmara de montante e 35 m na de jusante; o canal intermediário tem 5,5 km de comprimento e largura mínima de 140 m na base; sua largura permite manobras dos comboios e a operação independente das eclusas;
 - Dique da Margem Esquerda com 780 m de extensão.

Registra-se que a Fig. 8.2 apresenta um corte típico da estrutura de tomada de água/casa de força da usina. Destacam-se os NAs operativos do reservatório:

- NA máx maximorum, El. 75,30 m;
- NA máx normal, na El. 72,00 m;
- NA mín normal, na El 58,00 m;
- NA mín operativo, na El. 51,60 m.

Registra-se que, para os níveis extremos, a depleção máxima é de 23,70 m. No NAmáx normal, a área inundada é de 2.875 km².

Os volumes das obras civis da 1^a Etapa, extraídos da Memória Técnica (1989) são:

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| ▪ Escavação em terra | 27,5 x 106 m ³ ; |
| ▪ Escavação em rocha | 22,8 x 106 m ³ ; |
| ▪ Solo compactado | 55,5 x 106 m ³ ; |
| ▪ Enrocamento | 20,4 x 106 m ³ ; |
| ▪ Filtros e transições | 5,0 x 106 m ³ ; |
| ▪ Concreto | 6,25 x 106 m ³ . |

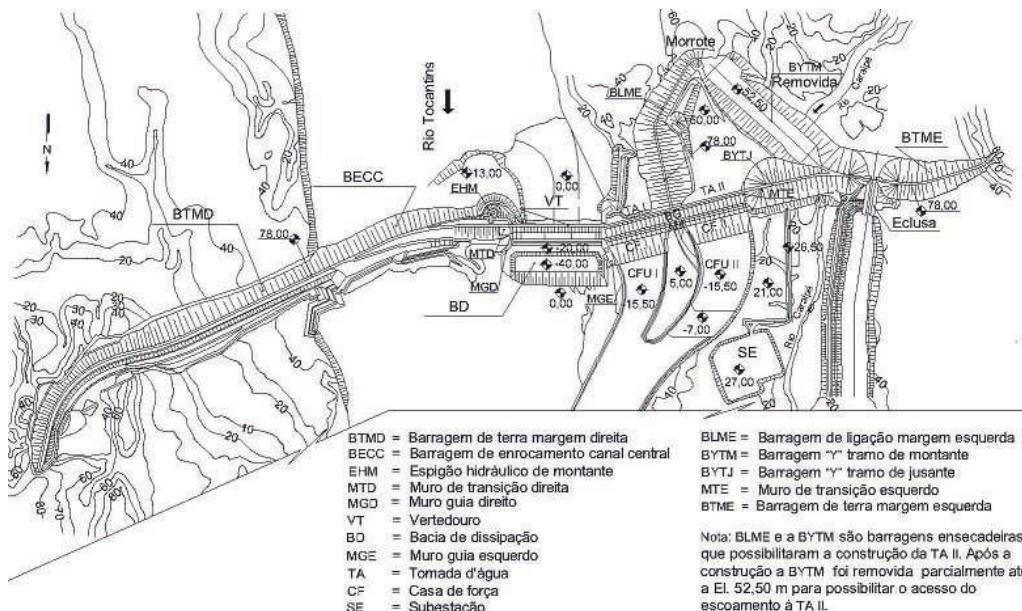


Fig. 3.21 – UHE Tucuruí – Arranjo geral das obras.



Fig. 3.22 – UHE Tucuruí.
 Vertedouro parcial;
 espigão hidráulico da
 barragem no canal central;
 barragem margem direita.
 Início enchimento do
 reservatório, julho/1984.

Na figura anterior (Fig. 3.22) notar, em primeiro plano, o Espigão Hidráulico de Montante (EHM). Essa estrutura foi projetada com a finalidade de melhorar a acomodação do escoamento de aproximação aos vãos da extremidade direita do vertedouro. Esse esquema foi testado detalhadamente no modelo reduzido tridimensional (Esc. 1:150), na HIDROESB - Rio de Janeiro. Na Fig. 3.23 a seguir um panorama das estruturas vistas de jusante.



Fig. 3.23 – UHE Tucuruí
– Vista aérea de jusante.
Barragem do canal central, parcial, vertedouro, casas de força I e II e barragem de ligação/eclusa.
(Eng. Álvaro Lima de Araújo, ELN).

3. UHE Sobradinho

A UHE Sobradinho (1979), com 1.050 MW de potência instalada, está implantada no trecho submédio do rio São Francisco, no Estado da Bahia, como mostrado na figura 3.24 a seguir.

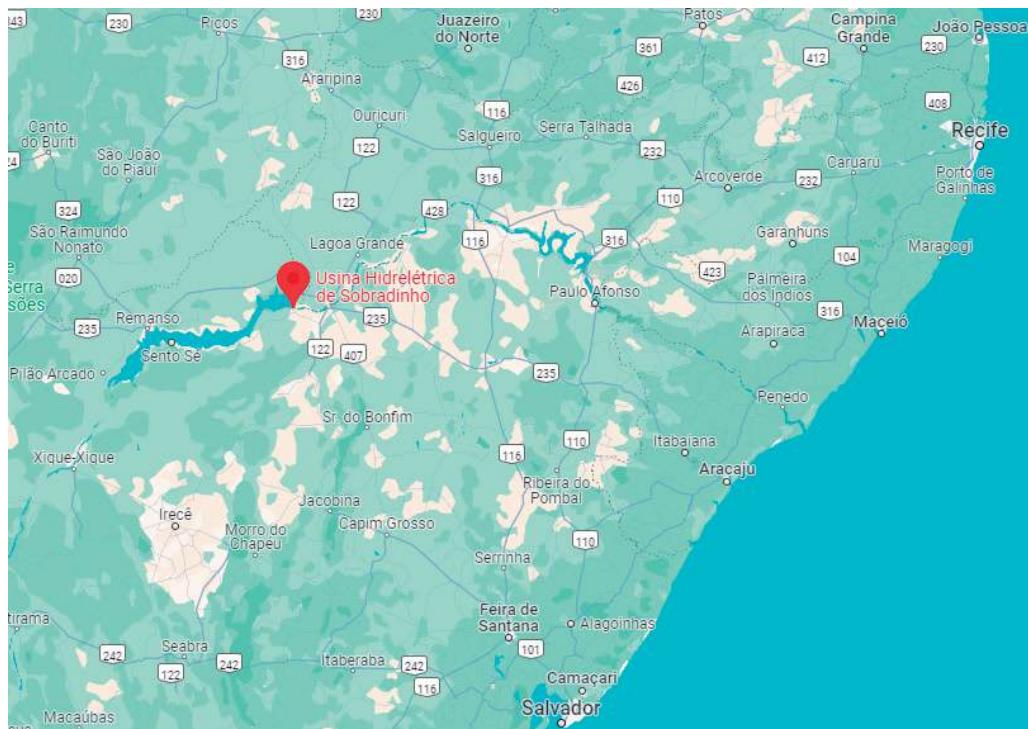
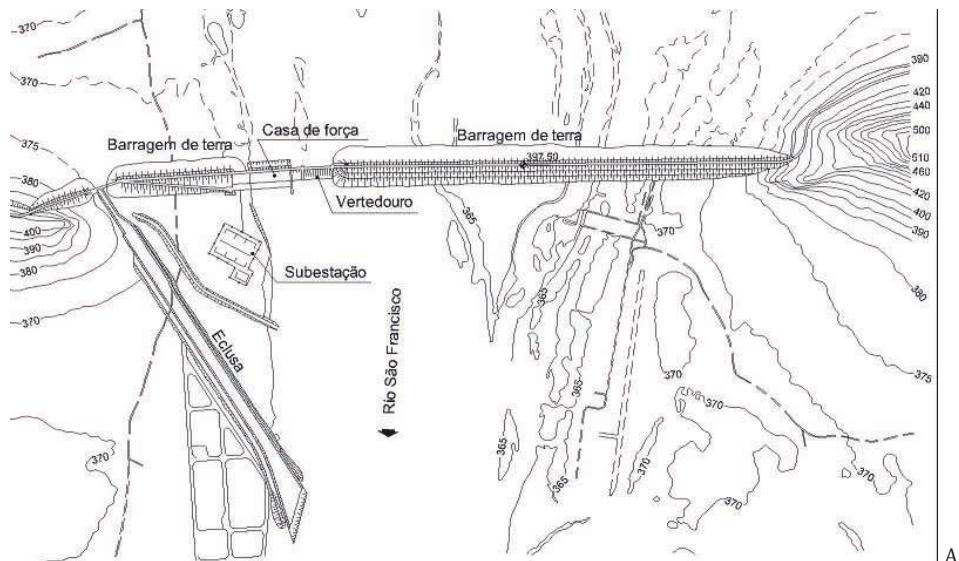


Fig. 3.24 – UHE Sobradinho. Mapa de localização.

As principais estruturas podem ser visualizadas nas Figs. 3.26,3.28 e 3.29. A margem do rio está na cota 365,00 m e o fundo do rio na cota 354,00 m. A profundidade do canal do rio é de aproximadamente 11 m. O arranjo (Fig. 3.25) contempla as seguintes estruturas:

- Barragens (Ver seção na Fig. 3.27) e Diques com 8.532 m de comprimento e altura máxima de 41 m;
- Vertedouro de superfície: 4 comportas;
- Vertedouro de Fundo: 12 comportas; $Q = 22.080 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Tomada de água/Casa de Força com 6 blocos de 33 m de largura cada, abrigando 6 turbinas Kaplan de 175 MW de potência unitária, queda nominal de 27,2 m, vazão $710 \text{ m}^3/\text{s}$; diâmetro de 9,5 m.
- Tomada de água para irrigação na margem esquerda, no Dique B, para $25 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Eclusa na margem direita para vencer um desnível de 32,5 m; dimensões da câmara: 120 m x 17 m.

O reservatório no NAmáx normal, El. 392,50 m, **regulariza uma vazão mínima de 2.060 m³/s com um deplecionamento de 12 m**, quando atinge seu NAmín operacional na El. 380,50 m. A área inundada no NAmáx é de 4.214 km².



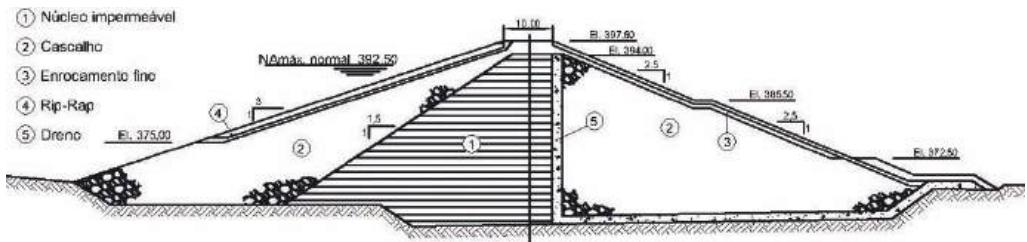


Fig. 3.27 – UHE Sobradinho (BA) – Barragem - seção (CBDB, 1982).
Seção zoneada, com núcleo de argila e espaldares de cascalho.

Volumes das obras civis principais:

- Escavação em terra $6,2 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Escavação em rocha $3,3 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Aterros $19 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Concreto $1,72 \times 10^6 \text{ m}^3$, aproximadamente.



Fig. 3.28 – UHE Sobradinho.
Estruturas de concreto,
vertedouro de fundo, vertedouro de
superficie em funcionamento,
e casa de força. Ao fundo, barragem da
margem direita.



Fig. 3.29 – UHE Sobradinho. Vista da
margem direita. Barragem MD, elusa,
barragem central/subestação, TA/CF,
vertedouros, barragem ME.

4. Complexo Paulo Afonso

Cabe fazer um registro resumido sobre o Complexo Hidrelétrico Paulo Afonso da CHESF, Companhia Hidrelétrica do São Francisco. O complexo é composto pelas usinas PA I, PA II, PA III e PA IV, mais a usina de Moxotó, no rio São Francisco (BA/AL/PE), como mostrado nas figuras 3.30 a 3.34(MBD, 1982). Registra-se que a CHESF foi fundada em 1948 e tem sede em Recife (PE).



Fig. 3.30 – Complexo Paulo Afonso – Imagem de satélite.

A usina PA I, com 180 MW de potência instalada, foi construída de 1949 a 1954. O arranjo é composto por barragem de gravidade com 4.215 m de comprimento, vertedouro com capacidade de 22.000 m³/s e casa de força subterrânea com três máquinas Francis de 60 MW. A usina foi planejada para permitir expansões.

A usina PA II, com 420 MW de potência instalada, foi construída entre 1955 e 1961. Tem três unidades Francis de 65 MW e três unidades Francis de 75 MW.

A usina PA III, com 794,2 MW de potência instalada, foi construída entre 1967 e 1971. Tem 4 máquinas Francis de 198,55 MW.

Em 1971 foi iniciada a construção da UHE Moxotó, 440 MW, 3 km a montante de PA I, com 4 máquinas Kaplan de 110 MW. A barragem, de terra e enrocamento, forma um reservatório com 1,2 bilhões de metros cúbicos para regulação do rio São Francisco. Na margem direita do reservatório de Moxotó a água é desviada por um canal com 5,6 km de extensão e capacidade de vazão de 10.000 m³/s para abastecer PA IV e com a possibilidade de, no futuro, abastecer PA V.

A construção de PA IV (2.460 MW) começou em 1974 e terminou em maio 1983. Tem uma queda bruta de 112,5 m e 6 unidades Francis de 410 MW cada. PA IV foi planejada para operar com o fluxo contínuo de Sobradinho (470 km a montante).

Todas as usinas do Complexo Paulo Afonso têm casas de força subterrâneas. A caverna de PA IV tem 222,6 m de comprimento, por 54 m de altura e largura máxima de 24 m. Seu ponto mais baixo está a 110 m da superfície do reservatório. Para detalhes ver MBD (1982).

A geologia regional é composta de anfibolitos e anfibolitos gnáissicos, bem como de veios de aplitos (granitos de textura muito fina) e migmatitos usualmente paralelos às camadas do gnaisse. Os tipos litológicos que ocorrem na região das casas de força são: biotita xistos, anfibolitos, granito rosa, biotita-gnaisse e migmatito. Falhas e fraturas ocorrem em todas essas litologias.

O arranjo geral das obras dessas usinas pode ser visto nas figuras apresentadas a seguir extraídas da internet.



Fig. 3.31 – Em primeiro plano, UHEs Paulo Afonso I, II e III. Ao fundo nota-se Paulo Afonso IV e seu reservatório. Entre essas usinas situa-se a cidade de Paulo Afonso.

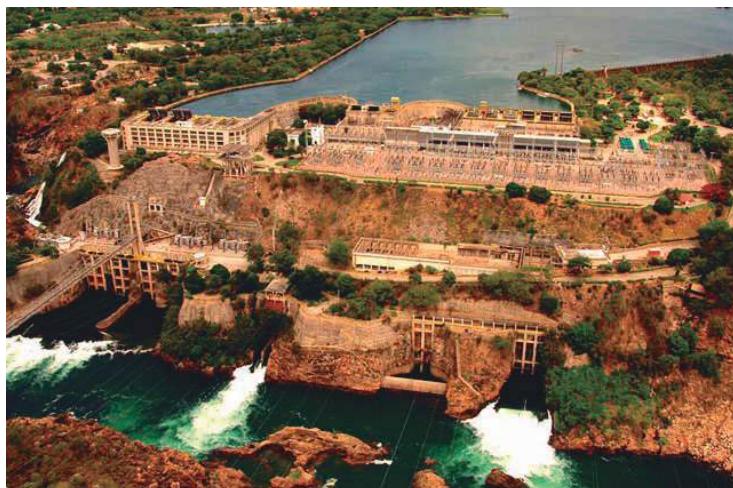


Fig. 3.32 – UHEs Paulo Afonso I, II e III. Vista de jusante.

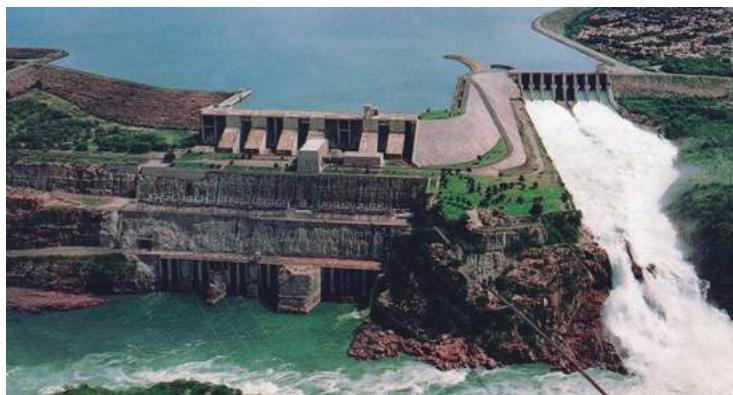


Fig. 3.33 – UHE Paulo Afonso IV.

5. UHE Xingó

A UHE Xingó, 3.162 MW – 6 unidades, foi construída entre 1987 e 1997 no rio São Francisco, na divisa de Alagoas e Sergipe, a jusante do Complexo Paulo Afonso (Fig. 3.34). Seu reservatório, com NAmáx na El 130,00 m, alaga uma área de 60 km².

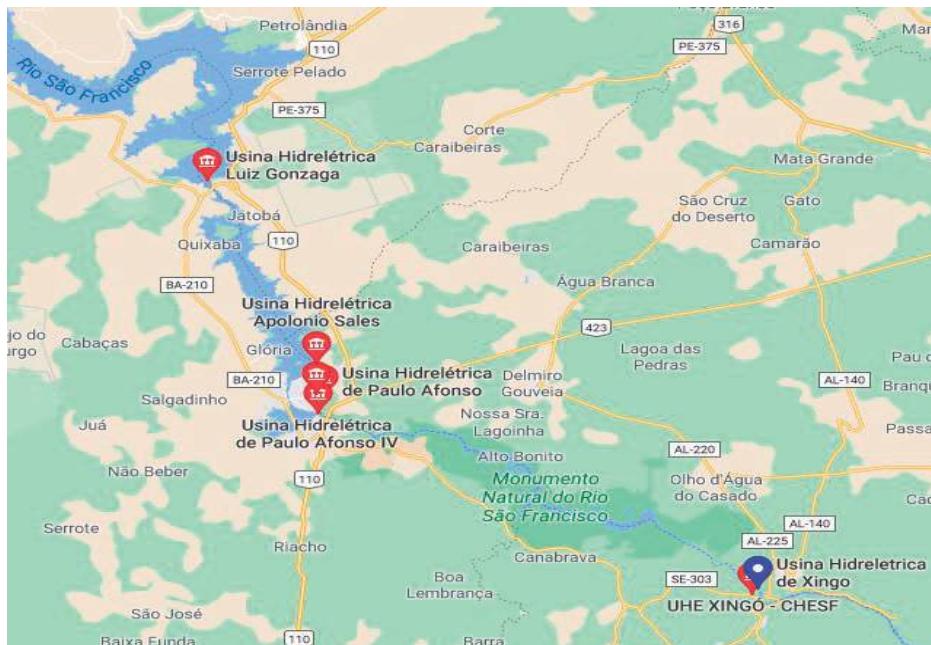


Fig. 3.34 – UHE Xingó. Mapa de localização.



Fig. 3.35 – UHE Xingó. Arranjo Geral.

Fig. 3.35 – UHE Xingó. Arranjo Geral.

O Arranjo Geral pode ser visualizado na Fig. 3.40. O circuito de geração foi posicionado na ombreira direita e o vertedouro na ombreira esquerda (Fig. 3.35). O vertedouro (Fig. 3.38 e 3.39), com duas calhas e 12 comportas de 14,8 x 20,7 m, tem capacidade de vazão de 33.000 m³/s. A calha direita, revestida, é o vertedouro de serviço. A calha esquerda, não revestida, é de emergência. Foi planejada para operar quando a descarga excede 17.500 m³/s (TR=200 anos). As calhas têm dimensões de 251 m de comprimento e 109 m de largura.

O rio foi desviado em duas fases: na primeira, o rio permaneceu escoando em sua calha natural (Fig. 3.36 e 3.37). Dentre as obras executadas nesta fase incluíram-se os 4 túneis na margem direita para a segunda fase de desvio.



Fig. 3.36 – UHE Xingó. 1^a Fase de desvio.



Fig. 3.37 – UHE Xingó. 2^a Fase de desvio.

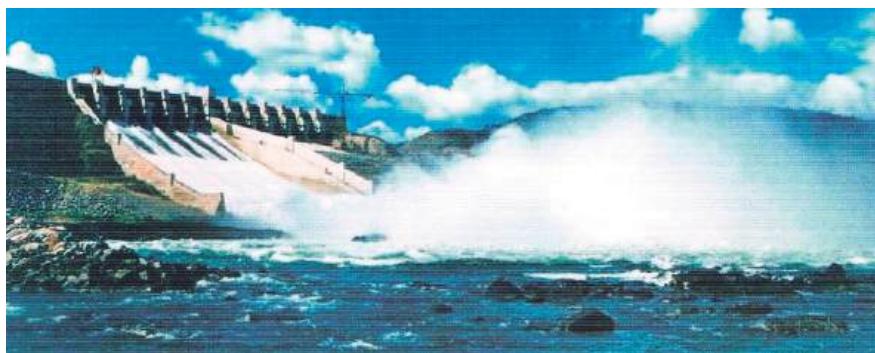


Fig. 3.38 – UHE Xingó. Vertedouro de serviço.



Fig. 3.39 – UHE Xingó.
Vertedouro de emergência.

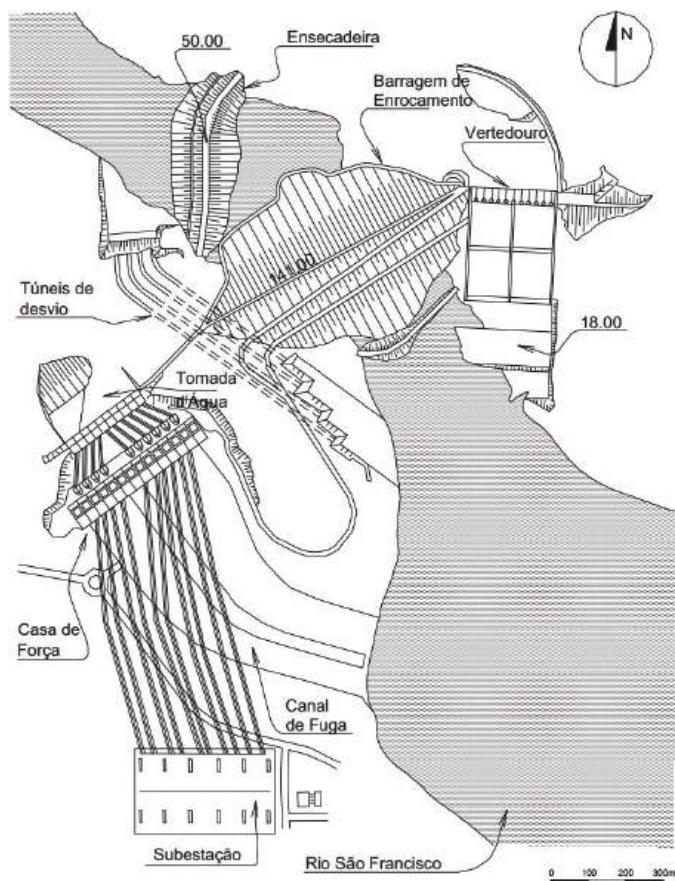


Fig. 3.40 – UHE Xingó. Arranjo Geral. Planta.

Volumes das Obras Civis - Resumo

| Obra | Volume (m ³) |
|-----------------------|--------------------------|
| Escavação comum | 3.63 |
| Escavação rocha | 13×10^6 |
| Escavação subterrânea | 7×10^5 |
| Enrocamento | 13×10^6 |
| Aterro compactado | 2×10^6 |
| Transições / filtros | $8,5 \times 10^5$ |
| Concreto | $1,2 \times 10^6$ |

6. UHE Serra da Mesa

A UHE Serra da Mesa – 1.275 MW (1997) de propriedade de FURNAS Centrais Elétricas situa-se no trecho alto rio Tocantins (Fig. 3.41).

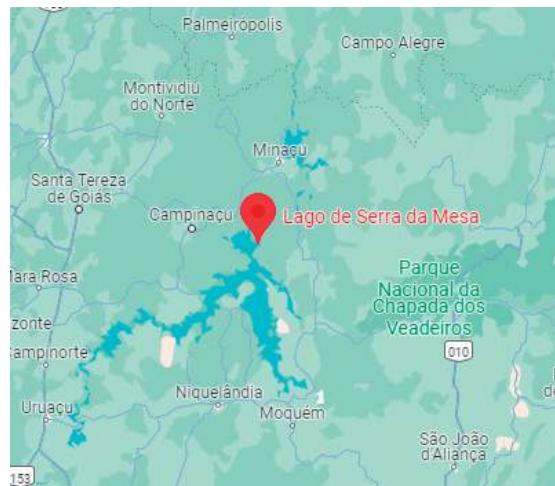


Fig. 3.41 – UHE Serra da Mesa (TO) – Mapa de localização.

O arranjo geral das obras é convencional e está apresentado na Fig. 3.42 seguir. É composto por barragem no leito do rio/ombreiras, vertedouro em calha na ombreira direita (Ver corte típico na Fig. 3.43 e Fotos aéreas nas Figs. 3.44 e 3.45) e circuito de adução e geração na ombreira esquerda. A casa de força é subterrânea.

Os níveis do reservatório foram fixados nas elevações: NA normal El. 460,00 m; NAmín normal na El. 417,30 m.; NAmáx max do reservatório El. 461,50 m. A área total inundada é de 1.784 km² e o volume total é de 54,4x10⁹ m³. O volume útil é de 43,5x10⁹ m³. O nível de desapropriação está na El. 460,50 m. O NA normal de jusante está na El. 334,50 e o NAmín na El. 328,00 m. A queda bruta do empreendimento é de 125,50 m.

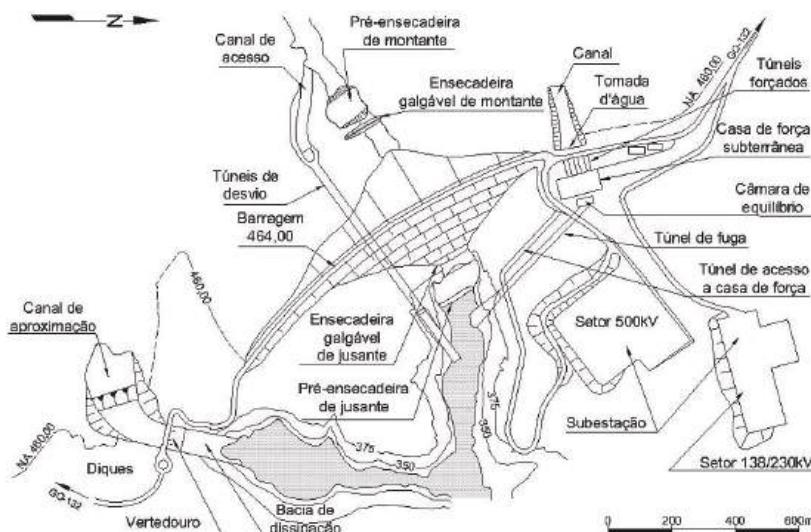


Fig. 3.42 – UHE Serra da Mesa (TO) – Arranjo geral das obras.

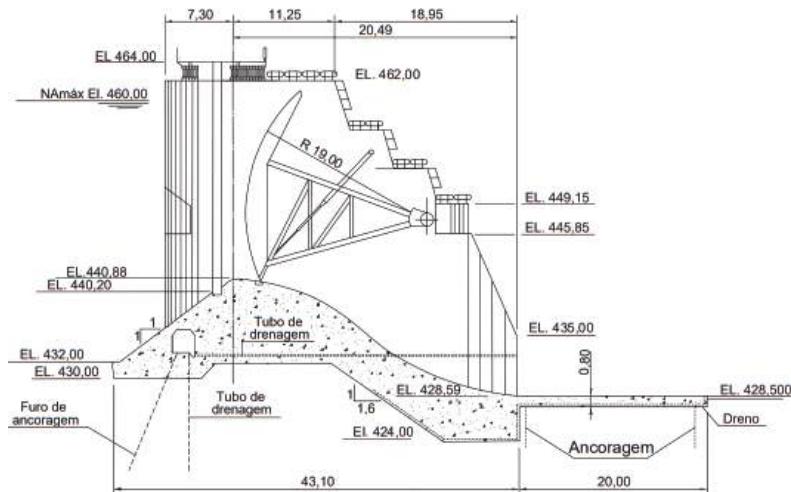


Fig. 3.43 – UHE Serra da Mesa (TO). Vertedouro – detalhe da crista (MBD, 2000).

Segundo o CBDB (2000), devido sua capacidade e localização, o reservatório de Serra da Mesa foi planejado para operar como uma reserva estratégica para FURNAS, integrado ao SIN. O volume armazenado seria usado nos períodos críticos; nos períodos normais, o reservatório foi planejado para operar no NAmáx normal. Segundo as simulações realizadas por FURNAS (CBDB, 2000), o reservatório, se rebaixado, levaria três anos para ser reenchido.

Nota: o reservatório, desde sua inauguração em 1998, registrou um volume correspondente a 78,53% do volume útil do reservatório em 27/03/2023.

As estruturas tem as características descritas a seguir. A barragem é enrocamento com núcleo de argila, com 154 m de altura. O comprimento na crista é de 1.510 m e a largura é de 11 m. O talude de montante é 1,6 H:1,0 V e o de jusante é 1,4 H:1,0 V.

O vertedouro de superfície na ombreira direita, com 5 comportas de 15x19 m, tem um comprimento de 96 m e uma capacidade máxima de 14.750 m³/s. A calha de concreto do vertedouro tem um comprimento de apenas 20 m descarregando o escoamento no talvegue de granito da ombreira, uma solução que proporciona significativa economia de concreto.

O sistema de adução é composto de três túneis de 9,0 m de diâmetro. A casa de força subterrânea, escavada em granito são, tem 149 m de comprimento, 29 m de largura, 70 m de altura. A usina abriga três máquinas Francis de 431 MW cada e a vazão turbinada total é de 1.116 m³/s. Essa casa de força está reapresentada no Cap. 8 com mais detalhes (Figuras 8.14, 8.31 e 8.32).

Volumes das obras civis:

- escavação comum: 3.226.000 m³; escavação em rocha: 9.974.000 m³;
- barragens e diques: 12.439.000 m³; concreto: 218.000 m³.



Fig. 3.44 – UHE Serra da Mesa
Vista da margem direita. Em primeiro plano vertedouro com uma pequena laje de concreto; o resto da calha é sobre o maciço rochoso.



Fig. 3.45 – Vertedouro da UHE Serra da Mesa operando. (Internet). Observar o escoamento restituído por sobre o maciço rochoso a jusante.

7. UHE Nova Ponte

A UHE Nova Ponte (510 MW, 3 unidades Francis), de propriedade da CEMIG, situa-se no alto rio Araguari, a montante da UHE Miranda. O arranjo geral das obras é apresentado a seguir (Fig. 3.46). A obra começou em 1987 e terminou em 1995 (MBD II, 2000).

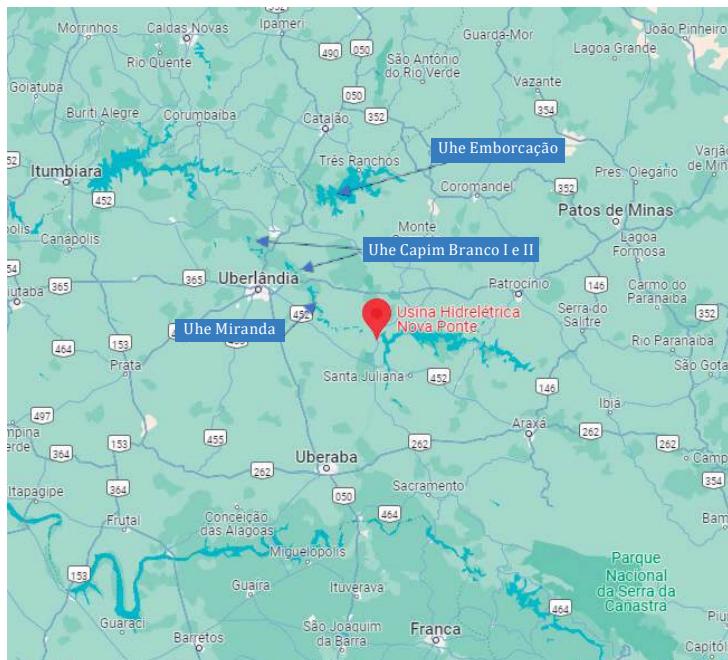


Fig. 3.46 – UHE Nova Ponte (MG) – Mapa de localização.

O NAmáx normal do reservatório está na El. 815,00 m e o NAmín operacional na El. 775,50 m. A queda bruta da usina de 118,60 m. O reservatório foi dimensionado para uma depleção de 40 m. A vazão regularizada é de 304 m³/s (51% da vazão total máxima turbinada). A evolução dos NAs do reservatório nos primeiros 20 anos de operação pode ser vista na figura a seguir. Observa-se que, após o fechamento, o NA levou quase 2 anos para atingir a cota 810,00 m. O NAmáx normal, El.,815,00 m, só foi atingido nos anos de 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 (Fig. 3.48). A área do reservatório é de 450 km² e o volume total é de 17,8 x 10⁶ m³. Cabe registrar que esse volume é 11,4% do volume represável pelos reservatórios do Sistema

SE/CO, o que representa 30% do armazenamento de água na Bacia do Rio Paranaíba (ONS). O NA normal de jusante está na El. 696,40 m e o NA mínimo na El. 695,40 m.

A barragem é enrocamento com núcleo de argila, com 142 m de altura máxima sobre as fundações e taludes de 1,65:1,0 a montante e 1,3:1,0 a jusante. O comprimento total na crista é de 1.600 m.

O vertedouro de superfície em calha na ombreira direita tem 4 comportas de 11 x 17,35 m e comprimento de 61,60 m. A capacidade máxima de vazão é de 6.140 m³/s. A calha do vertedouro tem um comprimento total de 699,50 m, sendo o trecho inicial, de 164,50 m, revestido de concreto. O restante da calha, 535 m, não é revestida. Essa solução, como a de Serra da Mesa, merece destaque, uma vez que o escoamento flui por longo trecho sobre o maciço rochoso. Não se revestiu de concreto, caro, o maciço rochoso de qualidade, o que trouxe economia para o empreendimento.

O sistema de adução na ombreira esquerda é composto de tomada de água clássica em torre com 3 blocos, 39 m de comprimento e 63 m da altura, 3 comportas, seguida de três condutos forçados em túnel com D=6,8 m. A casa de força é abrigada, com 60 m de comprimento, 37 de largura, 53 m de altura. A vazão total turbinada é de 597 m³/s. A Fig. 3.47 mostra as estruturas através de uma vista aérea.

Volumes das obras civis:

- escavação comum: 14.308.000 m³; escavação em rocha: 3.744.000 m³; barragens e diques: 13.370.000 m³; concreto: 208.000 m³, aproximadamente.



Fig. 3.47 – UHE Nova Ponte (MG).
Vista de jusante. (Internet).

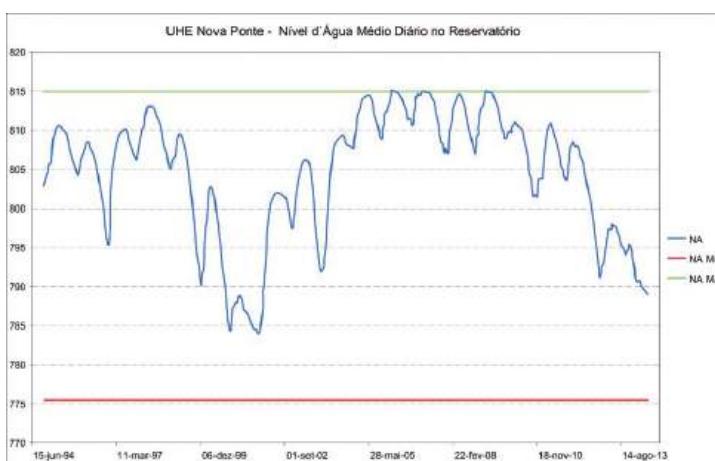


Fig. 3.48 – UHE Nova Ponte, rio Araguari (MG).
Evolução dos NAs do reservatório
(CEMIG. Agosto/2014).

8. UHE Corumbá I

A UHE Corumbá I – 375 MW (1982-1997) situa-se no rio Corumbá (GO) ao sul de Caldas Novas, como mostrado na Fig. 3.49 a seguir.

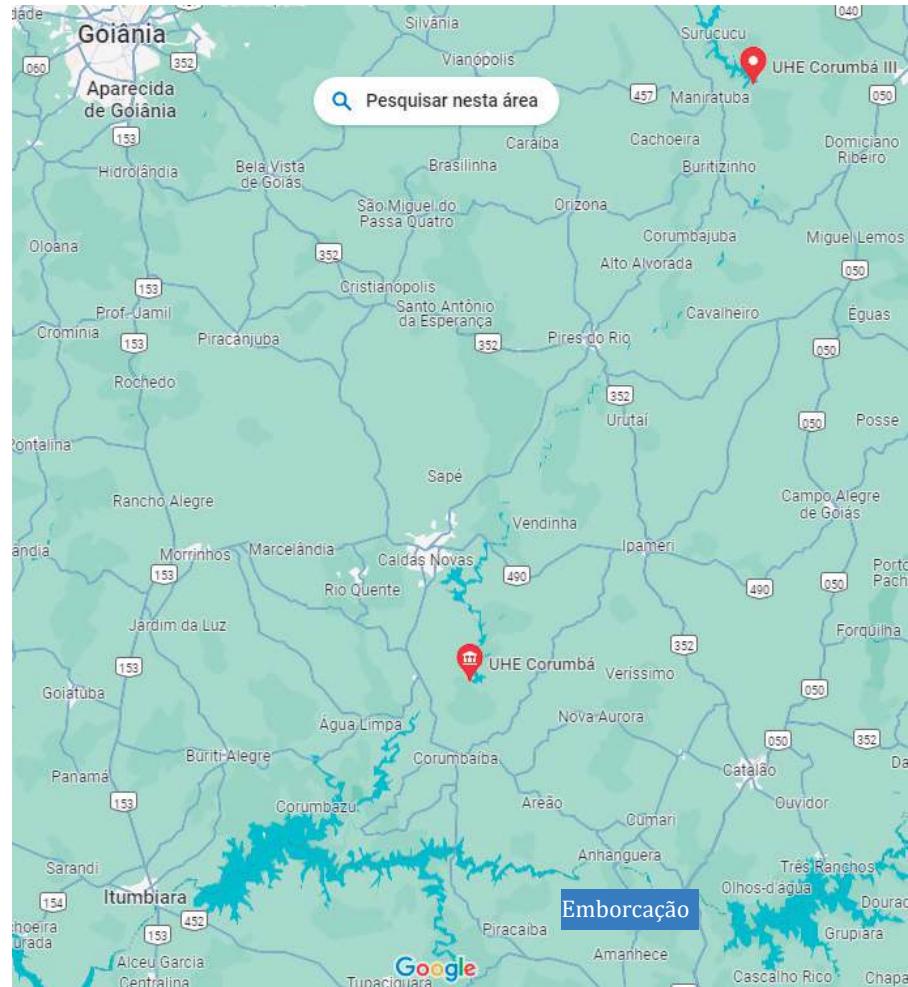


Fig. 3.49 – UHE Corumbá I – Mapa de localização.

A usina tem arranjo semelhante aos de Barra Grande e Campos Novos, com vertedouro em calha na ombreira direita e dissipador em salto de esqui, TA/CF e barragem no leito do rio até a ombreira esquerda. Os condutos forçados, aparentes, têm diâmetro interno de 6,80 m; os comprimentos variam entre 131 m e 144 m (MBD, 2000).

A barragem, com crista na El. 599,20 e 540 m de comprimento, é de enrocamento com núcleo impermeável de argila e tem 90 m de altura. No NA normal de operação, El. 595,50 m, o reservatório tem 65 km² de superfície. O NA mínimo operativo situa-se na El. 570,00 m, o que caracteriza uma depleção de 25,50 m. O volume total armazenado é de 1,5 km³.

O vertedouro, em rápido com quatro comportas de segmento de 13 m x 17 m, tem uma capacidade máxima de vazão de 6.800 m³/s (Fig. 3.50).

A tomada de água em bloco gravidade convencional tem 42 m de largura; as comportas do tipo vagão tem 5,8 m de largura e 7,6 m de altura.

A casa de força (Fig. 3.51) é do tipo tradicional, com 22 m de largura x 100 m de comprimento; abriga 3 turbinas Francis de eixo vertical, com potência unitária de 125 MW; o rotor tem diâmetro de 4,6 m; rotação de 150 rpm; a vazão turbinada é da ordem de 196 m³/s.



Fig. 3.50 – UHE Corumbá I (MBD, 2000).

Fig. 3.50 – UHE Corumbá I (MBD, 2000).

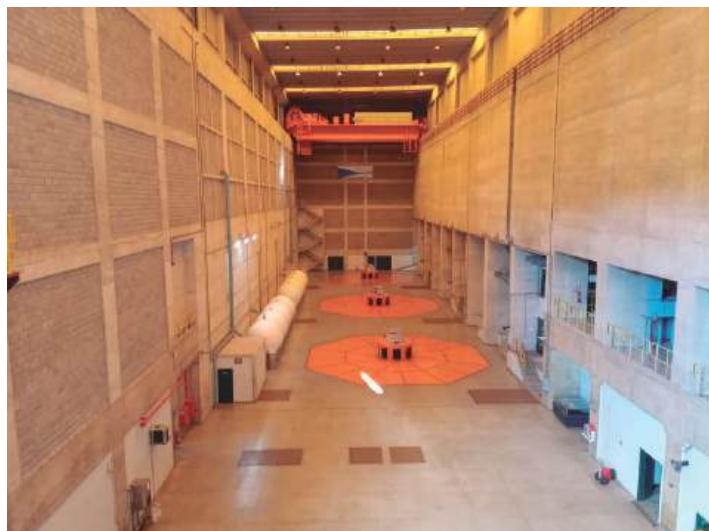


Fig. 3.51 – UHE Corumbá. Interior da casa de força-área de montagem

Os volumes das obras civis principais são:

- Escavação $5,2 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Terra e Enrocamento $4,32 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Concreto $3,10 \times 10^5 \text{ m}^3$.

9. UHE Funil

A UHE Funil, 223 MW, no rio Paraíba do Sul (RJ), próximo à cidade de Resende, está operando desde 1969 (Fig. 3.52 A). O local do eixo tem 400 m de extensão. O projeto foi elaborado pela COBA de Portugal. A usina é de propriedade de FURNAS Centrais Elétricas.

Foi escolhida a alternativa de barragem em arco, com dupla curvatura, comprimento de crista de 385 m mostrada na Fig. 3.52 B . A altura máxima da barragem é de 85 m. O reservatório, no NAmáx normal El. 466,50 m, inunda uma área de 40 km². A casa de força tem três unidades geradoras.

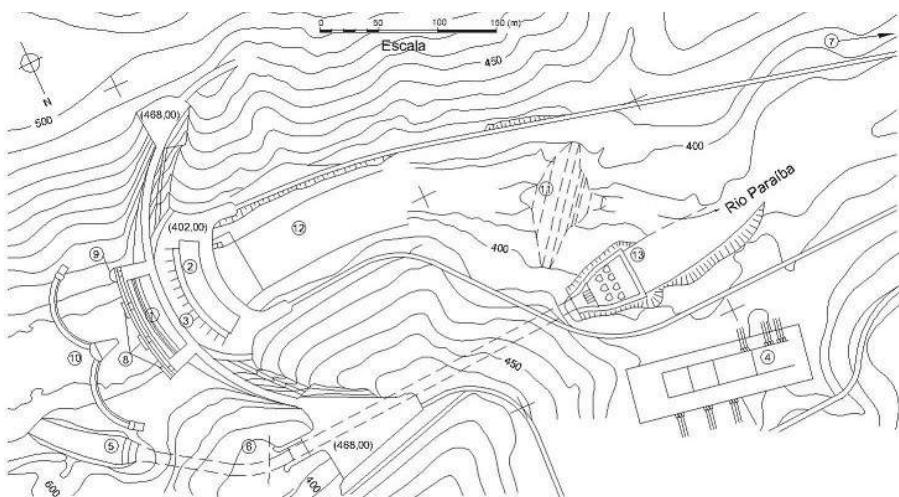


Fig. 3.52 – Barragem da UHE Funil (RJ) – Imagens do arranjo da obra (Internet).

O empreendimento tem mais (Ver Arranjo Geral na Fig. 3.53):

- dois vertedouros em túnel: um na ombreira direita para 1.700 m³/s aproveitando o túnel de desvio ($D = 11,5$ m), e outro, na ombreira esquerda para 2.700 m³/s;
- uma válvula dispersora Howell Bunger de fundo, com diâmetro 3,50 m, à qual é mostrada operando na Fig. 3.54.

Maiores detalhes sobre o projeto da UHE Funil podem ser encontrados na internet.



① Barragem; ② Casa de força; ③ Transformadores; ④ Subestação; ⑤ Túnel de desvio (temporário);
⑥ Vertedouro principal (em túnel); ⑦ Vertedouro auxiliar; ⑧ Tomadas de água; ⑨ Descarregador de fundo;
⑩ Ensecadeira de montante; ⑪ Ensecadeira de jusante; ⑫ Canal de fuga; ⑬ Bacia de dissipação;

Fig. 3.53 – UHE Funil – Arranjo geral das obras. (CBDB, 1978).



Fig. 3.54 – Válvula Howell bunge de fundo operando.
 $D = 3,50\text{ m}$;
Vazão: $190 < Q < 285 \text{ m}^3/\text{s}$;
Carga hidráulica $\sim 70\text{ m}$.



Fig. 3.55 – UHE Funil.
Ensecadeira de montante ($H=20\text{ m}$) e vertedouro margem direita.

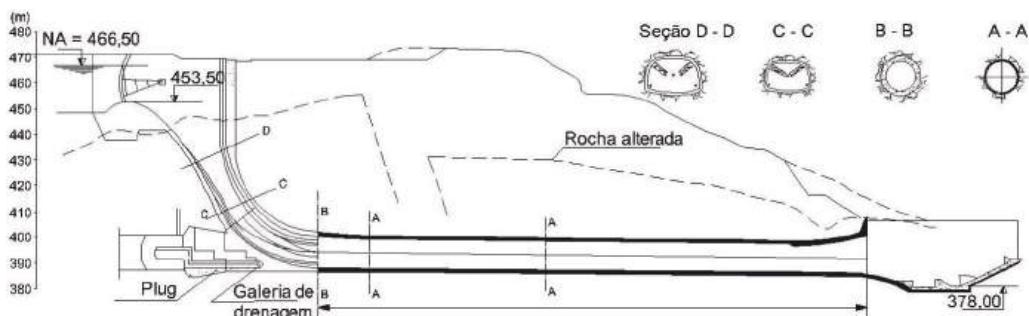


Fig. 3.50 G - Vertedouro margem direita/túnel de desvio (D=11,50 m).



Fig. 3.50 H - Túnel de desvio/vertedouro da margem direita (D=11,50 m).

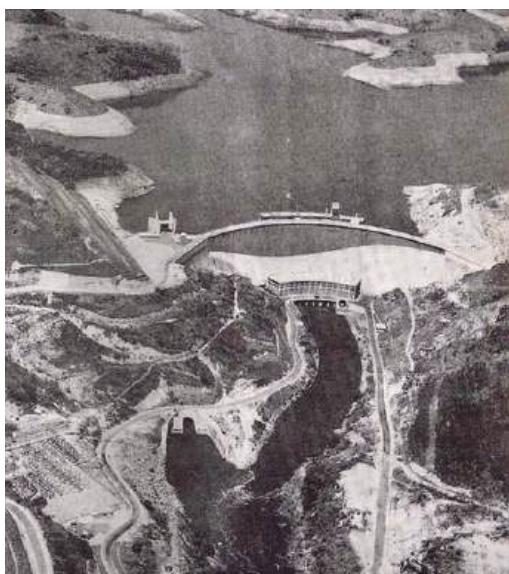


Fig. 3.50 I - UHE Funil. Vista de jusante após primeiro enchimento.

Vertedouro de fundo margem esquerda – Lbacia = 45 m;
túnel de desvio: D=11,50 m.

10. UHE Itaipu

A UHE Itaipu, 14.180 MW, está implantada no rio Paraná, a montante da confluência com o rio Iguaçu, entre o Brasil e o Paraguai. Foi inaugurada em 1984.

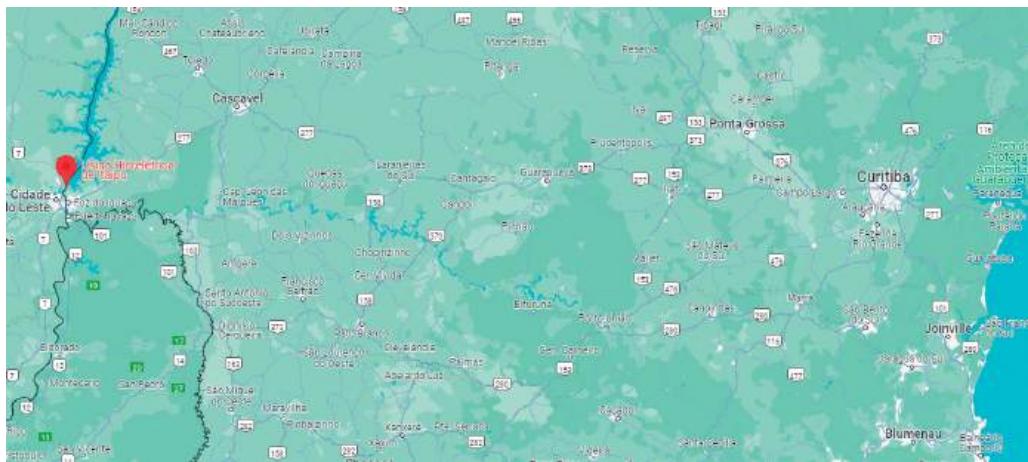


Fig. 3.51 A – UHE Itaipu. Mapa de localização.

O arranjo geral das obras tem extensão total de eixo de 7,76 km, aproximadamente. Uma grande parte da barragem é de terra, ou enrocamento com núcleo.

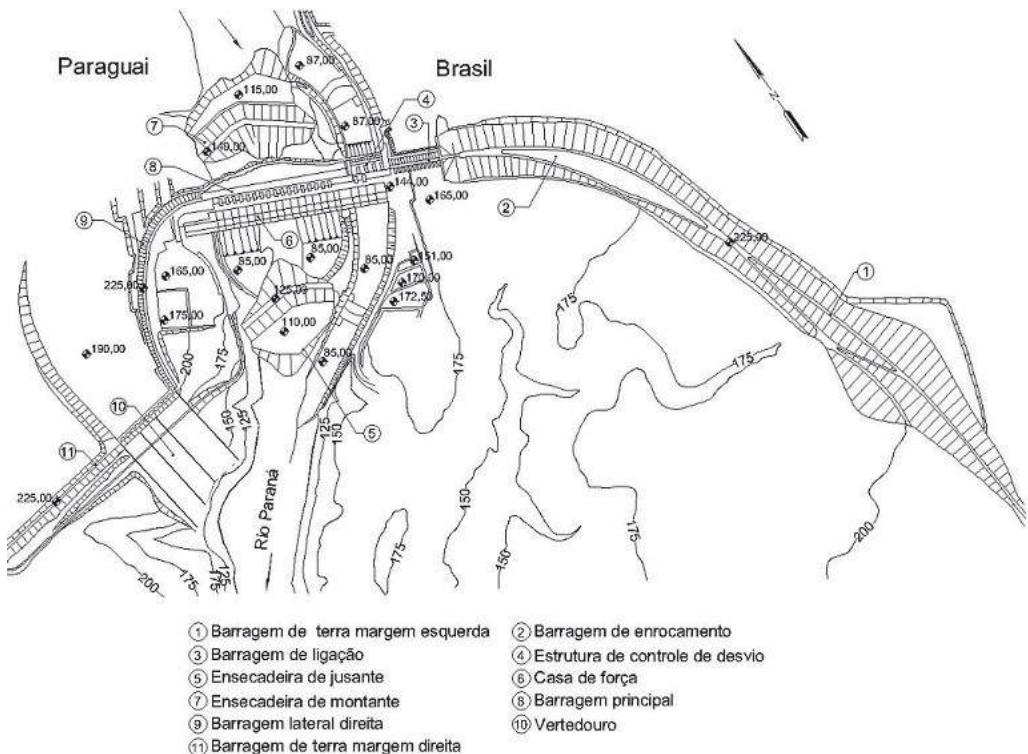


Fig. 3.51 B – UHE Itaipu. Arranjo geral das obras - croquis. (Moraes, et al. 1979).

No N.A. máximo normal, na El. 220,00 m, o reservatório inundou uma área de 1.350 km². O NA mínimo minimorum está na El. 197,00 m. O arranjo geral das obras contempla:

- Barragem de Terra, na margem direita, com 872 m de comprimento e altura máxima de 90 m;
- Vertedouro de encosta, na margem direita, tipo calha (*chute spillway*) com largura de 380 m e altura máxima de 44 m; 14 comportas de 20 m de largura por 21,34 m de altura; vazão de 62.200 m³/s;
- Barragem lateral direita e barragem de ligação de concreto: L = 986 m; Hmáx. 64,5 m;
- Barragem principal de concreto (no leito do rio gravidade aliviada e na margem esquerda de contraforte) com 1.064 m de comprimento total e altura máxima de 196 m;
- Tomada de água e Casa de Força: 18 unidades Francis de 710 MW, mais 2 Francis de 700 MW cada;
- Estrutura de desvio com L = 170 m e Hmáx = 162 m;
- Tomada de água e casa de força, unidades 16 a 18A;
- Barragem de enrocamento, margem esquerda, 1.984 m de comprimento e altura máxima de 70 m;
- Barragem de terra, margem esquerda, 2.294 m de comprimento e altura de 30 m;
- e Dique de Hernandarias.
- Destaca-se que o canal do rio Paraná no local da barragem tem 90 m de altura (fundo do rio na El. 35,00 m e margens na El. 125,00 m).

Os volumes das obras civis são:

- Escavação em terra $23,6 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Escavação em rocha $32,0 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Enrocamento $15,0 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Concreto $12,3 \times 10^6 \text{ m}^3$.



Fig. 3.52 A – UHE Itaipu. Vista aérea a partir da margem direita. (CBDB, 2002).



Fig. 3.52 B – UHE Itaipu – Vista aérea a partir da margem esquerda (Internet).

11. UHE Barra Grande

A UHE Barra Grande, 708 MW, foi implantada no rio Pelotas (2005), a montante da confluência com o rio Canoas, divisa dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

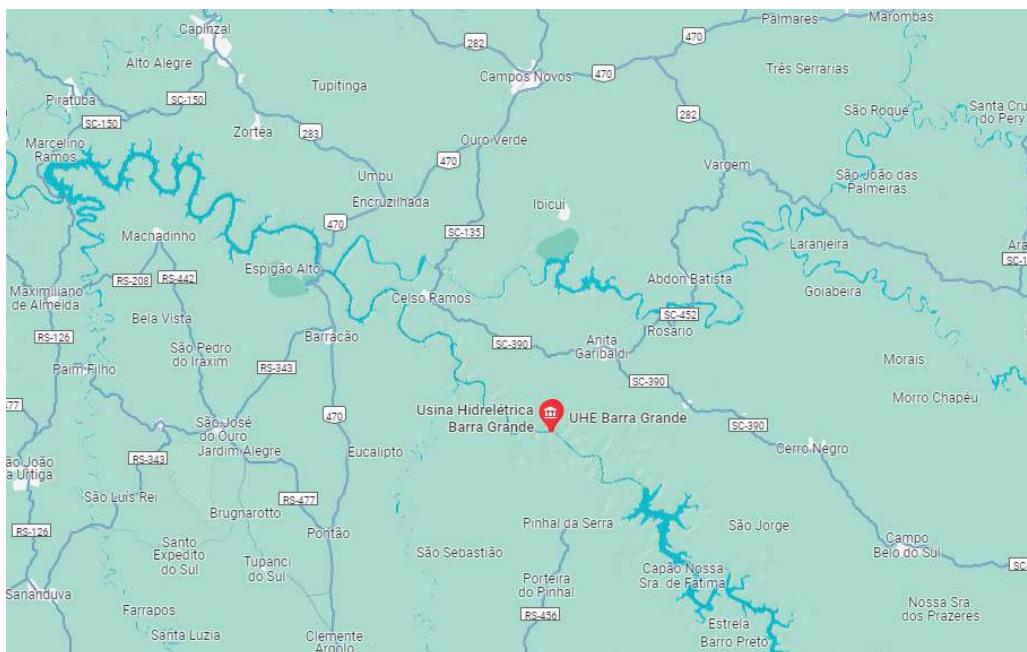


Fig. 3.53 A – UHE Barra Grande. Mapa de localização.

No NAmáx normal, El. 647,00 m, o reservatório inunda uma área de 92 km². O NA mínimo de operação está na El. 617,00 m. O comprimento total das estruturas de barramento é curto, da ordem de 900 m. O arranjo das obras contempla:

- Barragem de enrocamento com face de concreto, crista na El. 651,00 m, L = 665 m e Hmáx = 185 m; mais atrativa do que a alternativa com núcleo argiloso ou de concreto asfáltico;
- Vertedouro na ombreira esquerda em calha com 119,4 m da largura, com 6 comportas de 15 m x 20 m, com Qmáx. = 23.840 m³/s; a calha de concreto, L=274 m, tem dois

degraus aeradores para prevenir a cavitação do concreto; a dissipação de energia é em salto de esqui;

- Tomada de água na ombreira esquerda com 52,3 m da altura e 24,3 m de largura, com 6 comportas tipo vagão de 6,54 m de altura por 6,20 m de largura;
- Túnel de pressão em número de três, com diâmetro interno de 6,9 m e comprimento de 39,2 m, com trecho reforçado de 117,1 m;
- Casa de força abrigada, com 45 m de altura e 91,8 m de comprimento, incluindo a área de montagem, com 3 turbinas Francis, de eixo vertical, de 236 MW cada, vazão turbinada de $165 \text{ m}^3/\text{s}$, e queda líquida de 154 m; a velocidade de operação é de 200 rpm; os geradores têm capacidade de 245 MVA, velocidade de operação de 200 rpm e fator de potência 0,95.

Ressalta-se que a área do reservatório é mínima quando comparada às áreas inundadas das barragens implantadas em planícies (p. ex.: Balbina, no rio Uatumã, Tucuruí, no rio Tocantins, e Sobradinho, no rio São Francisco).

O desvio do rio foi feito por dois túneis, como exposto em CBDB (2009). Os volumes das principais obras civis são:

| | |
|---------------------------|---------------------------------|
| ■ Escavação em terra | $2 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Escavação em rocha | $10 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Escavação do túnel | $4,7 \times 10^5 \text{ m}^3$; |
| ■ Enrocamento e transição | $12 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Concreto | $3,3 \times 10^5 \text{ m}^3$; |
| ■ Armadura | $14 \times 10^3 \text{ t}$. |

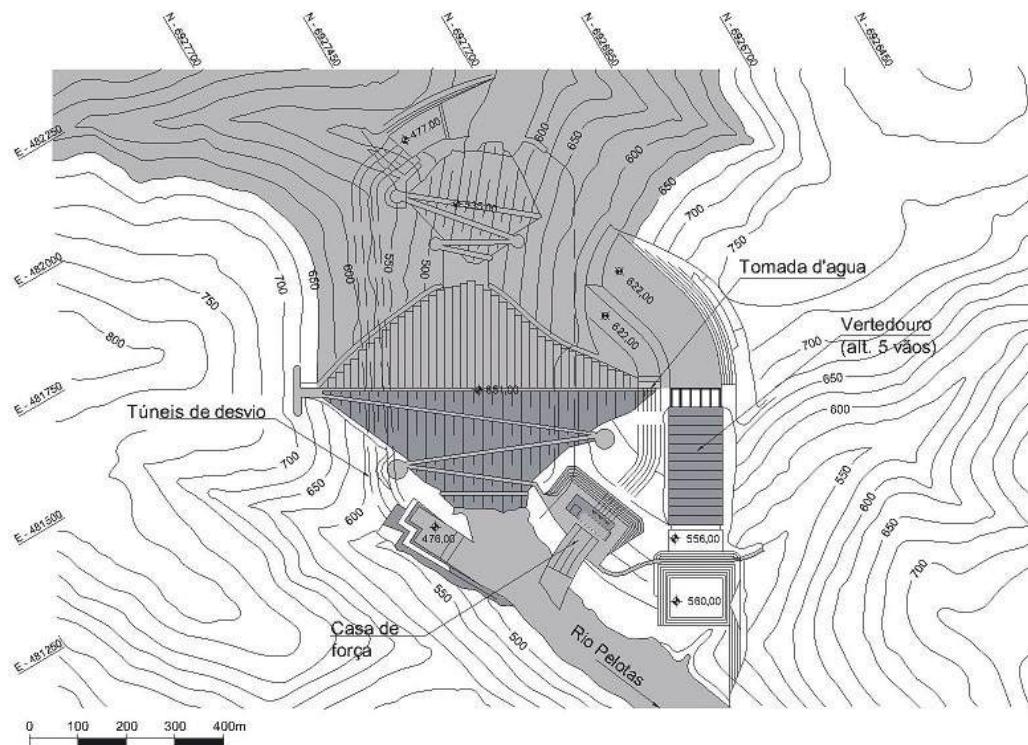


Fig. 3.53 B – UHE Barra Grande (RS/SC) – Arranjo geral das obras - planta. (MBD, 2009).



**Fig. 3.54 A – UHE
Barra Grande.
(MBD, 2009)**



**Fig. 3.54 A – UHE
Barra Grande.
(MBD, 2009)**

12. UHE Campos Novos

A UHE Campos Novos, 900 MW, situa-se no rio Canoas (2006), 21 km a montante de sua confluência do rio Pelotas, no estado de Santa Catarina.

No NA normal de operação, El. 660,00 m, o reservatório inunda uma área de 32,9 km². O NA máximo normal de cheia está na El. 665,00 m e o NA mínimo normal na El. 655,00 m.

O arranjo geral das obras, Fig. 3.33 A, contempla:

- Barragem de enrocamento com face de concreto, com crista na El. 665,80 m, comprimento de 590 m e altura máxima de 202 m;
- Vertedouro na ombreira direita com 83,10 m da largura, 4 comportas de 17,4 m de largura e 20 m de altura, com capacidade máxima de vazão de 18.300 m³/s; a calha de concreto tem 94 m de comprimento; a dissipação de energia é em salto de esqui;

- Tomada de água na ombreira direita, com 51,5 m da altura e 32 m de largura, com 3 comportas tipo vagão de 6,50 m de altura por 6,20 m de largura;
- Túnel de pressão em número de três, com diâmetro interno de 6,2 m, com um trecho vertical de 173 m e um trecho horizontal de 211 m;
- Casa de força abrigada, com 47,8 m de altura e 113 m de comprimento, incluindo a área de montagem, com 3 turbinas Francis, de eixo vertical, de 300 MW cada, vazão turbinada de 175,6 m³/s, e queda líquida de 186 m; a velocidade de operação é de 200 rpm; os geradores têm capacidade de 311 MVA, velocidade de operação de 200 rpm e fator de potência 0,96.

Em função da topografia do local, o desvio do rio para implantação da obra foi feito por dois túneis, como exposto em CBDB (2009).

Da mesma forma que na UHE Barra Grande, observa-se que a área do reservatório em função do vale "V" é mínima quando comparada às áreas inundadas das barragens implantadas em planícies (por exemplo: UHE Balbina, no rio Uatumã, UHE Tucuruí, no rio Tocantins, UHE Sobradinho, no rio São Francisco), e outras.

Os volumes das obras civis são:

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| ■ Escavação em terra | $3,9 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Escavação em rocha | $11,9 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Escavação do túnel | $5,85 \times 10^5 \text{ m}^3$; |
| ■ Enrocamento e transição | $12,5 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Transição | $2,8 \times 10^6 \text{ m}^3$; |
| ■ Concreto | $3,34 \times 10^5 \text{ m}^3$. |



Fig. 3.55 – UHE Campos Novos (SC) – Vista aérea. (MBD, 2009).

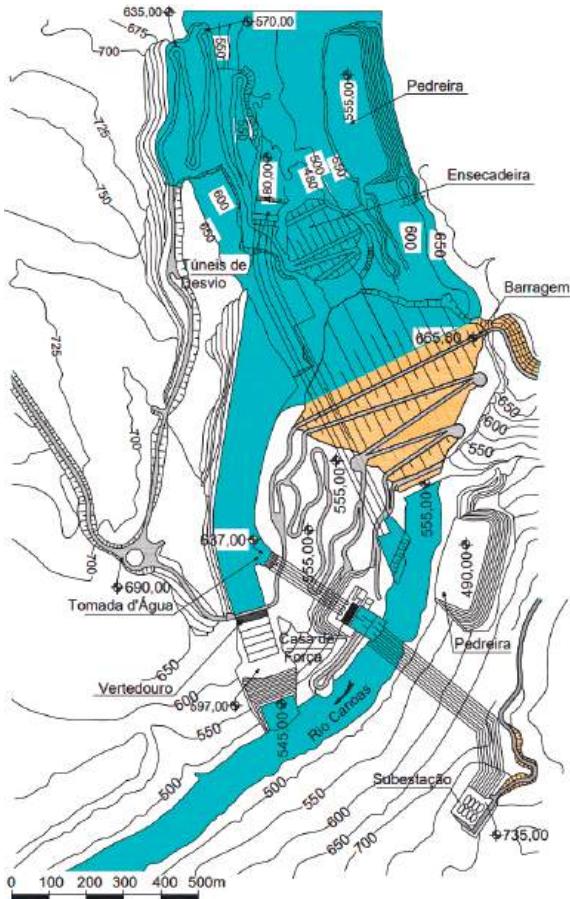


Fig. 3.56 A – UHE Campos Novos.
Arranjo geral. (MBD, 2009).



Fig. 3.56 B – UHE Campos Novos.
Rio desviado por
túneis na margem direita.
Casa de força ensecada.
Ao fundo vertedouro em obras.

13. UHE Itá

O arranjo das obras da Usina de Itá, 1.450 MW, no rio Uruguai entre os estados de Santa Catarina e Rio grande do Sul (2000), está mostrado na figura a seguir. Observar as curvas acenturadas a jusante da barragem.



Fig. 3.57 A – UHE Itá. Distribuição das obras.

O arranjo geral das obras selecionado, mostrado na Fig. 3.57, tirou partido da situação do vale no local. Contempla as seguintes estruturas principais:

- Barragem de enrocamento com face de concreto no leito do rio, com crista na El. 375,50 m; o comprimento é de 880 m e altura máxima é de 125 m;
- Vertedouro de superfície: principal com 130,50 m da largura e 39 m de comprimento; Vertedouro auxiliar com 85,50 m da largura e 54 m de comprimento; a capacidade máxima de vazão de $49.940 \text{ m}^3/\text{s}$; a calha de concreto do vertedouro principal tem 193 m de comprimento e a calha do auxiliar tem 120 m revestidos de concreto, mais 155 m não revestidos; a dissipação de energia é em salto de esqui;

- Tomada de água tem 35,5 m da altura e 88,8 m de largura, com 5 comportas tipo vagão de 9,30 m de altura por 7,20 m de largura;
- Condutos forçados em número de cinco, com diâmetro interno de 6,8 m e 18,35 m de comprimento;
- Casa de força abrigada, com 56 m de altura e 120,5 m de comprimento incluindo a área de montagem, com 5 turbinas Francis, de eixo vertical, de 290 MW cada; a vazão turbinada é de 313 m³/s, e a queda de 102 m; a velocidade de operação é de 128,6 rpm; os geradores têm capacidade de 305 MVA e fator de potência 0,95. A subestação da usina situa-se na margem direita do outro lado do rio.

No NAmáx normal, El. 370,00 m, o reservatório inunda uma área estimada em 141 km². O NA máximo de cheia está na El. 375,70 e o NA mínimo normal na El. 364,00 m.

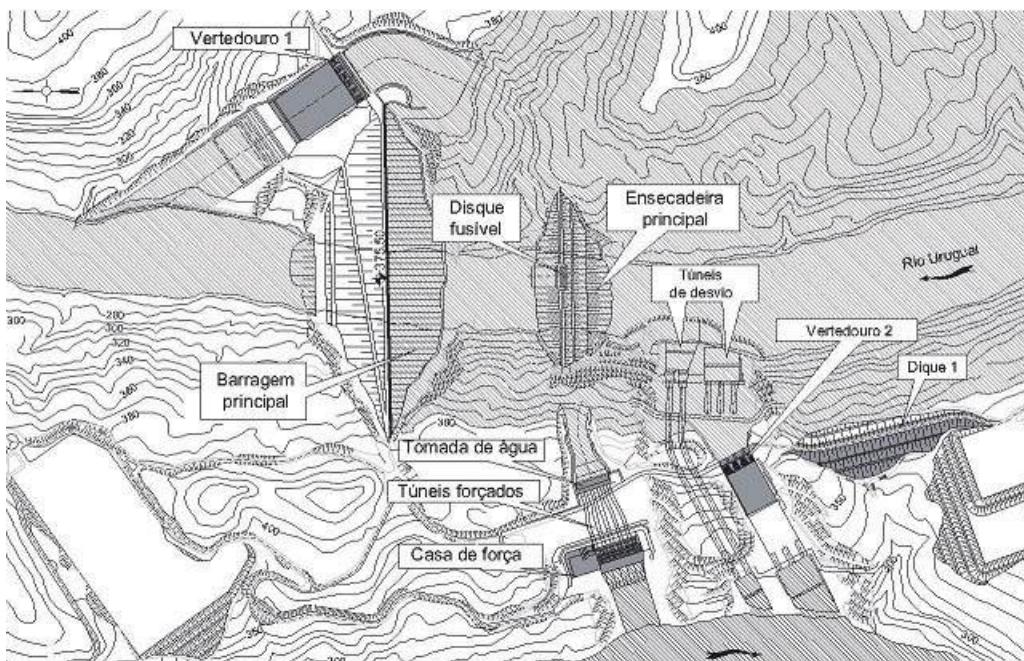


Fig. 3.57 B – UHE Itá – Arranjo das obras. (MBD, 2009).

A subestação da usina está na margem direita, na região em frente à casa de força (Fig. 3.58 D).

Registra-se que o desvio do rio está detalhado em CBDB (2009). Em função da topografia do local, foi projetado e executado por cinco túneis, como mostrado na figura a seguir.

A seguir apresentam-se os volumes das obras civis principais são.

| Serviço | Unid. | Quantidade |
|--------------------------------|----------------|------------------------|
| Escavação em terra | m ³ | 9,6 x 10 ⁶ |
| Escavação em rocha | m ³ | 8,0 x 10 ⁶ |
| Escavação dos túneis de desvio | m ³ | 6,42 10 ⁵ |
| Enrocamento e transição | m ³ | 11,1 x 10 ⁶ |
| Concreto | m ³ | 5,0 x 10 ⁵ |
| Cimento | t | 115.000 |
| Aço | t | 30.000 |



Fig. 3.58 A – UHE Itá
Vista aérea do arranjo das obras. (MBD, 2009).



Fig. 3.58 B – UHE Itá
Vista do vertedouro margem direita.



Fig. 3.58 C – UHE Itá.
Vista da casa de força e do vertedouro margem esquerda.



Fig. 3.58 D – UHE Itá.
Região da subestação da usina.

14. UHE Dona Francisca

A UHE Dona Francisca, 125 MW (2 unidades), foi implantada no rio Jacuí, a noroeste de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, e está operando desde 2001.

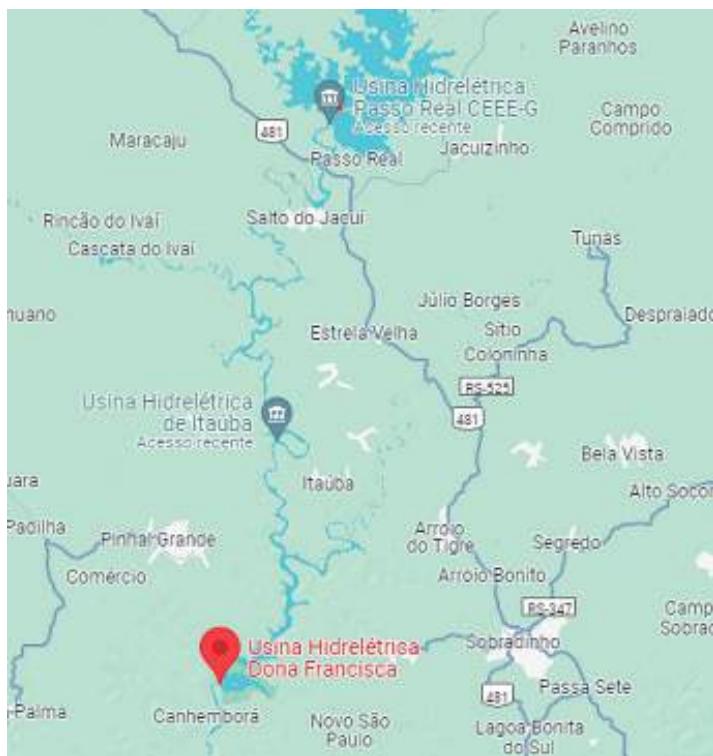


Fig. 3.59 A – UHE Dona Francisca. Mapa de localização.

O projeto inicial previa um arranjo com barragem de enrocamento, núcleo de argila e vertedouro com comportas. Por razões econômicas, esse arranjo foi alterado para outro com barragem em concreto CCR incorporando um vertedouro livre, sem controle de comportas, como mostra a Fig. 3.59 B a seguir. As características das estruturas da margem esquerda para a direita são:

- Barragem em CCR na ombreira esquerda com altura máxima de 50,5 m e 610 m de comprimento; o bloco junto à margem tem 4 galerias, de 5,5 m x 11 m, para a 2^a fase de desvio;
- Vertedouro livre em degraus e com bacia de dissipação no leito do rio, comprimento de 335 m e capacidade de vazão de 1.700 m³/s;
- Bloco gravidade entre a casa de força e o vertedouro, que também incorpora mais 4 galerias complementares, com dimensões idênticas, para a 2^a fase de desvio;
- Tomada de água em seção tradicional em torre, com duas comportas de 6,30 m x 6,54 m;
- Condutos forçados: dois com 6,30 m de diâmetro e 85 m de comprimento;
- Casa de força na margem direita, com duas turbinas Francis de 62,5 MW cada.

O reservatório no NAmáx normal, El. 94,50 m, inunda uma área estimada de apenas 22,30 km². O NAmín está na El. 91,00 m.



Fig. 3.59 B – UHE Dona Francisca. (MBD, 2006).

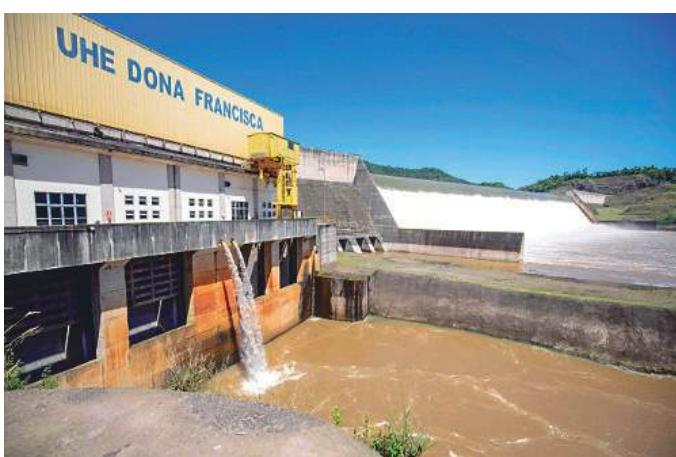


Fig. 3.59 C – Usina. Bloco gravidade/adufas p/2^a fase de desvio. Vertedouro ao fundo.

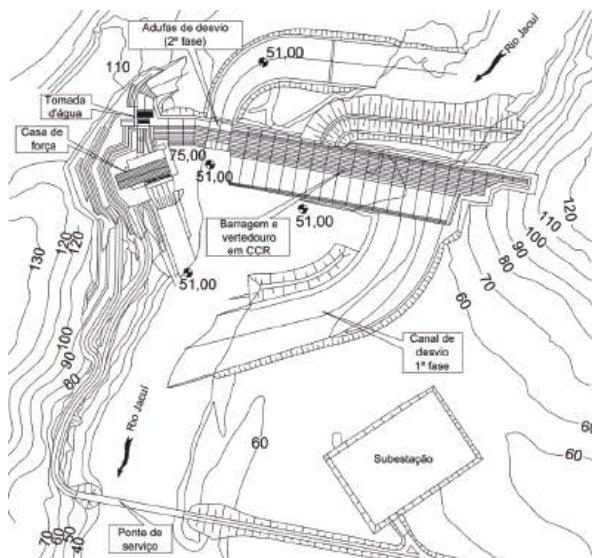


Fig. 3.59 D – UHE Dona Francisca. Layout. (MBD, 2009).



Fig. 3.59 E – UHE Dona Francisca. Modelo reduzido tridimensional.

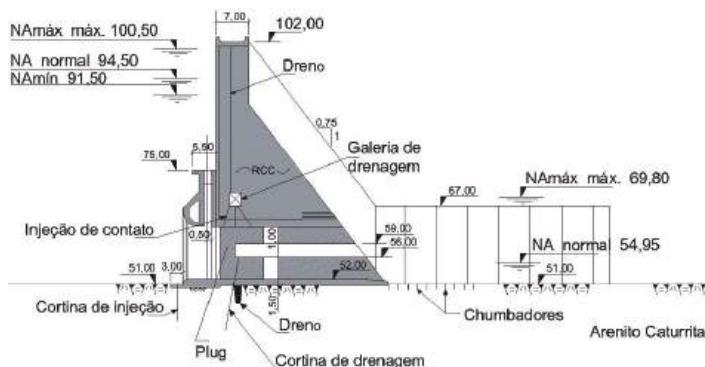


Fig. 3.59 F – UHE Dona Francisca. Galerias de desvio do bloco gravidade direito. (MBD, 2009).

Alguns volumes de obras civis principais:

- Escavação total $2,17 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Terra e Enrocamento $7,5 \times 10^5 \text{ m}^3$;
- Concreto $6,5 \times 10^5 \text{ m}^3$.

Registra-se que o desvio do rio foi feito em duas fases:

- Na 1ª fase, com o rio escoando em seu leito natural, escavou-se um canal na margem esquerda para o desvio do rio; a enseada de proteção das obras de escavação do canal foi projetada para a vazão de $4.460 \text{ m}^3/\text{s}$ para um TR=25 anos; nessa fase executou-se 60% das obras da barragem (El. 72,00). As obras do circuito de geração na margem direita, bem como das galerias complementares de desvio, independiam do desvio do rio.
- Na 2ª fase, após a escavação do canal de acesso, o rio foi desviado por 4 adufas no bloco do vertedouro na margem direita; o projeto foi feito para a vazão de $3.520 \text{ m}^3/\text{s}$ para um TR=10 anos.

15. UHE Monjolinho

A UHE Monjolinho (74 MW), situa-se no rio Passo Fundo, nos municípios de Nonoai e Faxinalzinho, estado do Rio Grande do Sul (2009). A usina tem uma queda de 61 m. O reservatório no NAmáx. normal, El. 328,50 m, inunda uma área de 5,463 km²; o volume total é de 150,48 hm³.

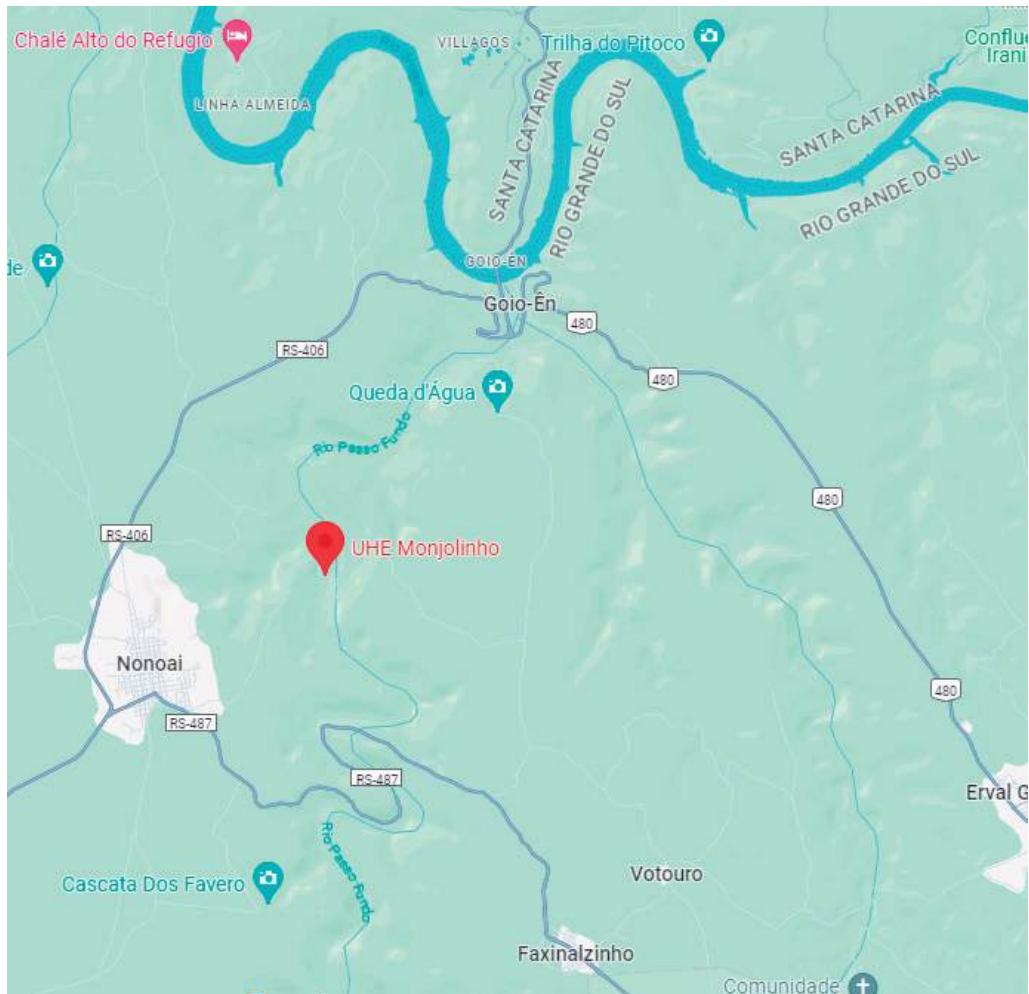


Fig. 3.60 – UHE Monjolinho. Mapa de localização (RS).

O arranjo geral do projeto pode ser visto na Figs. 3.61 A e B, a seguir, contemplam as seguintes estruturas:

- Barragem de enrocamento com face de concreto, crista em El. 335,00 m, com 420 m de comprimento e 80 m de altura máxima;
- Tomada de água na margem esquerda, com dois túneis forçados de 4,20/3,85 m de diâmetro interno e comprimento médio de 111 m;
- Túneis forçados com diâmetro de 3,85 m e 110 m de comprimento;

- Casa de força subterrânea na margem esquerda, comprimento de 68 m, com duas turbinas Francis de 37 MW cada;
- Vertedouro lateral sem controle de comportas na margem direita, com comprimento de 210 m e capacidade de vazão de $6.755 \text{ m}^3/\text{s}$.

Volumes das obras civis principais: escavação comum $9,13 \times 10^5 \text{ m}^3$; escavação em rocha: $1,334 \times 10^6 \text{ m}^3$; escavação em rocha subterrânea 41.380 m^3 ; Enrocamento (barragem e encadeiras) $1,52 \times 10^6 \text{ m}^3$; concreto CCV 79.400 m^3 .



Fig. 3.61 A – UHE Monjolinho
Vista aérea da usina.
(Internet).



Fig. 3.61 B – UHE Monjolinho. Vista do vertedouro lateral da barragem para montante. (Internet).

16. UHE Pinalito

A Usina hidrelétrica Pinalito, 46,5 MW, foi implantada no rio Tireo, região central da República Dominicana, Província La Vega, na cidade de Constanza, a 150 km da capital Santo Domingo (2009).

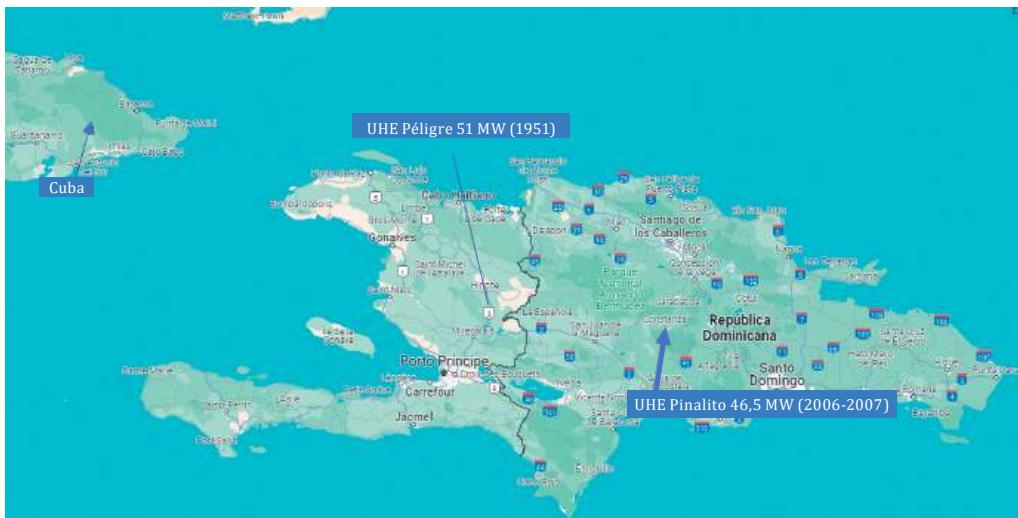


Fig. 3.62 – UHE Pinalito. República Dominicana. Mapa de localização.

O projeto executivo foi elaborado pela PCE – Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda (Rio de Janeiro) e a construção foi feita pela Construtora Norberto Odebrecht - CNO. O financiamento foi do BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - Brasil.

A queda bruta do empreendimento é de 543 m e a queda líquida é de 528 m, o que significa uma perda de carga de 3,0%. A vazão de projeto é $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$. A vazão média afluente é $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$. O NA do reservatório de regulação da usina situa-se na El. 1.180 m; o NAmín de operação está na El. 1.175 m.

O projeto, em resumo, é composto por: barragem principal de CCR, com 57 m de altura e extensão de 198 m; vertedouro de soleira livre com 44,5 m de comprimento, dimensionado para a vazão de 950 m³/s, incorporado ao corpo da barragem principal; obras de captação, desarenação e condução das águas do arroio Sonador e do rio Blanco e condução ao portal de saída para o conduto forçado; chaminé de equilíbrio do tipo estrangulamento cilíndrica. Diâmetros: 2,4 m < D < 8,0 m e as alturas variam entre 58 m/45m; o conduto forçado de superfície tem comprimento de 1,24 km, diâmetro de 1,95 m/0,85 m, até a casa de força a céu aberto.

O túnel de condução principal, com $L = 8,15$ km e $D = 3,6$ m, parte da barragem de Pinalito. Para este túnel são desviadas as águas dos arroios Sonador e Blanco. As obras de captação e condução das águas do arroio Sonador são compostas por desarenador, tomada d'água de fundo e túnel com extensão de 3,2 km e dimensões de 3,5 m (b x H).

Os túneis foram escavados em duas frentes: uma utilizando o método TBM (*tunnel boring machine*), com um *shield* de 3,6 m de diâmetro; outra utilizando o método de perfuração e detonação (*drill and blast*). A casa de força da usina é a céu aberto e nela foram instaladas duas turbinas Pelton de eixo vertical. As figuras a seguir mostram alguns aspectos da obra da Usina Hidrelétrica Pinalito.



Fig. 3.63 A – UHE Pinalito.
Barragem principal e
vertedouro. (Internet).



Fig. 3.63 B – UHE Pinalito.
Início do conduto forçado.
(Internet).



Fig. 3.63 C – UHE Pinalito.
Vista aérea do conduto
forçado e casa de força
(Internet).

17. UHE Yellowtail

A UHE Yellowtail, 250 MW, está situada o rio Bighorn a montante do Fort Smith no estado de Montana (EUA), teve sua operação comercial iniciada em 1966. O aproveitamento foi concebido para usos múltiplos: geração, irrigação, abastecimento, controle de cheias, retenção de sedimentos, melhorias para peixes e para animais selvagens, e atividades recreativas/turismo.

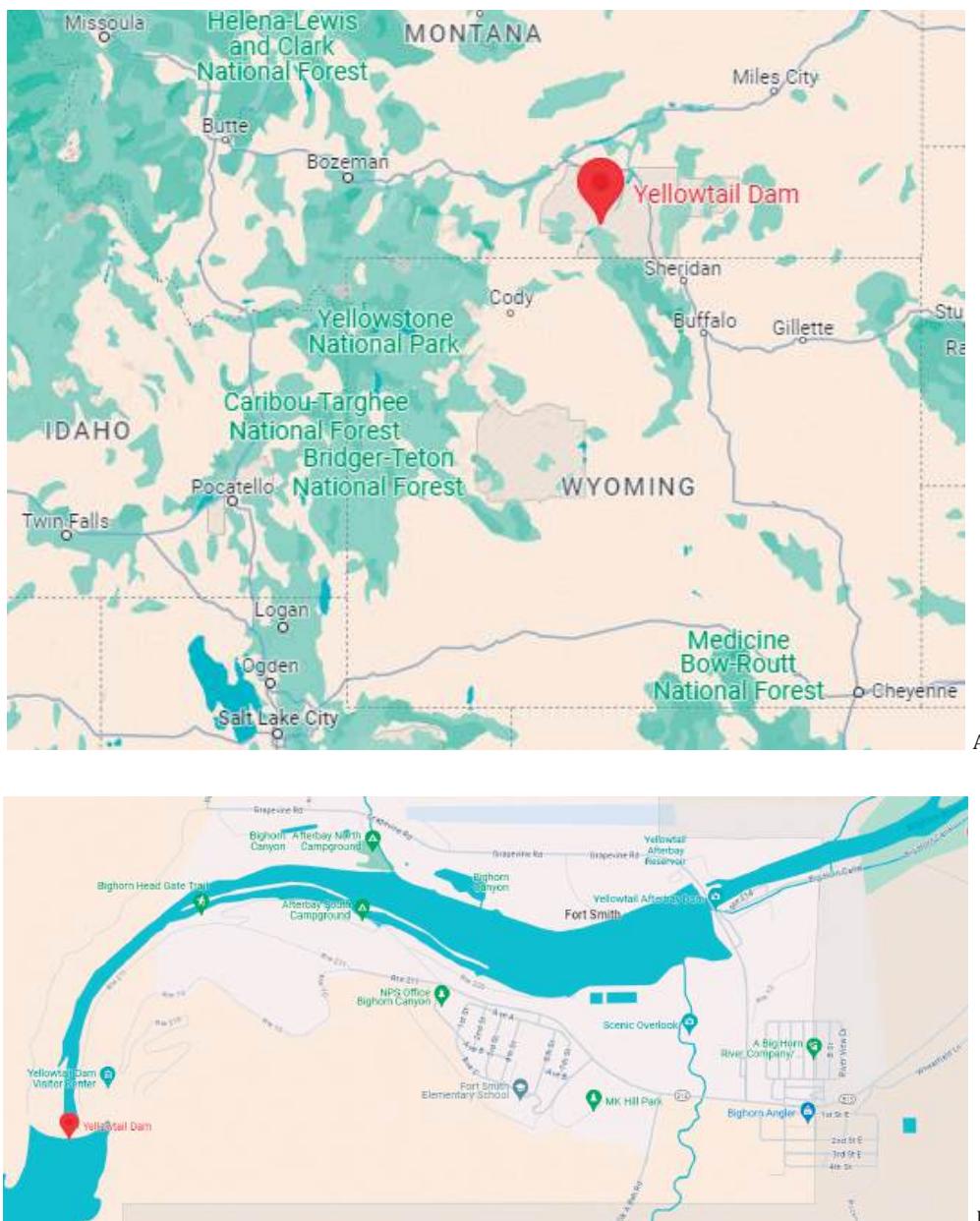


Fig. 3.64 – UHE Yellowtail (USA). A – Mapa de localização; B – Reservatório e barragem “Afterbay”.

A barragem é de concreto em arco, com $H = 160$ m, $e_c = 6,7$ m; $e_f = 45$ m; Lcrista = 450m, assente em rochas sedimentares (arenitos, calcários, xistos e siltitos - USCOLD, 1988). O volume de concreto é da ordem de $1.200.000\text{ m}^3$

A casa de força está situada no pé da barragem e abriga 4 máquinas do tipo Francis de potência unitária igual a 62,5 MW.

O vertedouro, na ombreira esquerda, aproveitou o túnel de desvio, o qual é revestido de concreto e tem diâmetro de 9,75 m; a capacidade de vazão é de 2.605 m³/s sob carga de h = 128 m.



Fig. 3.65 A – UHE Yellowtail (USA).

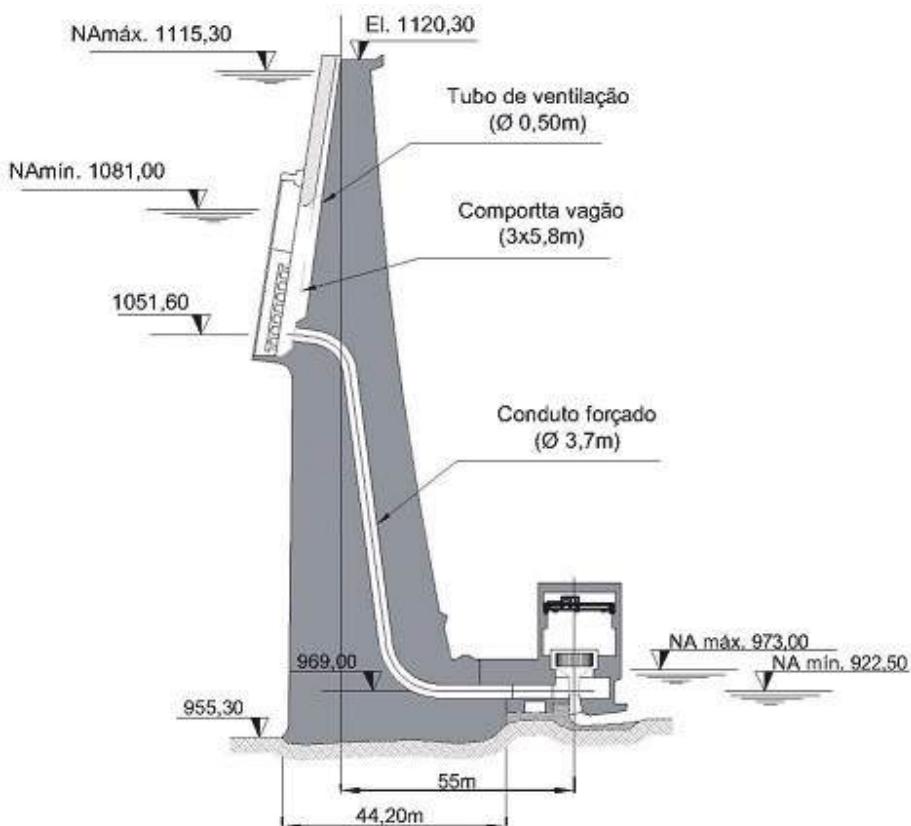


Fig. 3.65 B – Barragem - casa de força. Seção (USCOLD, 1988).

18. UHE Theodore Roosevelt

A UHE Theodore Roosevelt foi construída entre 1903 e 1911 no rio Salt, região centro-sul do Arizona, município de Globe, 90 km à noroeste de Phoenix, com objetivos de irrigação, geração de energia e controle de cheias. A usina tem potência instalada de 36 MW (01 unid. Francis). A carga hidráulica é de 68,6 m. O reservatório tem superfície de 70 km². A área de drenagem no local é de 15.083 km².



Fig. 3.66 – Barragem Theodore Roosevelt. Mapa de Localização.



Fig. 3.67 – Barragem Theodore Roosevelt. Vista aérea.

O sítio da barragem é em "V", com paredes íngremes onde o rio flui para oeste, saindo da bacia aluvial através das Montanhas Mazatzal. A geologia do local mostra que o canyon do vale "V" é cortado através de uma sequência sedimentar do Pré-cambriano superior que foi invadida por um gárgalo. O acanamento da sequência atinge o normal em relação ao rio e

mergulha 25° a 30° para montante. As falhas mapeadas no sítio da barragem são normais ou reversas de deslizamento de alto ângulo aparente, com uma quantidade indeterminada de movimentos de deslizamento. A maioria das falhas têm a direção noroeste-sudeste com declives acentuados para sudoeste (jusante). Falhas localizadas no lado sul têm um deslocamento máximo de 24 m; e no lado norte um deslocamento máximo da ordem de 15 m. A maioria das falhas em ambos os lados do rio são deslocadas de 30 cm a 5 m. O baixo nível de deformação geológica e de simicidade da região estão descritos em (Kollgaard & Chadwick, 1988). Apesar do baixo nível de atividade tectônica, terremotos de 5,5 de magnitude tem ocorrido no histórico,

A barragem Theodore Roosevelt, em arco gravidade de alvenaria de entulho ciclopico, foi um dos primeiros projetos do USBR. Seu nome era Barragem do Rio Salt #1. Foi renomeada em 1959 em homenagem ao Presidente Roosevelt. Tinha 85,3 m de altura, 220 m de comprimento, espessura da crista de 4,9 m e largura da base de 56 m. Ná época era a mais alta barragem de alvenaria de rocha do mundo. Em 1971 a ASCE reconheceu o sítio com o prêmio "National Historic Engineering Landmark" (Kollgaard & Chadwick, 1988).

O arranjo contempla dois vertedouros não revestidos, um em cada ombreira, com 19 comportas de 6,1 x 4,8 m e capacidade máxima de vazão de 4.248 m³/s, e dois descarregadores de fundo para 44,2 m³/s, sendo dois tubos com válvulas borboletas de 1,4 m de diâmetro, um em cada margem. Contempla também 2 condutos forçados de D=4,3 m que se juntam para formar um conduto único de D=4,42 m que provê água para a turbina Francis de 36 MW.

O desvio do rio foi feito por um túnel na margem esquerda para 1.300 m³/s. As ensecadeiras de 3,70 m de altura possibilitaram a escavação da fundação até o topo rochoso. A construção foi frequentemente interrompida pelas cheias do rio Salt. A pior dessas cheias ocorreu em novembro de 1905, estimada em 3.830 m³/s (TR~30 anos), que destruiu as ensecadeiras e outras obras em andamento. O trecho final norte da barragem foi então deixado mais baixo que o trecho final sul para prevenir o galgamento da barragem e a destruição da casa de força, em construção na ombreira esquerda na base da barragem (ver Fig. 3.68).

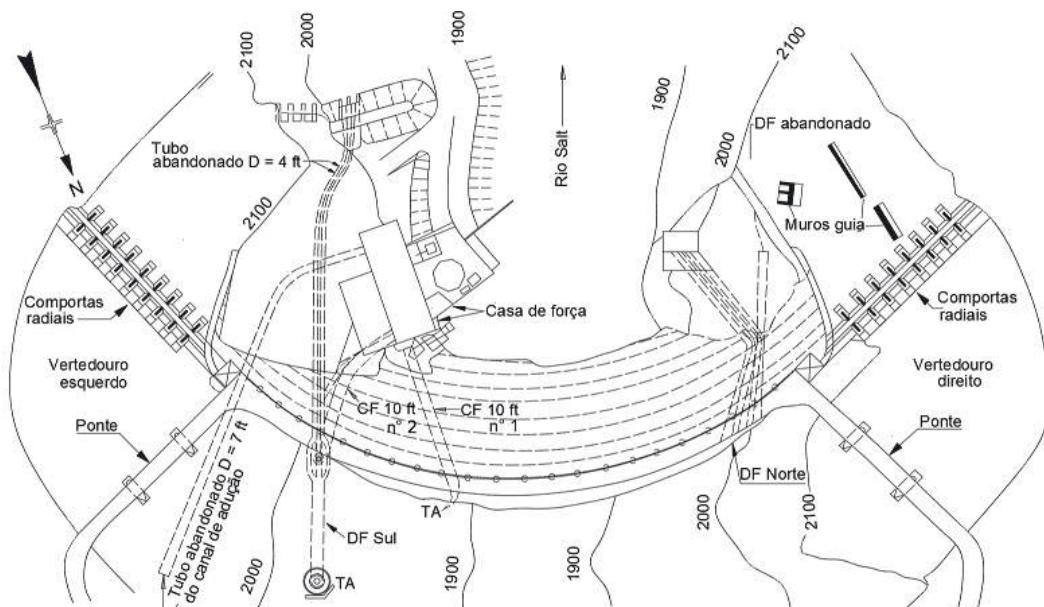


Fig. 3.68 – Barragem Theodore Roosevelt. Planta (unidade: ft).

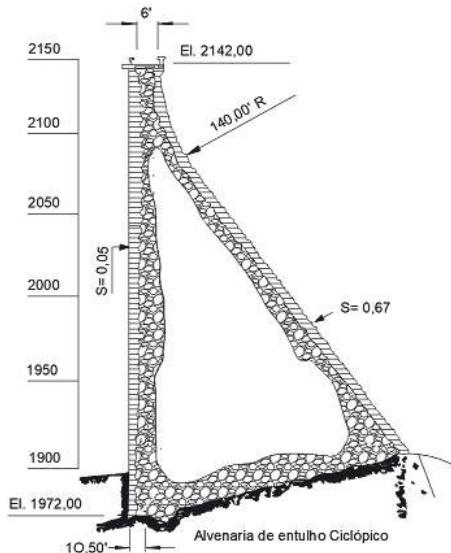


Fig. 3.69 – Barragem - Seção máxima (ft).

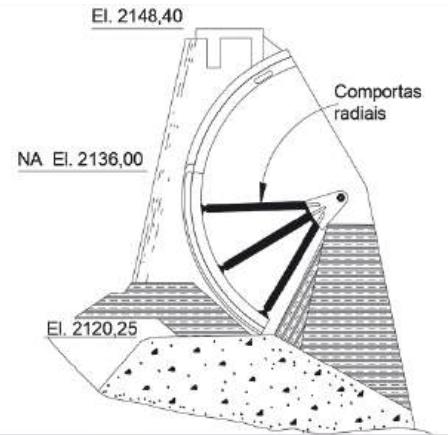
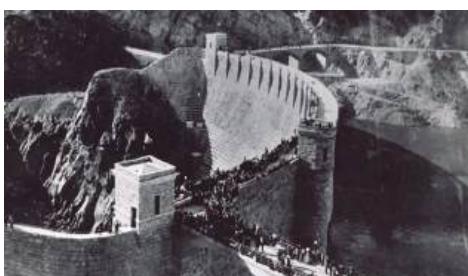


Fig. 3.70 – Vertedouro – Seção (ft).

Entre 1989 e 1996 a usina foi renovada e expandida. A barragem foi revestida de concreto e sua altura foi aumentada em 23 m, passando para $H=108,3$ m, para aumentar o volume de armazenamento. Os vertedouros foram modificados como mostra a Fig. 3.72 a seguir. Justo ao final da obra de expansão, a bacia sofreu um prolongado período de seca. O reservatório só atingiu seu nível operacional em 2009, ou seja, 13 anos depois.



Fig. 3.71 A – Theodore Roosevelt Barragem antiga. Vista de jusante.



B



C

Fig. 3.71 B – Theodore Roosevelt – Barragem antiga. Vistas laterais.



Fig. 3.72 – Barragem renovada e ampliada. Vertedouros novos.

Fig. 3.72 – Barragem renovada e ampliada. Vertedouros novos.

Ao longo da história da barragem não ocorreram problemas de percolação ou estruturais. No entanto, os vertedouros operando em 1915 e 1916 causaram erosão das calhas que foram, em seguida, devidamente reparadas. Da mesma forma em dezembro de 1978, quando ocorreram erosões consideráveis, as quais foram reparados assim que passou a cheia.

A revisão dos estudos hidrológicos em 1981 revelou que os vertedouros como projetados não passariam seguramente a VMP, o que foi aprovado pelo USBR. Como já cita, eles foram modificados.

Verificou-se também que a estabilidade das fundações era questionável para um novo MCE - terremoto máximo credível (que pode ocorrer na região sem estar vinculado ao empreendimento).

Como resultado, no empreendimento estão sempre em pauta estudos de alternativas de modificações no projeto para corrigir essas deficiências (Kollgaard & Chadwick, 1988).

19. UHE Buffalo Bill

A UHE Buffalo Bill, 5 MW, foi construída entre 1905 e 1910 no rio Shoshone, 11 km a oeste do município de Cody, Wyoming, com objetivos de geração de energia e irrigação.



Fig. 3.73 A – UHE Buffalo Bill. Cidade de Cody. Mapa de localização.

Destaca-se que usina já foi modificada algumas vezes: em 1915, em 1922-1923 e em 1959. A barragem tem 99 m de altura e 61 m de largura, exatamente a largura do vale onde ela foi implantada. A crista tem 3 m e a base 32,9 m. O reservatório criado tem superfície de 27,2 km².

Na crista da barragem tem um vertedouro sem controle de comportas (Figs 3.74 e 3.75). O vertedouro principal livre está na margem esquerda em em canal lateral, seguido de túnel não revestido. A capacidade máxima de vazão é de 510 m³/s. Tem também na margem esquerda um descarregador de fundo construído em 1957. Os descarregadores de fundo antigos da margem direita foram abandonados (em 1912 e 1961).

A casa de força original estava situada a jusante na margem esquerda a 152 m a jusante da barragem. Tinha uma unidade Francis para uma queda que varia de 80,8 m a 83,8 m. (Kollgaard & Chadwick, 1988). A casa de força atual está situada na margem direita como mostra a figura

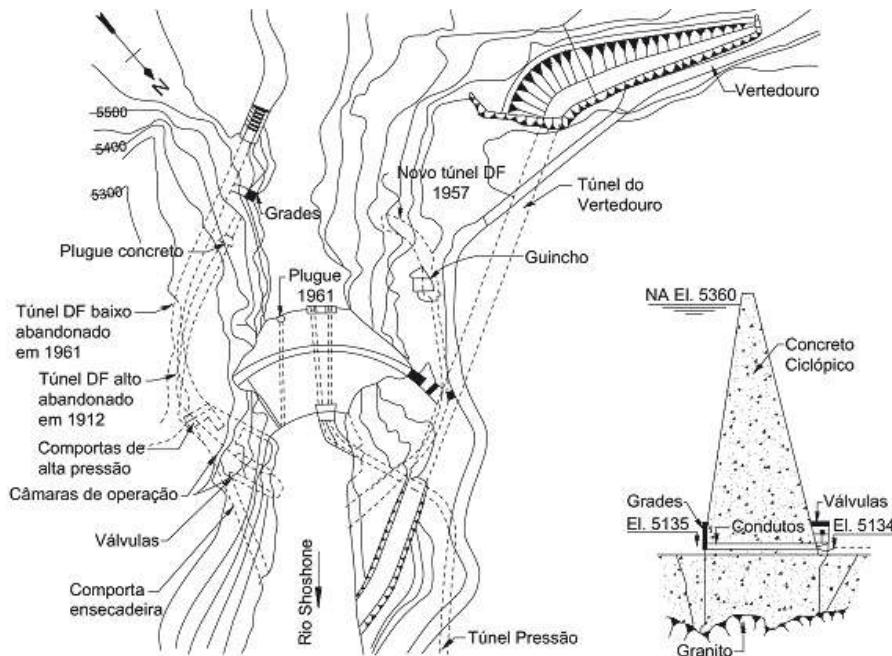


Fig. 3.73 B – Usina Buffalo Bill. Planta e Corte (unidade: ft).



Fig. 3.73 B – Usina Buffalo Bill. Nova casa de força da margem direita.

A

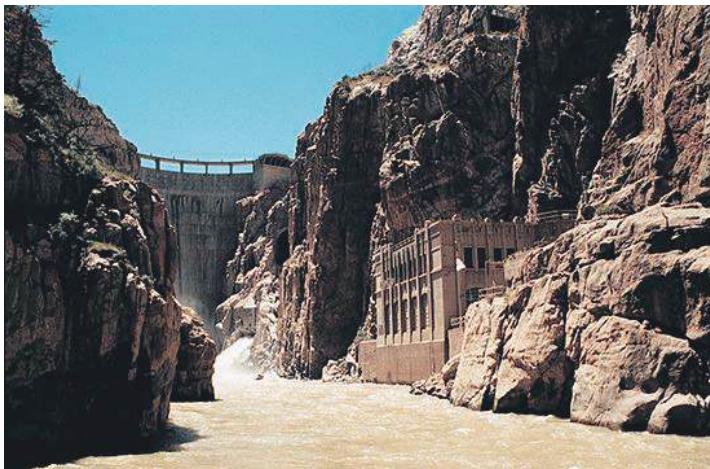


Fig. 3.74 A – UHE Buffalo Bill. Vista de Jusante. Casa de força antiga.



Fig. 3.74 B – UHE Buffalo Bill. Vista de Jusante. Descarregador de fundo funcionando - 1957.



Fig. 3.75 A – Vista de montante de toda a barragem.



B



C

Fig. 3.75 – Barragem/Ombreira direita. Vistas laterais.
A - Vista de montante; B - Vista de jusante; C - Vista de montante.



Fig. 3.76 – Vista da rodovia/túnel.

20. UHE Parker

A UHE Parker foi construída entre 1934 e 1938 no rio Colorado, na divisa dos estados do Arizona e Colorado, município de Parker (AZ), com objetivos de geração de energia, abastecimento municipal e controle de cheias. A usina tem 120 MW de potência instalada (04 unid. Francis). A carga hidráulica é de 23,3 m. O reservatório tem uma superfície 82,5 km².

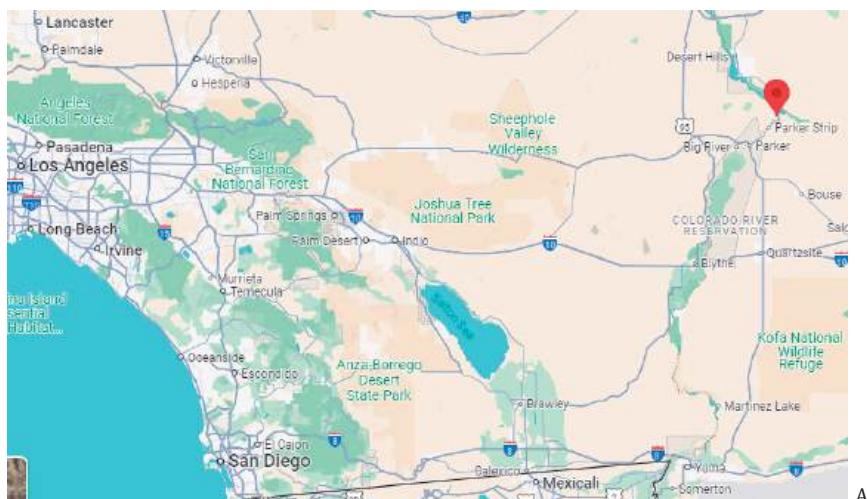


Fig. 3.77 – UHE Parker.
A: Mapa de Localização;
B: Vista aérea.

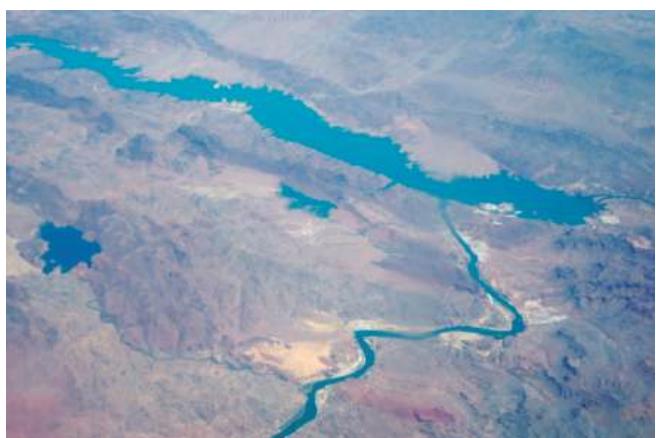


Fig. 3.78 – UHE Parker
– Imagem aérea.



A UHE Parker está localizada no Cinturão Mojave-Sonoran, uma região com 40 km de largura caracterizada por: falhas de tendência noroeste; ausência de sismicidade; e nenhuma falha superficial em aluvões intermediários. A barragem está localizada numa seção curta do vale através das colinas baixas paralelas ao rio Colorado para nordeste e o rio Bill Williams para sudeste da confluência desses rios. O rio Colorado faz uma curva para o sul na confluência e flui essencialmente para o sul através do vale. Os taludes dentro do reservatório para noroeste são suaves, mas os taludes no lado sudoeste são, em geral, íngremes. A rocha da fundação da barragem é um gneiss granítico. No topo das colinas o gneiss granítico é recoberto por rochas sedimentares vulcânicas. O fundo do vale é recoberto por um depósito de 10 m de areia e cascalho. O gneiss porfirítico duro tem massas subordinadas de diques aplíticos. Ao longo de toda a ombreira direita encontra-se filmes de argila e rocha fraturada.

A barragem Parker, de concreto em arco, é a barragem mais profunda do mundo. A calha do rio foi escavada 72 m em profundidade antes de se colocar o concreto da fundação, mas apenas 26 m da estrutura sobressai acima do leito do rio. A barragem tem 97,5 m acima da fundação. Os 5 vãos do vertedouro ocupam 260 m da crista da barragem que tem 260,9 m. Na ombreira direita existe um curto canal de adução até a tomada d'água. Seguem os 4 condutos forçados de 6,71 m de diâmetro até a entrada da casa de força. Cada conduto tem capacidade de 157,9 m³/s. O vertedouro tem 76,2 m de crista, com 5 vãos, e 11,35 m³/s de capacidade de vazão. Os 4 condutos forçados, 6,7 m de diâmetro, tem uma capacidade máxima de 630 m³/s. A casa de força tem 4 turbinas Francis que sob a queda de 23,8 m produzem 120 MW.

A construção da barragem foi feita durante o período de enchimento do enchimento do reservatório da barragem de Hoover (Lago Mead). O desvio do rio Colorado foi feito por 2 túneis revestidos de concreto de 8,84 m de diâmetro na ombreira esquerda. Cada túnel tem capacidade de 850 m³/s.

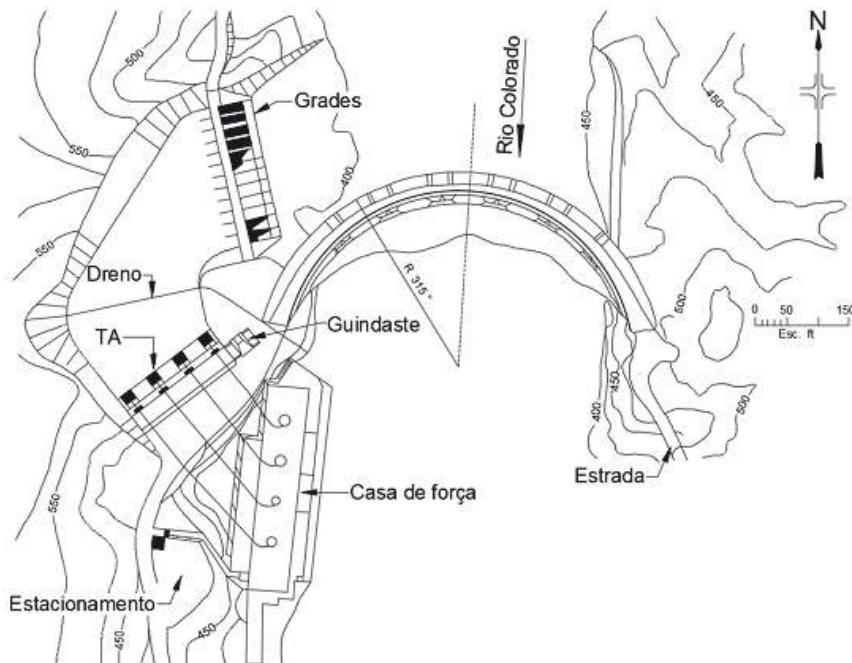


Fig. 3.79 – Barragem Parker – Planta.

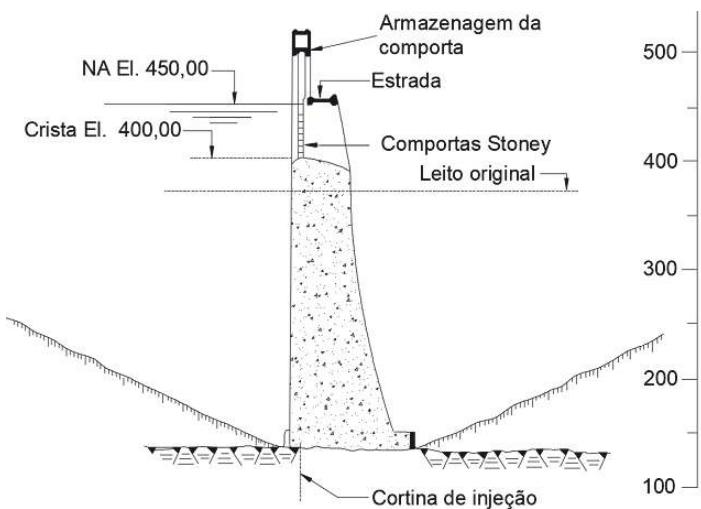


Fig. 3.80 – Barragem Parker
– Corte. (unidade: ft)

21. UHE Fort Peck

A barragem de Fort Peck, 185 MW, foi concluída em 1940, no rio Missouri, no estado de Montana, município de Glasgow, com objetivos de navegação, controle de cheias, geração de energia, irrigação e recreação. A usina tem duas casas de força: a primeira foi concluída só em 1943; a segunda em 1961.

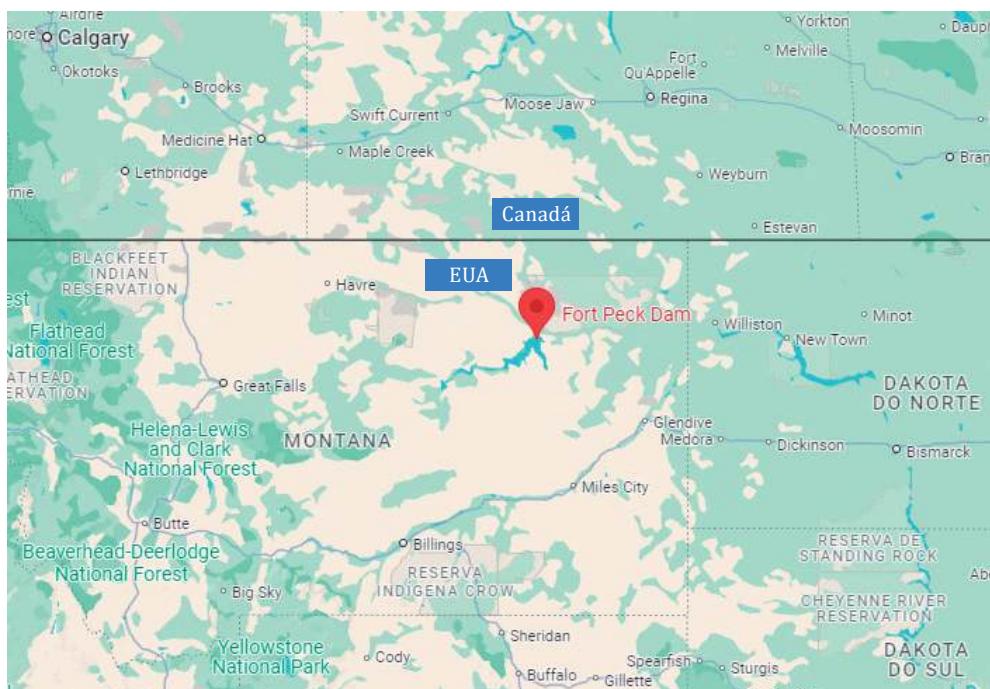


Fig. 3.81 – Fort Peck – Mapa Regional.

O rio Misouri no local da barragem Fort Peck drena uma área de 148.925 km², na encosta oriental do Divisor Continental no norte das Montanhas Rochosas. As elevações nessa porção

da bacia variam de 618,74 m no sítio a 3.048 m nos picos rochosos. As cheias no alto Misouri são de três tipos: cheias causadas pelo degelo nas montanhas frequentemente aumentadas pelas chuvas no pé da colina e na área plana; cheias causadas pelo derretimento da neve na área plana; chuvas causadas por intensas chuvas – tempestades. Usualmente as chuvas ocorrem na bacia no início da primavera, março-abril, ou no final, maio a julho. A precipitação média varia largamente na bacia, de 30 cm no sítio a 76,2 cm no Divisor Continental. Aproximadamente 70% desse total ocorrem entre abril e setembro. O pico da cheia em Fort Peck é da ordem de 14.000 m³/s.

A base da barragem é um tapete de argila. A argila na maior parte, era originária de depósitos glaciais caídos de penhascos. A argila era relativamente impermeável e quando saturada tinha baixa resistência ao cisalhamento.

Os materiais inferiores da planície de inundação consistiam de cascalhos, areias e siltes até 50 m de profundidade. Esse material aluvionar recobre o leito rochoso de xisto Bearpaw, o qual tem uma espessura estimada de 30 m na região. O xisto Bearpaw mergulha para leste num talude de 1 m/1.600 m. Entretanto, para todos os propósitos práticos, a formação pode ser considerada horizontal, intercalada com camadas fina de bentonita e com menos numerosos leitos de arenitos, fósseis, e horizontes de pirita. Concreções, primariamente de pedra de argila-aço, eram também numerosos no intervalo de fração de centímetros a metros de diâmetro.

No estado não alterado, o arenito Bearpaw é um xisto argiloso o que é considerado uma rocha fraca. O xisto tem fratura conchoidal e pode ser ligeiramente amassado com a ponta da unha. A densidade seca varia entre 1.858 kg/m³ a 1.986 kg/m³. O teor de umidade varia de 11 % a 18%. A densidade seca do xisto alterado é usualmente menor que 1.602 kg/m³ e a umidade varia de 20 a 40%. A análise dinâmica de Fort Peck foi conduzida durante os anos de 1972 a 1976. A WES concluiu, com base em seus estudos, que a barragem é segura para qualquer terremoto que possa acontecer no sítio.

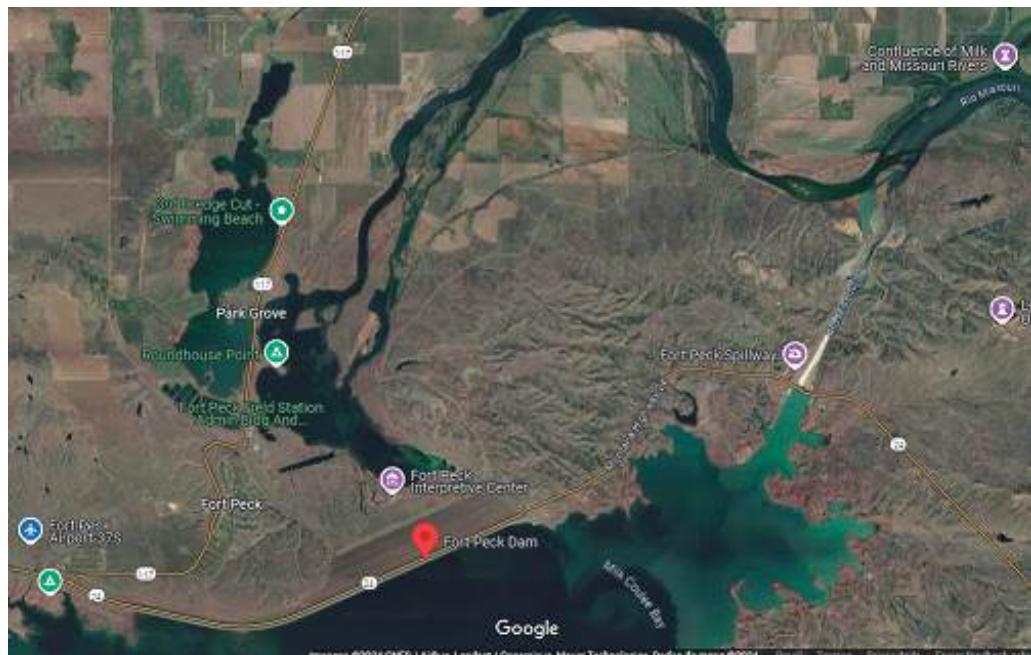


Fig. 3.82 – Fort Peck Layout. Barragem e Vertedouro.

A barragem é em aterro hidráulico com 76 m de altura e 6,4 km de comprimento, incluindo um dique de 3,2 km. Na crista a barragem tem 15 m de espessura e na base um máximo de 1.500 m. A barragem é composta por um núcleo impermeável confinado por dois espaldares permeáveis (Fig.).

A casa de força está posicionada a jusante da barragem junto a margem direita. A estrutura abriga 5 unidades Francis que totalizam a potência de 185, MW. A adução é feita por 2 túneis de 7,3 m de diâmetro e 1,7 km de comprimento.

O vertedouro localizado 5 km a leste da barragem na ombreira direita, é em canal inclinado na ombreira direita, com 1,6 km de comprimento revestido de concreto, vencendo um desnível de 65 m; é controlado por 16 comportas deslizantes (slide gates) de 14 m de altura. A largura do canal varia de 244 m na crista a 37 m a jusante. A capacidade máxima de vazão é de 7.075 m³/s.



Fig. 3.83 – Fort Peck. Vista lateral. Casa de força no pé da barragem junto da ombreira direita.
Maio 1947.



Fig. 3.84 A-B – Fort Peck. Outras vistas.

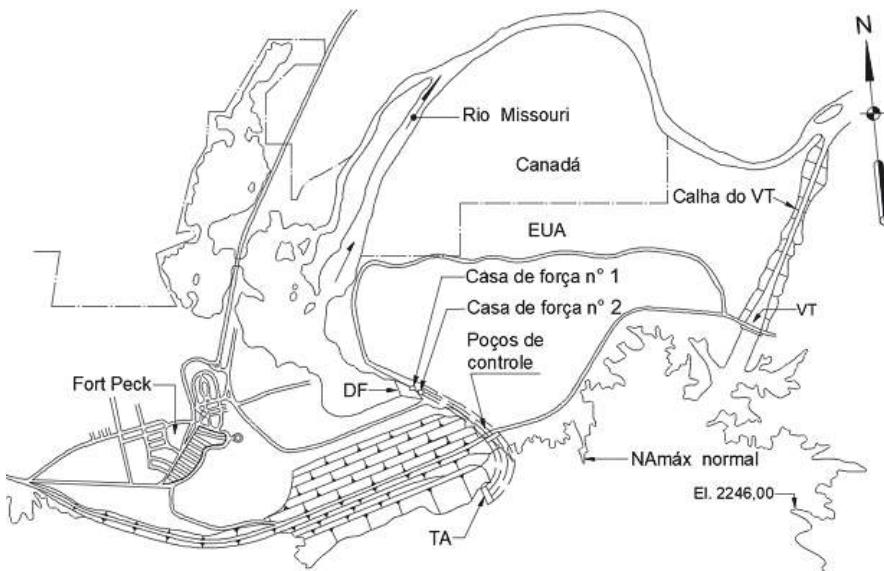


Fig. 3.85 A – Fort Peck. Arranjo do empreendimento. Planta (unidade: ft).
(DF = 2 descarregadores de fundo).

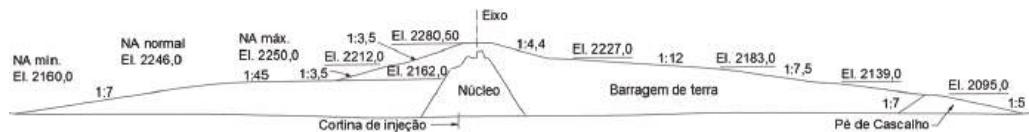


Fig. 3.85 B – Fort Peck. Barragem - Seção máxima (unidade: ft).

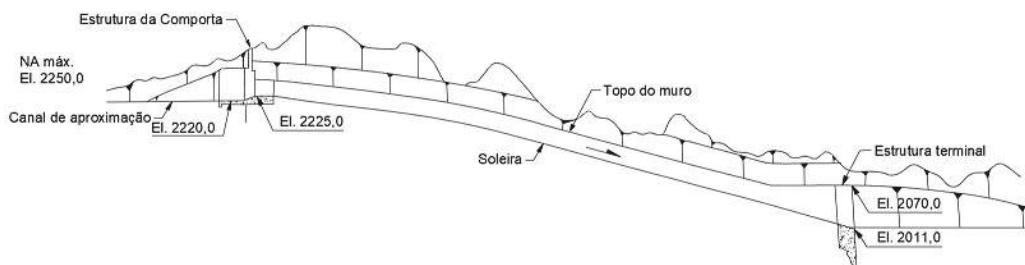


Fig. 3.85 C – UHE Fort Peck. Vertedorro – Perfil (unidade: ft)



A - Vertedorro-barragem ao fundo.



B – Vertedorro.

Fig. 3.86 – Fort Peck. Vistas de jusante.

22. UHE Oroville

A UHE Oroville, 675 MW, foi concluída em 1967, no rio Feather, no estado da Califórnia, município de Oroville, com objetivos de conservação da água, controle de cheias, geração de energia, e recreação. A usina é de propriedade do Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia – DWR. Situa-se a 120 km ao norte de Sacramento e a 8 km da cidade de Oroville.



Fig. 3.87 – UHE Oroville. A-Mapa de localização. B-Arranjo Geral.

A barragem está apoiada em uma fundação rochosa metavulcânica, cuja maciço é, predominantemente, um anfibolito com abundantes veios de calcita, quartzo, epídoto, asbestos e piritita. O maciço é duro, denso, cor cinza-esverdeado a preto, com granulação fina à grossa, fraturado, cortado transversalmente por zonas de cisalhamento e xistosidade acentuado. Três conjuntos predominantes de juntas implicam no fraturamento da rocha, mas as juntas individuais são relativamente estreitas.

A barragem, que se estende entre as ombreiras, tem 235 m de altura com crista na El. 281,00 m. O NAmáx max está na El. 274,30 m. Portanto, a borda-livre é de 6,7 m (bastante alta). A casa de força da usina está na margem esquerda, no pé da barragem, e é subterrânea, abrigando 3 turbinas Francis.

O arranjo contém dois vertedouros na ombreira direita, um de serviço, outro de emergência. O de serviço está junto da barragem principal, separado dela por um espinhaço. Tem 8 comportas de 5,2x10 m e capacidade de vazão de 2.530 m³/s. A estrutura tem uma calha revestida de 950 m até a restituição do escoamento a jusante - na El. 167,20 m. Em função do desnível, 106,70 m, infere-se que no final da calha a velocidade do escoamento é da ordem de 45 m/s, muito elevada. Não foram previstos aeradores no projeto da calha. Nessa época os estudos desses dispositivos estavam apenas começando. O vertedouro de emergência em soleira livre, com extensão de 527,30 m, tem capacidade de vazão de 15.170 m³/s ($h=6,4$ m e $C=1,8$). A estrutura não tem laje de proteção a jusante, o que significa que, no projeto em caso de funcionamento dessa estrutura, admitiu-se conviver com a erosão a jusante. A capacidade total de vazão dos dois vertedouros foi estimada em 17.700 m³/s. A cheia decamilenar é de 20.423 m³/s (Koolgaard, Chadwick).

Registra-se que em 1975 a barragem resistiu com poucos danos um terremoto de 5,7 graus na escala Richter, como registrado na referência “The Evaluation of Dam Safety, Asilomar Conference Grounds Pacific Grove, California, ASCE, 1976”. Registra-se também que em 2013 ocorreram trincas na laje da calha que foram reparadas. Depois de muitos anos de seca, em 7 de fevereiro de 2017 ocorreu uma cheia de $2.800 \text{ m}^3/\text{s}$. Neste dia ocorreu o incidente com o vertedouro de serviço: a laje do rápido quebrou como mostram as figuras a seguir. Os técnicos da DWR decidiram fechar o vertedouro para avaliar o caso e prever os próximos passos. O NA do reservatório subiu e o vertedouro de emergência funcionou pela primeira vez em 50 ano. A erosão a jusante foi imediata. Cabe registrar que foram evacuadas 180.000 pessoas a jusante da barragem ao longo do rio Feather. Dado esse fato, e o volume da cheia, os engenheiros da DWR decidiram manter o vertedouro de serviço funcionando porque não havia condições de fechá-lo com as condições reinantes.

Em 22 de fevereiro o evento excepcional tinha passado e a situação estava controlada. O NA do reservatório foi rebaixado e os trabalhos de recuperação de ambos os vertedouros foram efetivamente iniciados. As obras de reparo do vertedouro de serviço terminaram em novembro de 2018; as obras totai de restauração só foram concluídas após as cheias de 2019.

Os aspectos resumidos na figura a seguir, da época, ilustraram que a chance da barragem colapsar em decorrência do incidente era remota.

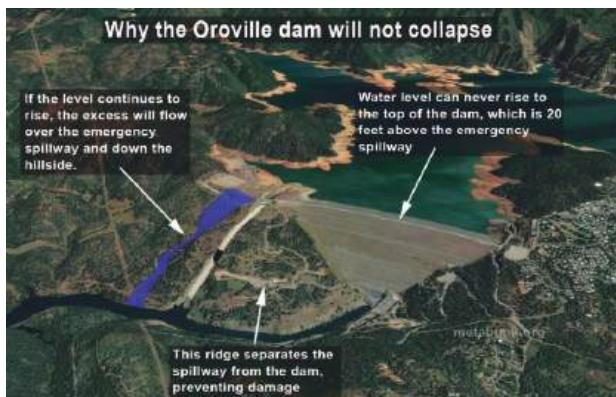


Fig. 3.88 – “Why the Oroville dam will not colapse”.

Porque a barragem não colapsaria: para essas cheias o NA do reservatório não poderia nunca atingir a crista da baragem, 6,10 m acima da crista do vertedouro de emergência; se o NA continuasse a subir, o excesso de água escoaria pelo vertedouro de emergência; o espinhalço que separa a barragem do vertedouro de serviço protege a barragem, previnindo o dano.

O autor é de opinião que o dano inicial na laje do vertedouro de serviço tenha sido provocado por cavitação. A velocidade do escoamento no final da longa calha, sem aeradores, seria muito elevada - da ordem de 45 m/s . Qualquer irregularidade, ou trinca, transversal ao escoamento poderia provocar o início do processo de cavitação. Exemplos tem vários na literatura, como o do vertedouro da barragem de Shahid Abbaspour no rio Karun no Irã, ou Guri no rio Caroni na Venezuela.



A



B



Fig. 3.89 – Oroville. Incidente.
A - ruptura da calha;
B - vista da calha rompida;
C - vertedouro de emergência funcionando.



Fig. 3.90 – Oroville. Recuperação da erosão a jusante do vertedouro de emergência.

O registro desse incidente neste livro tem caráter meramente informativo. Foi elaborado com informações do site da DWR e da publicação Development of Dam Engineering in the United States, preparado pelo USCOLD para o XVI ICOLD em San Francisco, editado por Kollgard&Chadwick (1988).

23. UHE Cherry Valley

A UHE Cherry Valley foi concluída em 1956 no rio Cherry, afluente do rio Tuolumne, na Serra Nevada, no estado da Califórnia, município de Groveland, a 240 km de San Francisco. O objetivo principal foi o de aumentar os reservatórios para abastecimento de água de San Francisco. Tem mais os seguintes objetivos: irrigação, geração de energia (124 MW - duas unidades), controle de cheias e recreação. A área de drenagem no local é de 292 km². O reservatório tem uma superfície de 7,15 km² e um volume da ordem de 296 hm³.

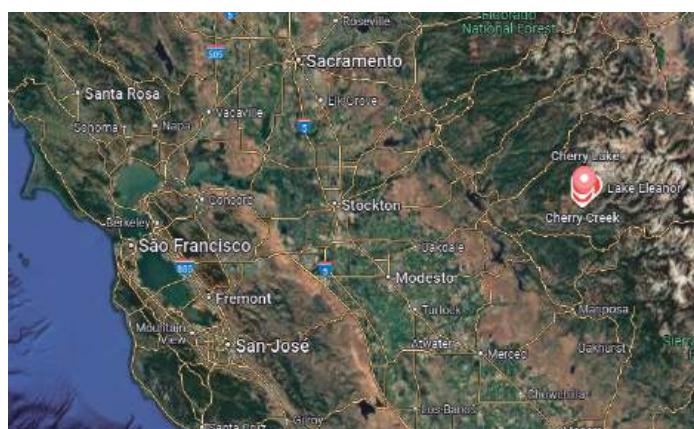


Fig. 3.91 – UHE Cherry Valley. Mapa de localização

A barragem, do tipo de enrocamento com núcleo impermeável, tem 96 m de altura, 793 m de comprimento na crista. As enseadeiras de desvio do rio foram incorporadas à seção da barragem.

O vertedouro é livre com canal lateral. Tem 97 m de comprimento na crista e capacidade máxima de vazão de $1.470 \text{ m}^3/\text{s}$. A estrutura foi testada e otimizada em estudos hidráulicos em modelo reduzido, na escala 1:40.



Fig. 3.92 – UHE Cherry Valley. Arranjo da barragem.

O circuito hidráulico de adução e geração situa-se na margem direita como mostra a figura a seguir. É composto por tomada d'água, condutos forçados ($D=2,7 \text{ m}$), túnel de adução ($7,6 \text{ km}$ de extensão, seção ferradura $D=3,6 \text{ m}$; $1,4 \text{ km}$ de conduto de aço $D=2,7 \text{ m}$) e dois poços verticais até a casa de força, com turbinas de impulso de 62 MW cada, aproximadamente. A carga de projeto é de 680 m e a vazão turbinada $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

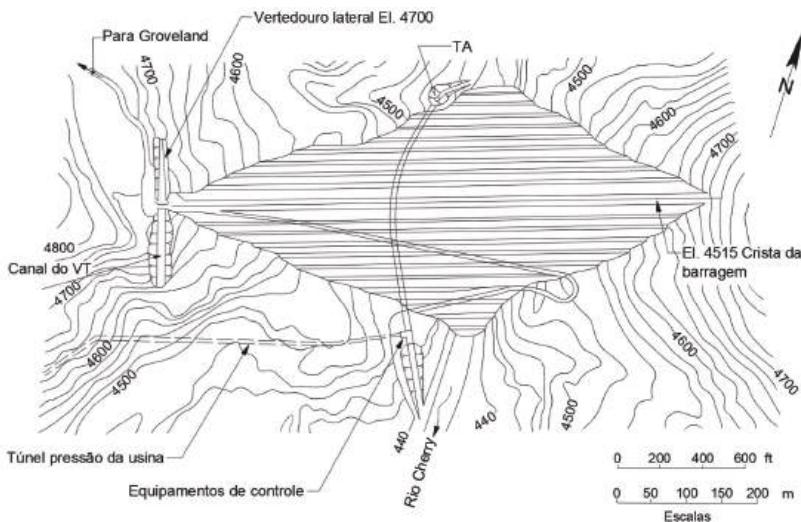


Fig. 3.93 – UHE Cherry Valley. Planta da barragem.

A barragem está fundada em rocha granítica de vários tipos num vale glacial, onde pouca alteração aconteceu desde a última glaciação. A cobertura do vale consiste de fino manto de solo glacial com pedras. A erosão glacial terminou exatamente a jusante do sítio da barragem, resultando em depósitos de espessas camadas solo decomposto de granito para o núcleo da barragem a 3 km do sítio.

O sítio foi investigado por 29 furos de sondagens com profundidades de 10 a 30 m. Essas investigações mostraram que a profundidade do imtemperismo nas ombreiras não era maior que 8 m, e bem menor no leito do rio. Mostraram também que o maciço tinha poucas juntas e fendas. E mais, que pedreiras estavam disponíveis no sítio. O material do núcleo foi investigado por 400 sondagens a trado e por trincheiras. As amostras foram ensaiadas para suportar o projeto.

As análises hidrológicas conduziram a seleção de uma vazão máxima provável para projeto do vertedouro de 1.470 m³/s. Para o controle de cheias os descarregadores de fundo foram projetados para a vazão de 113 m³/s.

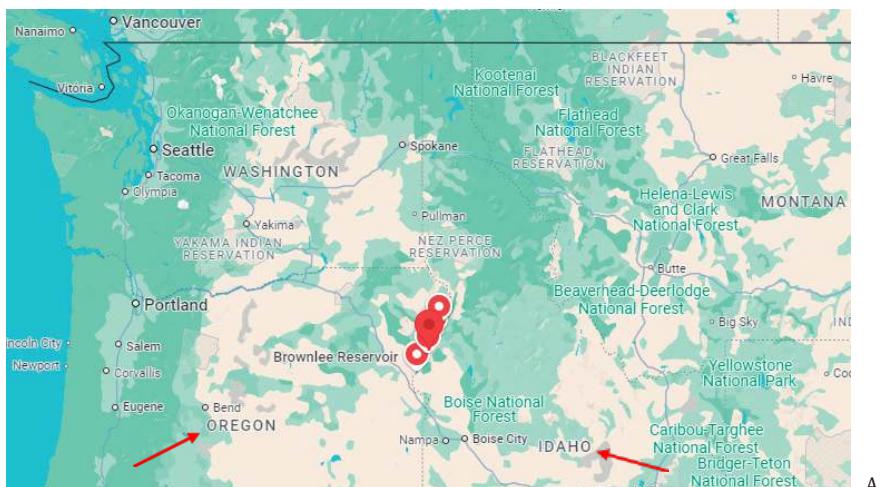
A estrada de acesso ao sítio para início de construção, de 42 km, foi construída entre outubro de 1950 e maio de 1953 (2 anos e 7 meses). O túnel de desvio, com D=5 m e L=400 m, foi escavado em 2 meses; foi concluído em março de 1954. O fechamento do desvio do rio foi em junho de 1954 com a colocação de um tapete impermeável de 22 m de espessura a montante da ensecadeira. Não foi necessário ensecadeira de jusante. Essa ensecadeira foi incorporada ao corpo da barragem. A limpeza da área de empréstimo e da pedreira foram executadas durante o inverno de 1953-1954, e o aterro da barragem foi concluído em outubro de 1955. Em 2 e 3 turnos, o contratante alcançou uma produção no núcleo de 18.350 m³/dia, e uma produção máxima de enrocamento de 9.175 m³/dia.

Volumes totais de serviço foram: núcleo – 2.241.661 m³; enrocamento – 2.656.811 m³; transição 453.378 m³; volume total de 5.521.850 m³.

O tratamento do leito alterado foi feito utilizando-se uma trincheira de vedação e uma cortina de injeções. O comportamento do empreendimento tem sido permanentemente monitorado e performado como pretendido.

24. UHEs Brownlee, Oxbow e Hells Canyon

Essas três hidrelétricas no rio Snake entre os estados de Idaho e Oregon, Brownlee (1958), Oxbow (1961) e Hells Canyon (1968), foram implantadas pela Idaho Power Company, para utilizar a grande queda de 183,5 m existente nesse trecho do rio. As duas primeiras são barragens de enrocamento com núcleo. Hells Canyon é uma barragem de concreto gravidade.



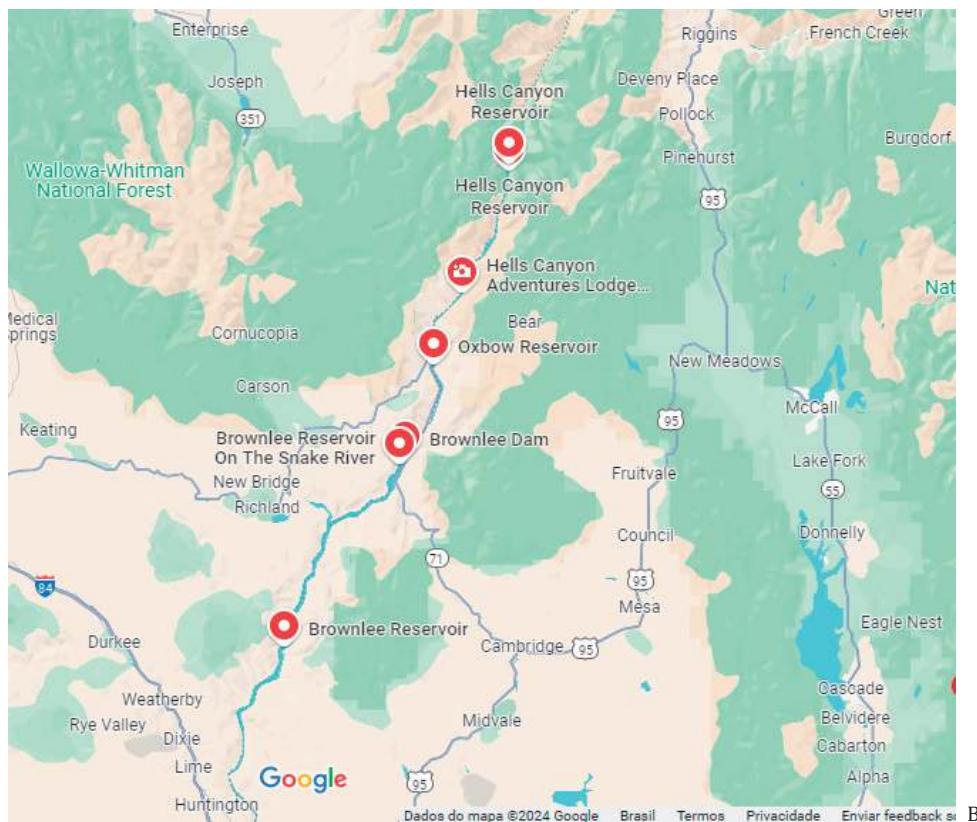


Fig. 3.94 – UHE Brownlee. Mapas de Localização: A-regional; B-local.

A UHE Brownlee, 585 MW (1958), tem por objetivos: geração de energia, controle de cheias e piscicultura. A área de drenagem no local é de 186.500 km². O reservatório tem área de 61 km² e volume da ordem de 1.813 hm³. A barragem é de enrocamento com núcleo impermeável. Tem 93 m de altura e 427 m de comprimento na crista. O vatedouro tem 4 comportas de 15,24 x 9,75 m; tem 3 descarregadores de fundo com comportas de 7,01x7,01 m. A capacidade máxima de vazão é de 8.490 m³/s. A casa de força tem 5 unidades Francis, com 4 condutos forçados de D=7,31 m e 156 m de comprimento, carga de 71,63 m; e 1 conduto forçado de D=8,53 m e 193,6 m de comprimento, carga de 73,15 m.

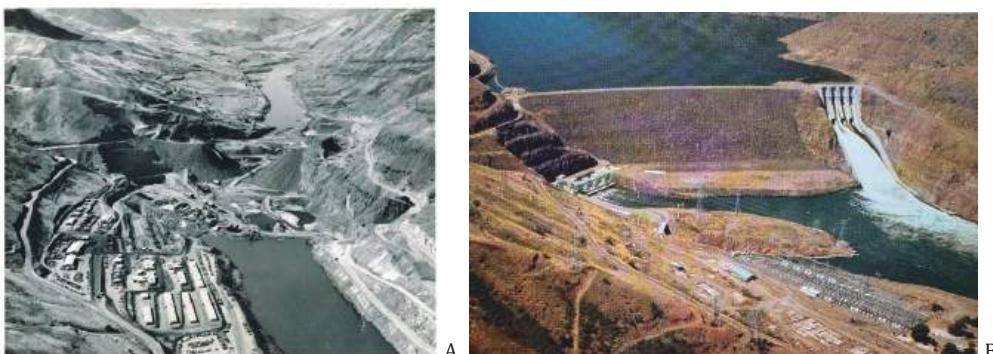


Fig. 3.95 – UHE Brownlee. A-Construção. B-Vista de jusante.

A UHE Oxbow, 190 MW – 4 unidades (1961). Tem por objetivos: geração de energia, controle de cheias e piscicultura. A área de drenagem no local é de 190.000 km². O reservatório tem área de 4,7 km² e volume da ordem de 71,8x10⁶ m³. A barragem é de enrocamento com núcleo impermeável; tem 53 m de altura. Entende-se que o vertedouro é idêntico ao de Brownlee, com 3 comportas de 15,24x9,75 m.

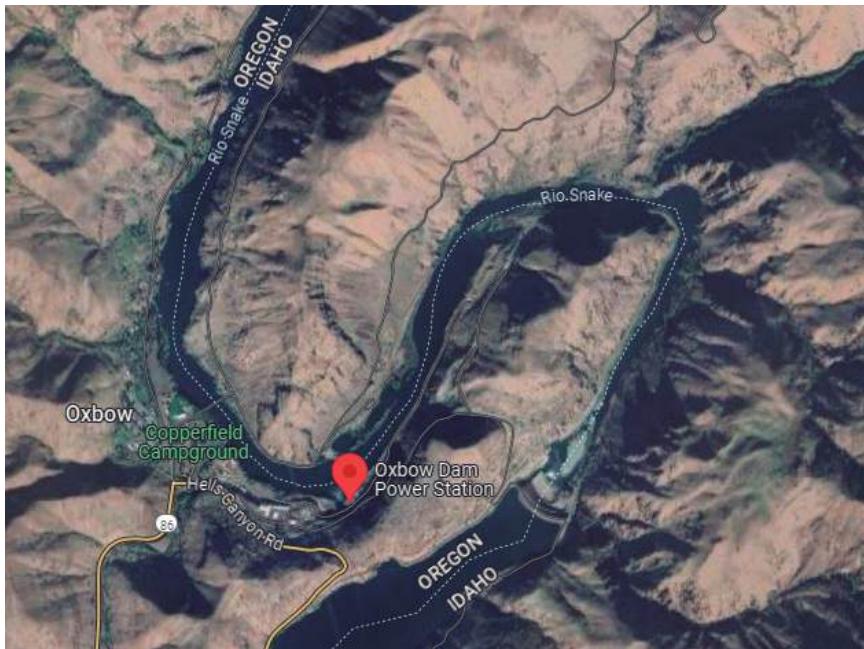


Fig. 3.96 A – UHE Oxbow. Arranjo geral.



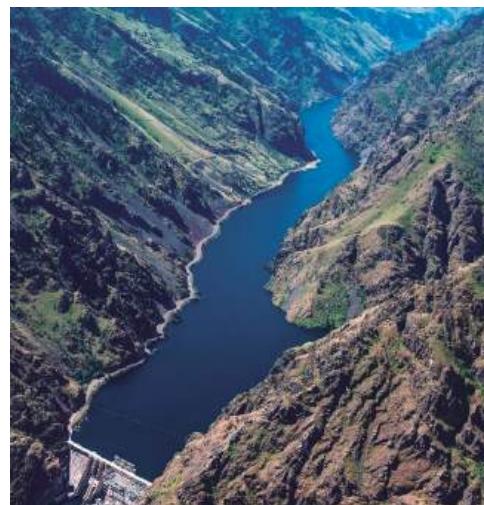
Fig. 3.96 B – UHE Oxbow. Vista de jusante.

A UHE Hells Canyon, 391 MW – 3 unidades (1968). Tem por objetivos: geração de energia, controle de cheias e piscicultura. A área de drenagem no local é de 189.800 km². O reservatório tem área de 10 km² e volume da ordem de 232.000 m³. A barragem, de concreto seção gravidade, tem 100 m de altura. Considerou-se o mesmo vertedouro das usinas de montante, com 3 comportas de 15,24x9,75 m.



A

UHE Hells Canyon. Construção.



B

Reservatório.



B

Fig. 3.97 – UHE Hells Canyon. Vista de jusante.

25. UHE Nantahala

A UHE Nantahala, 43,2 MW, no rio Nantahala no sudoeste da Carolina do Norte, é de propriedade da Companhia Nantahala Power and Light. Foi implantada entre julho de 1940 e julho de 1942 com o objetivo de geração de energia.

Destaca-se que o trecho de interesse do rio tem forte inclinação e permite um empreendimento da alta queda - 282 m, com um pequeno reservatório - 6,5 km², o qual tem um volume da ordem de 155 hm³. A área de drenagem no local é de 236 km². Segundo Koolgaard & Chadwick (1988), a usina está operando com sucesso desde sua implantação.

A barragem é de enrocamento com núcleo impermeável inclinado. Tem 76 m de altura e 318 m de comprimento na crista.

O vertedouro na ombreira direita tem 4 comportas radiais de 5,8 m de altura por 7,6 m de largura; a capacidade máxima de vazão é de 1.552 m³/s. Destaca-se que, entre o vertedouro e a ombreira direita, tem dois fuse plugs: um de 8 m de comprimento na El. 2.890 ft e outro de 11 m na El. 2.892 ft.

O túnel de adução tem 8,4 km de extensão até a chaminé de equilíbrio, e mais 607 m até o conduto forcado-caixa espiral. A usina tem uma unidade Francis de eixo vertical.

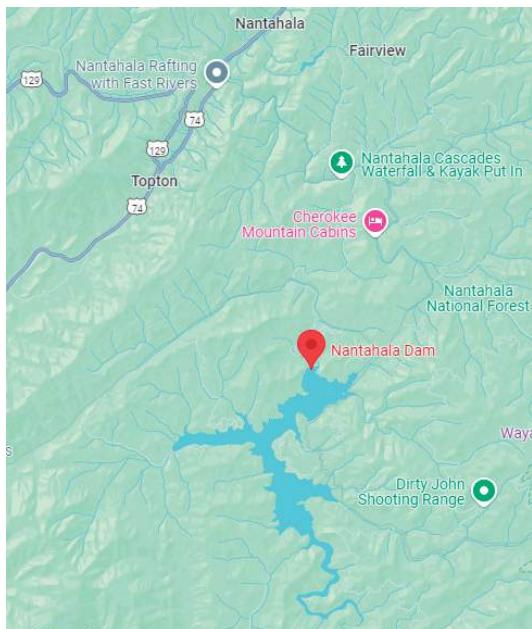
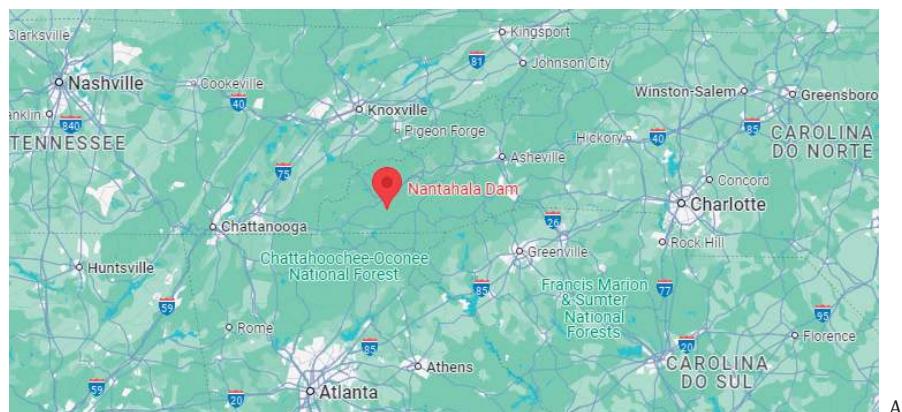


Fig. 3.98 – UHE Nantahala.
Mapa de Localização.
A-regional;
B-local.

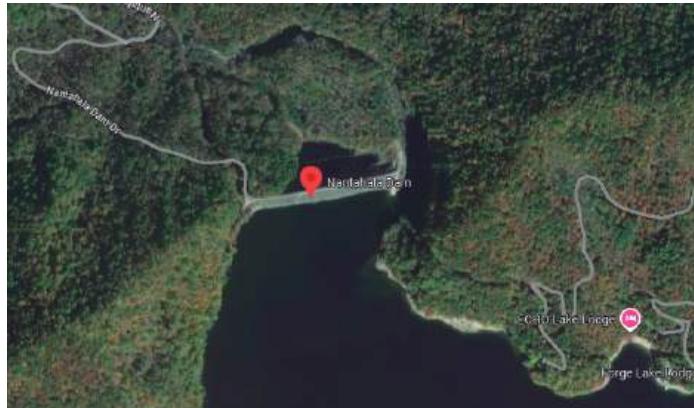


Fig. 3.99 – UHE Nantahala.
Layout. Imagem.



Fig. 3.100 – UHE Nantahala.
Barragem de enrocamento e Vertedouro.
Emboque da TA na ombreira esquerda. Vista
de Jusante.

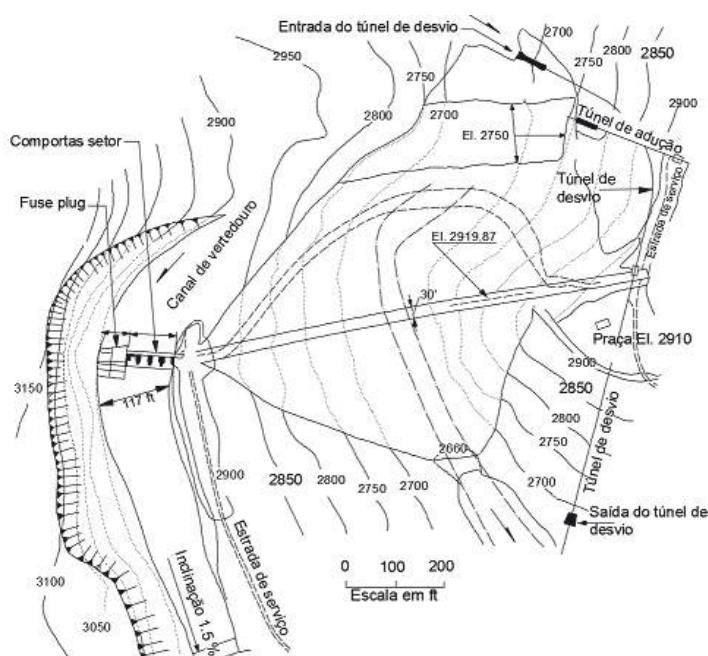


Fig. 3.101 – UHE Nantahala. Arranjo Geral.

No início da obra foi escavado o túnel de desvio através da ombreira esquerda com $D = 4,9$ m e $L = 430$ m, para a vazão de $213 \text{ m}^3/\text{s}$. A obra durou exatamente 2 anos. Em julho de 1942 o reservatório estava completamente cheio.

26. UHE Boundary

A UHE Boundary no rio Pend Oreille, afluente do rio Columbia, no nordeste do estado de Washington, a 1,6 km da fronteira com o Canadá, e a 380 km a nordeste da cidade de Seattle. Foi construída e é operada pela Seattle City Light, proprietária da usina. A obra terminou em 1967 e tem 1.000 MW de potência instalada.

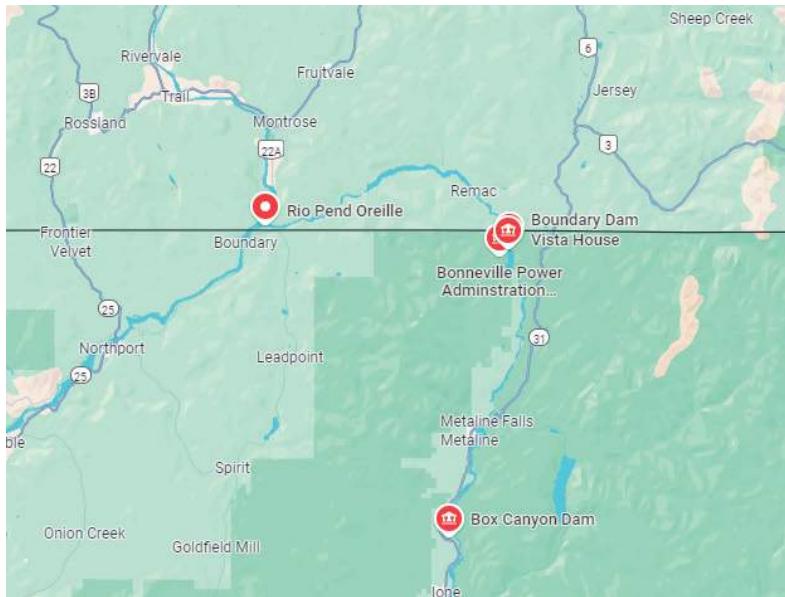


Fig. 3.102 – UHE Boundary. Mapa de localização.

A área de drenagem no sítio é da 64.500 km². O reservatório no NAmáx normal El. 1990 ft, tem uma superfície de apenas 6,64 km² e um volume de 116 hm³. Além da geração tem finalidade de recreação. A usina é a fio d'água. As flutuações diárias do NA reservatório com produção de enrgiar ficam entre os NAs 1.990 e 1980 ft (ou seja, flutua 10 ft = 3 m, aproximadamente, por dia).

A geologia local nas Montanhas Rochosas é composta por rochas metamórficas sãs do pré-cambriano, constituídas por arenitos dolomíticos.

A barragem é de concreto em arco dupla-curvatura, tem 105 m de altura e comprimento na crista de 226 m; espessura da crista de 2,4 m e da base de 9,7 m. A usina tem 3 vertedouros nas ombreiras, sendo um deles para detritos (debris). O vertedouro para detritos tem comporta basculante de 7,9m x 2,4m; os vertedouros de superfície têm comportas radiais de 15,2m x 13,4m; os sete orifícios de fundo têm comportas de 5,1m x 6,4m. A cheia de projeto é de 10.000 m³/s. Cabe registrar que a cheia máxima provável tem pico de 13.750 m³/s, resultante do derretimento de um pacote acumulado de gelo de 7 meses sobre a superfície da área de drenagem da bacia. Registra-se também que o pico da máxima cheia registrada na bacia foi 171.300 cfs em 1948, antes da construção dos grandes reservatórios de acumulação a montante. A casa de força é subterrânea na ombreira esquerda e abriga seis turbinas Francis. A carga é de 76 m.



Fig. 3.103 – Vistas de jusante (www.hydro.org).

A-Observa-se os vertedouros e os orfícios inferiores.

B-Observa-se os 6 túneis de fuga a jusante da ombreira esquerda.

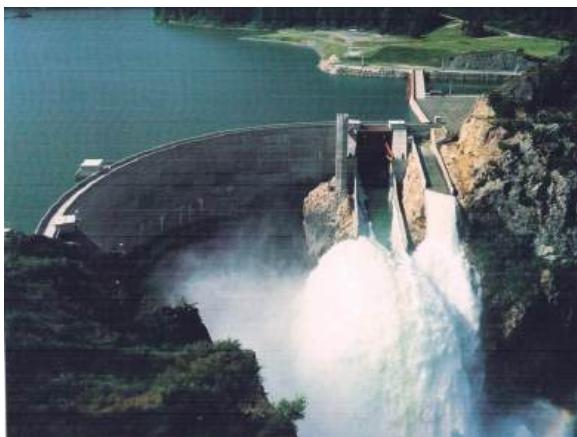


Fig. 3.104 – UHE Boundary.

Vista de jusante. (Kollgaard & Chadwick, 1988).

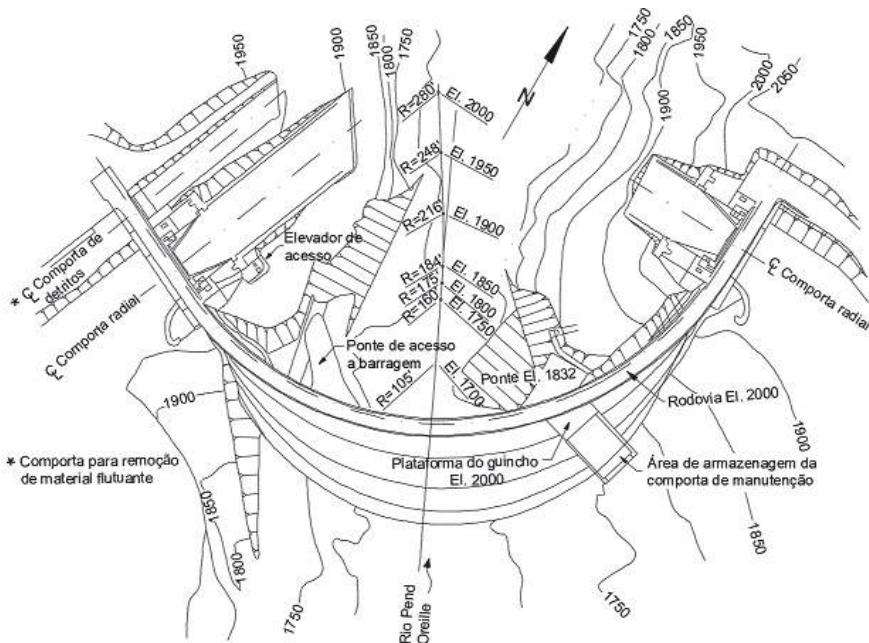


Fig. 3.105 A – UHE Boundary. Planta.

27. UHE Wanapum

A UHE Wanapum no rio Columbia, 831 MW, no estado de Washington, próximo da cidade de Beverly, foi construída com objetivos e geração de energia, controle de cheias, navegação, irrigação e recreação. É uma das onze hidrelétricas no rio entre os estados de Washington e Oregon, sendo ela a quinta a jusante de Grand Coulee - a 290 km, e a 664 km da foz do rio no Oceano Pacífico. A usina ficou pronta em 1964. A área de drenagem no sítio é de 246.050 km². Com o NA normal na El. 570 o reservatório inunda uma área de 59,5 km². O volume é da ordem de 826 hm³.

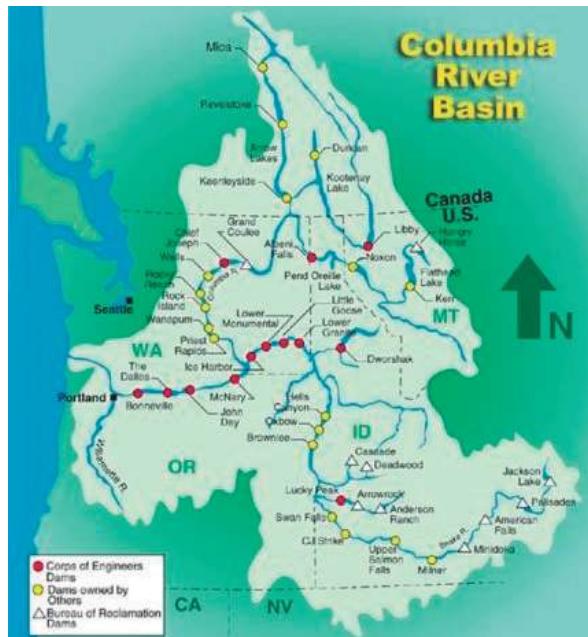


Fig. 3.106 – UHEs na Bacia do Rio Columbia.

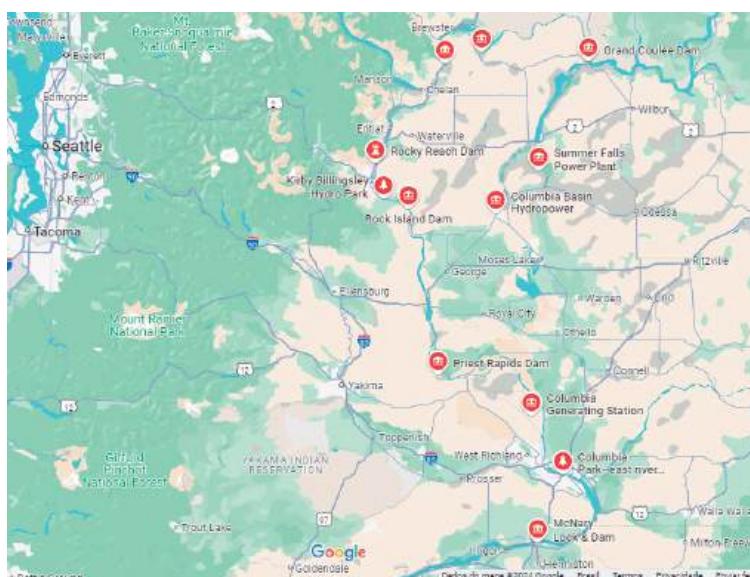


Fig. 3.107 – UHE Wanapun. Mapa de Localização.

Sob o ponto de vista geológico, na bacia hidrográfica ocorrem, generalizadamente, derrames de basaltos. Os vários derrames individuais têm espessura que varia acima de 15 m. No sítio da barragem a espessura é da ordem de 120 m. Quanto a sismicidade no projeto foi usada uma aceleração de 0,1 g. O maior terremoto registrado na área de Walla Walla, 160 km a sudeste de Wanapun, foi de magnitude 5,8 na escala Richter.

Sob o ponto de vista hidrológico, registra-se que a vazão do rio tem grande variação ao longo do ano. A média anual no local da barragem é equivalente a 45 cm de espessura sobre a área de drenagem de 246.050 km². As vazões máxima e mínima registradas no sítio são de 21.000 m³/s e 600 m³/s. A VMP é da ordem de 38.500 m³/s. Destaca-se que a vazão natural do rio é modificada pelos reservatórios de regulação localizados na calha do rio e de seus afluentes. A montante de Wanapun, os principais reservatórios de regulação são os de Grand Coulee, Albeni Falls, Lago Chelan, Lago Coeur d'Alene, Hungry Horse e Lago Flathead nos EUA; e o Lago Kootenai no Canadá. Esses reservatórios são operados em coordenação com o armazenamento em outros afluentes para produzir a potência ótima na região.

A UHE Wanapun foi construída entre os anos de 1959 a 1964 como parte do projeto Priest Rapids a jusante. Os aproveitamentos distam entre si 29 km. Embora seja considerado um aproveitamento a fio d'água, Wanapun tem volume de armazenamento utilizável de 210.600 m³, o qual pode ser rebaixado para controle de cheias - se necessário.

A barragem é uma combinação de estruturas de terra e de concreto gravidade convencionais, com uma casa de força integrada, formando um arranjo em Z modificado através do rio, como mostram as figuras. A altura máxima é de 56,7 m e o comprimento é de 2.602 m, com 1.753 m em barragem de terra.

O vertedouro com bacia horizontal tem 12 comportas de 15,2 m de largura x 19,8 m de altura. O comprimento da crista é de 250,9 m. A capacidade máxima de vazão é de 39.640 m³/s,

A casa de força com potência total de 831 MW é incorporada na barragem, e tem 10 turbinas tipo Kaplan. A carga de projeto é de 24,38 m.

Como o rio é navegável do Pacífico ao lago de Columbia, na Columbia Britânica no Canadá, todas as usinas tem eclusas.

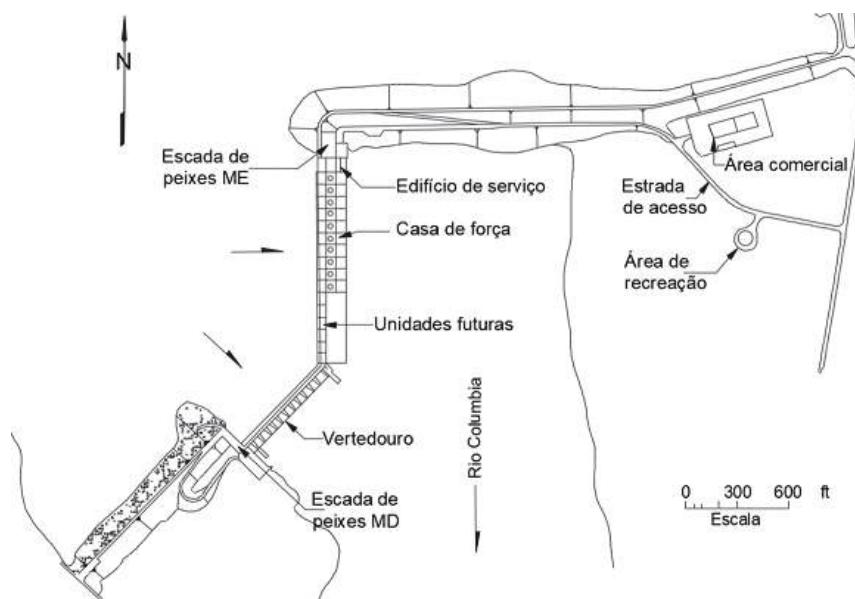


Fig. 3.108 – UHE Wanapun. Planta.



Fig. 3.109 A – UHE Wanapun.
Vista de Jusante.



Fig. 3.109 B – UHE Wanapun.
Vertedouro e Casa de Força.

28. UHE Wells

Apresenta-se neste livro um resumo da UHE Wells, 820 MW, no rio Columbia (WA-EUA), com intuito de divulgar para os jovens engenheiros um arranjo que, além da estrutura convencional da casa de força para gerar energia – objetivo principal da usina, tem uma escada de peixes de porte – para 6.000 salmões adultos.

Esse resumo foi extraído da publicação “Development of Dam Engineering in the United States, preparada pelo USCOLD em 1988 e distribuída aos participantes do XVI ICOLD, Congresso Internacional de Grande Barragens, em São Francisco, EUA. Essa publicação, com 1.072 páginas para a qual vários autores contribuíram, deve ser foi procurada pelos interessados em maiores detalhes sobre o assunto. Ela foi editada por Kollgaard & Chadwick (1988).

A usina de Wells está situada no município de Chelan (WA), a montante da usina de Wanapum. Ficou pronta em janeiro de 1969. A área de drenagem no sítio é de 221.000 km². Com o NAmáx normal na El. 781 o reservatório inunda uma área de 59,5 km². O volume é da ordem de 370 hm³.

O arranjo contempla as estruturas de concreto do vertedouro, casa de força e escadas de peixe combinadas, com barragens de terra em ambas as ombreiras, fundadas em granito como na UHE Wanapum. O comprimento total das estruturas é de 344 m; a altura máxima é de 44 m; largura é de 51,4 m; volume 300.000 m³. A barragem leste tem 296 m de comprimento e 49 m de altura; o volume é de 708.000 m³. A barragem oeste tem 719 m de comprimento e 26,5 m de altura; o volume é de 983.000 m³.

O vertedouro em ogiva tem 154 m de comprimento e uma capacidade de 33.400 m³/s. A casa de força abriga 10 unidades Kaplan. A queda de projeto é de 19,8 m.

A capacidade do canal de desova é de 6.000 salmões. A área dos tanques de criação é da ordem de 643.500 m².



Fig. 3.110 – UHE Wells. Vista aérea.



Fig. 3.111 – UHE Wells. Vista de jusante.

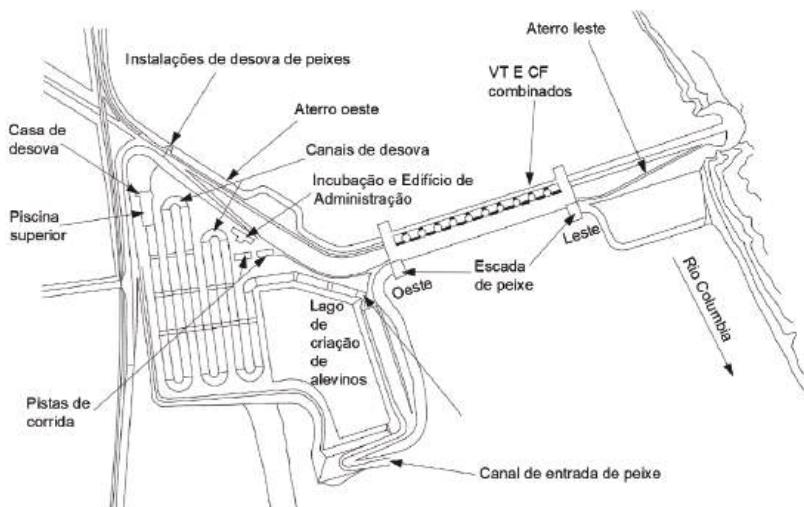


Fig. 3.112 – UHE Wells. Planta.

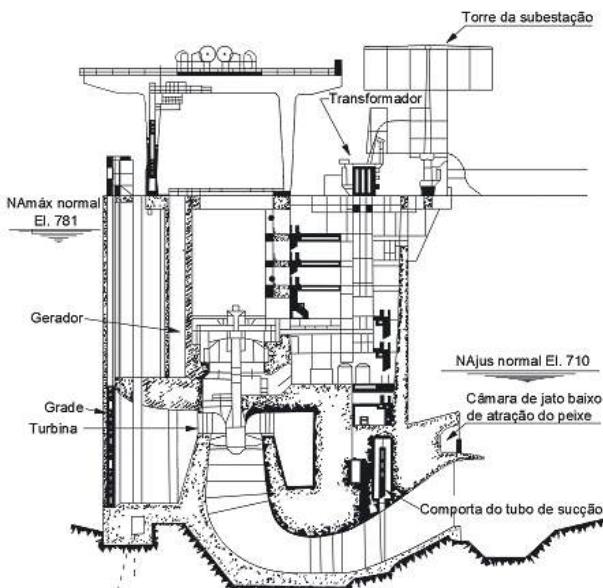


Fig. 3.113 – UHE Wells.
Seção pela casa de força.

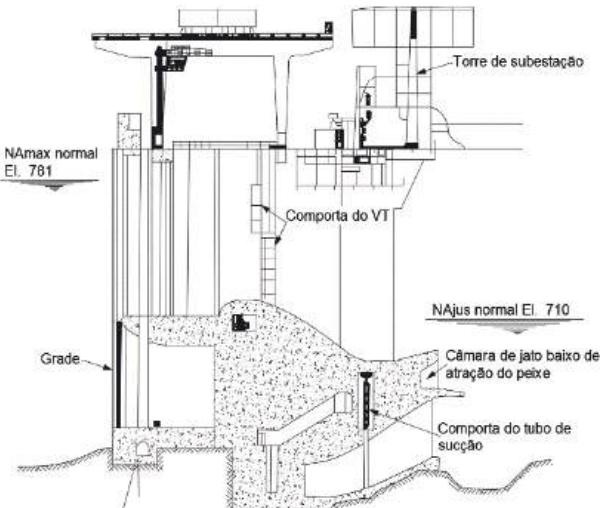


Fig. 3.114 – UHE Wells.
Seção pelo vertedouro

A primeira fase de desvio do rio foi feita por uma ensecadeira celular ao longo do rio, com 20 m de diâmetro, concetada às margens por diques de terra a montante e a jusante. Nessa fase foi construída de boa parte da estrutura combinada do vertedouro e da casa de força no leito do rio. A concretagem começou em junho de 1964. Em junho de 1966, com as estruturas praticamente prontas, o rio foi desviado para o vertedouro e para as unidades 8, 9 e 10. Em maio de 1967 o reservatório estava cheio para o início da operação. Em janeiro de 1969 todas as 10 unidades estavam em operação comercial.

29. UHE Dworshak

A UHE Dworshak, 400 MW – 3 unidades, foi concluída no rio North Fork Clearwater, Idaho, município de Orofino, em março de 1973, com objetivos de controle de cheias, geração de energia, abastecimento de água e recreação.

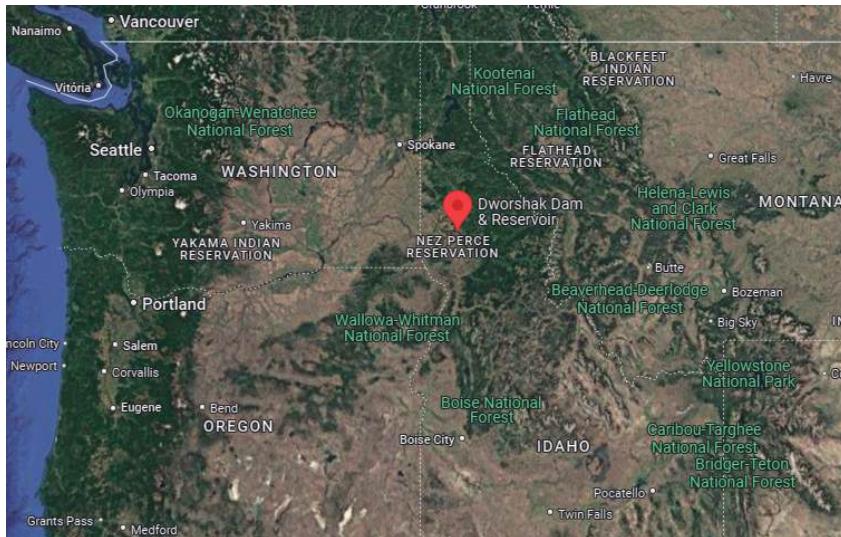


Fig. 3.115 A – Mapa de localização regional.



Fig. 3.115 B – Mapa de localização local-regional.

A área de drenagem do local é de 6.320 km², aproximadamente. A vazão máxima registrada foi de 2.830 m³/s – dado extraído de uma referência de 1988.

A geologia do local é um granito gneiss que é parte da sequência de rochas metamórficas que formam o flanco ocidental do Batólito de Idaho. As investigações realizadas foram as tradicionais. O local é de baixa sismicidade; nos estudos foi adotada uma aceleração de 0,1 g.

O rio North Fork Clearwater é principal afluente do rio Snake. A bacia tem forma irregular, com 123 km na direção leste-oeste, 50 km de largura média e 74 km na direção norte-sul. A precipitação média anual é de 130 mm. O padrão de precipitação sazonal é da ordem de 40% durante os meses frios de novembro a janeiro e de 9% durante os meses de julho a setembro. A PMF é da ordem de 11.620 m³/s.

A barragem, seção de concreto gravidade, tem 212 m de altura e 1.002 m de comprimento de crista. A estrutura tem três descarregadores de meio-fundo, de 3,7 x 5,2 m, para 1.130 m³/s.

O vertedouro, em bacia de dissipação, tem dois vãos com comportas com 30,5 m de comprimento e capacidade para 4.000 m³/s.

A casa de força abriga três turbinas Francis, duas de 90 MW e uma de 220 MW. A carga de projeto é de 170 m. A usina tem dois condutos froçados de 3,7 m e quatro de 5,8 m.

O desnível entre o NAmáx do reservatório e a cota da bacia é de 208 m, o que implica em escoamento com altíssima velocidade na entrada da bacia – da ordem de 60 m/s. Os descarregadores de fundo e a bacia tiveram problemas de erosão por cavitação (ver figura a seguir).

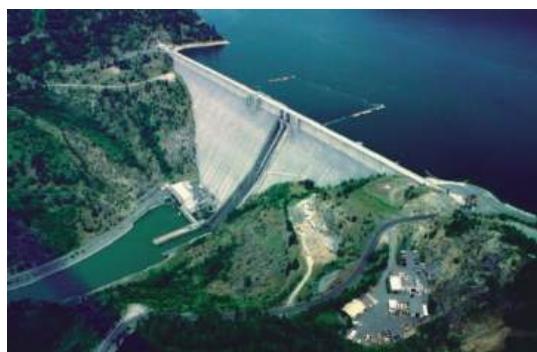


Fig. 3.116 – UHE Dworshak.
Vista aérea.

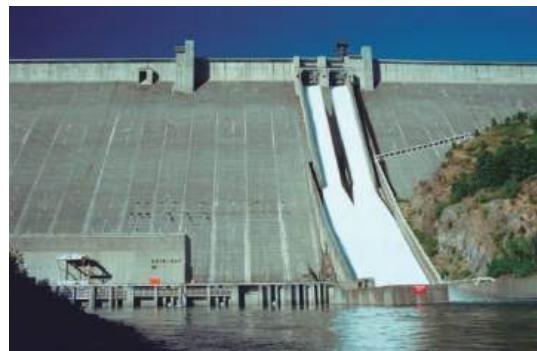


Fig. 3.117 – UHE Dworshak.
Vista de jusante.



Fig. 3.118 – UHE Dworshak.
Erosão da bacia de dissipação.

A execução do túnel de desvio foi realizada no período de janeiro de 1965 a outubro de 1966, através de um contrato independente. O desvio do rio para o túnel foi concluído em 18 de outubro de 1966. A concretagem da barragem foi concluída em janeiro de 1973. As comportas do vertedouro foram instaladas em abril de 1973. A instalação dos três conjuntos T-G foi concluída também em abril de 1973.

30. UHE Libby

A UHE Libby, 600 MW – 5 unidades Francis, foi concluída em agosto de 1975 no trecho alto do rio Kootenai, afluente do rio Columbia, a noroeste de Montana, no município de Lincoln, a 25 km da cidade de Libby, com objetivos de geração de energia, controle de cheias, recreação e administração ambiental. A área de drenagem no local do empreendimento é da ordem de 23.270 km².

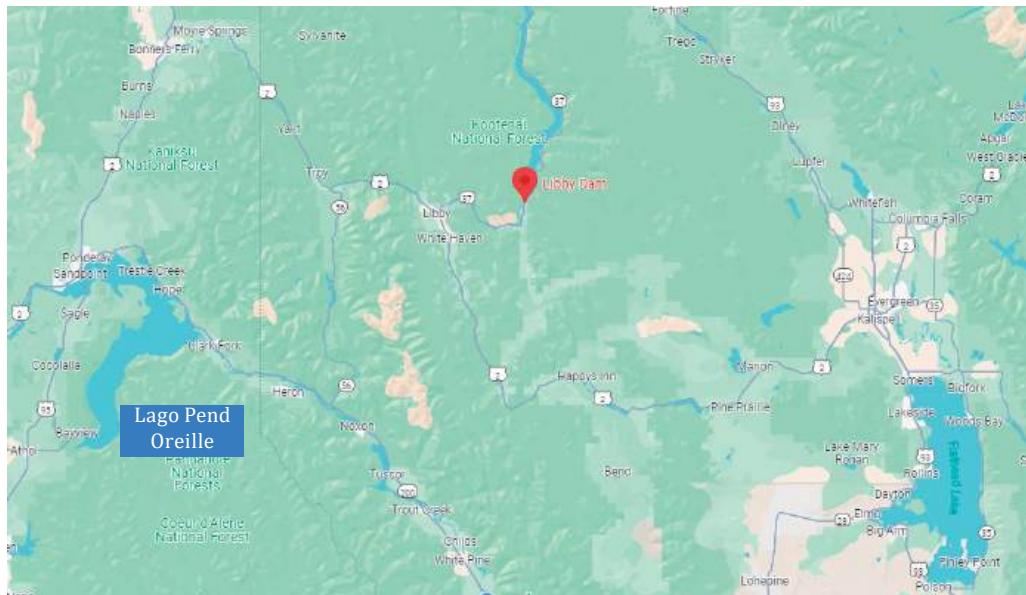


Fig. 3.118 – UHE Libby. Mapa de Localização.

A barragem do empreendimento, seção de concreto gravidade, tem 129 m de altura e 931 m de comprimento de crista. O reservatório criado, denominado Lago Koocanusa, tem superfície de 189 km² e volume total de 7.434 km³.

O vertedouro, perfil Creager com bacia de dissipação, com duas comportas tem capacidade de vazão de 4.100 m³/s. O aproveitamento tem três descarregadores de meio-fundo, de 3,7 x 5,2 m, o qual, sob carga de 81 m, tem capacidade para 1.680 m³/s.

O desnível entre o NAmáx do reservatório e a cota da bacia é 118 m, o que implica em um escoamento na entrada da bacia com alta velocidade – da ordem de 48 m/s. Tanto a bacia como os descarregadores de fundo tiveram sérios problemas erosão por cavitação.

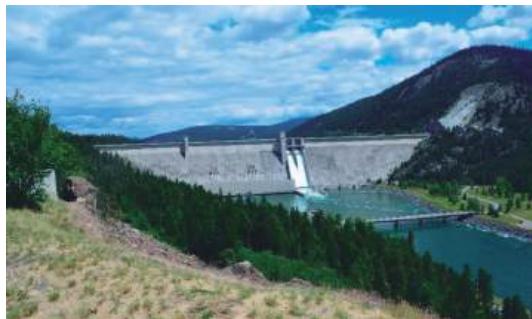


Fig. 3.119 – UHE Libby.
Vista de jusante.



Fig. 3.120 – UHE Libby.
Abrasão na bacia de dissipaçāo (Neidert, 1979).

31. UHE Blenheim-Gilboa

A UHE Blenheim-Gilboa é uma usina reversível no vale do rio Schoharie, a 100 km de Albany (NY). A usina é de propriedade da New York Power Authority. O reservatório inferior foi criado barrando o rio Schorarie a montante da cidade de North Blenheim. A água deste reservatório é bombeada para o reservatório superior através de um poço de concreto. A casa de força, construída em 1973, tem 4 turbinas Hitachi de 260 MW. A queda bruta varia de 325-348 m. Entre 2003 e 2010 as turbinas foram modernizadas para 286 MW. A energia é usada diariamente na hora do pico.



Fig. 3.121 – UHE Blenheim-Gilboa,
reversível.
A-Esquema Geral.
B-Reservatórios Inferior e Superior.
B

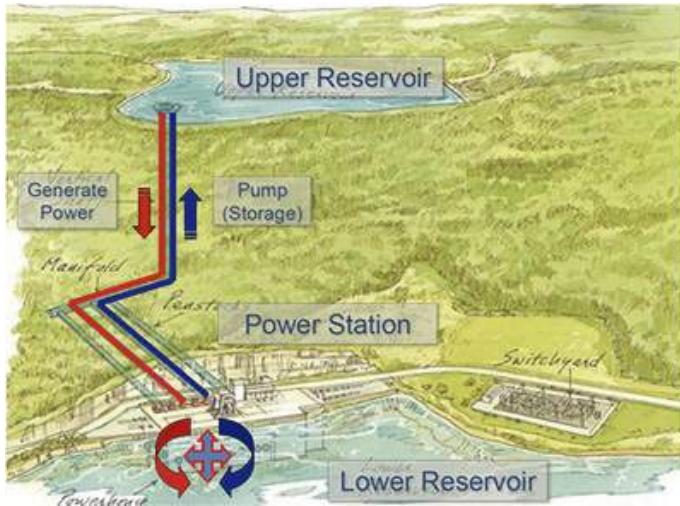


Fig. 3.122 – UHE Blenheim-Gilboa, reversível. Croqui.

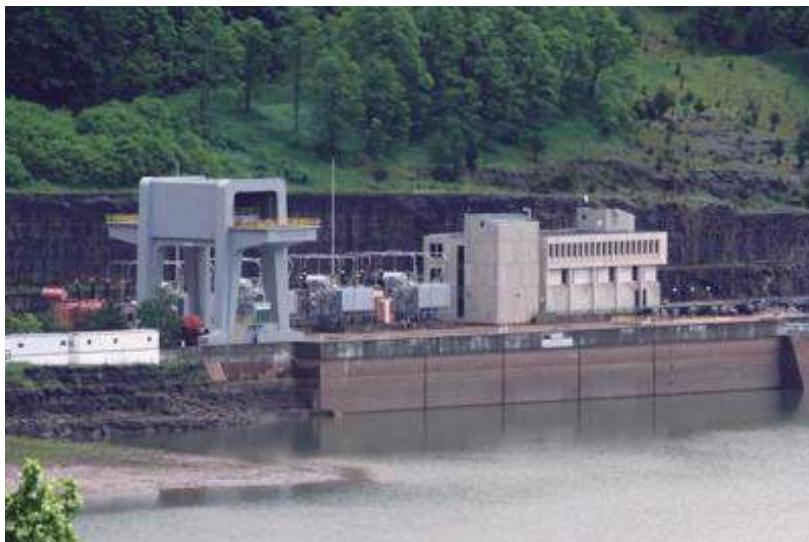


Fig. 3.123 – UHE Blenheim-Gilboa. Vista de jusante da usina.

32. UHE Moses-Saunders

O reservatório da barragem Moses-Saunders no rio Saint Lawrence, fronteira entre USA e Canadá, fornece água para duas usinas hidrelétricas: Robert Moses, 912 MW, nos EUA, e R.H. Saunders Generating Station, 1.045 MW, no Canadá. A usina fornece energia para a Província de Ontario e para o Estado de New York.

A OPG, Ontario Power Generation, é proprietária e opera a usina do lado canadense. A NYPA, New York Power Authority, é proprietária e opera a usina do lado americano.

A usina gerou pela primeira vez em julho de 1958. Em 1981 a usina americana Robert Moses foi renomeada para Franklin Delano Roosevelt Power Project em homenagem ao presidente americano fundador da NYPA.

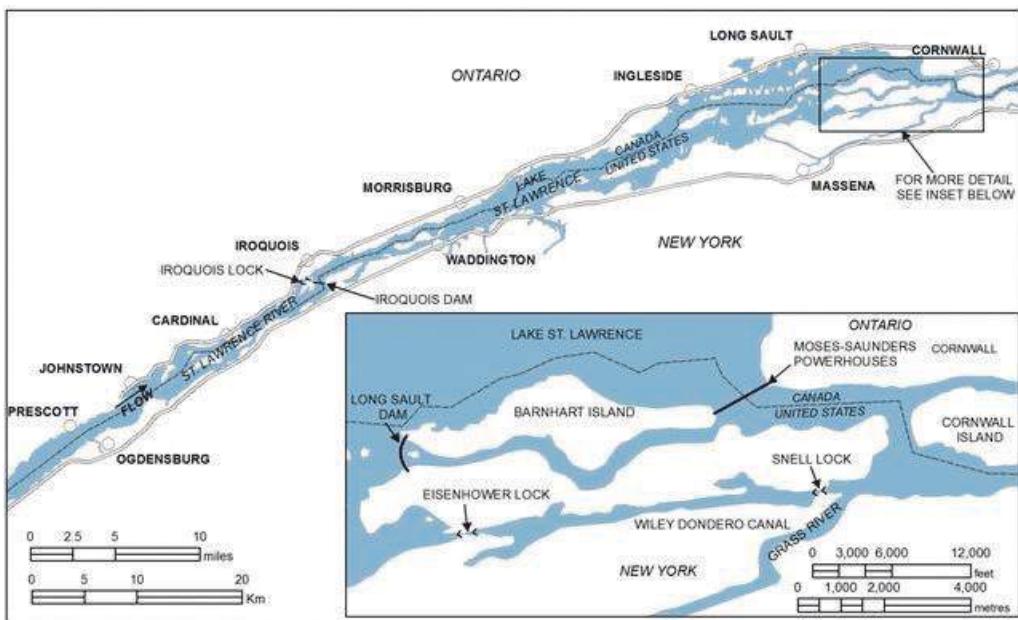


Fig. 3.124 – Localização das comunidades e das estruturas de controle do Lago St. Lawrence. No trecho, além das hidrelétricas, tem três eclusas. Tem também, tubulações de estações de abastecimento de água que não fazem parte deste resumo.



Fig. 3.125 – UHE Moses-Saunders

Registra-se que a formação de gelo frazil e o potencial de geração tem efeito importante na regulação do escoamento no rio St. Lawrence. Reduções de fluxo são frequentemente necessárias para garantir a formação de cobertura de gelo segura e estável. O rio St. Lawrence tem um comitê que supervisiona e regula o fluxo de saída da barragem Moses-Saunders de acordo com a legislação.

Os níveis d'água do Lago St. Lawrence dependem de vários fatores, como os níveis correspondentes do Lago Ontário, efeitos do vento, gelo e vegetação aquática, operações de “pico” de energia da hidrelétrica Moses-Saunders, eclusas e a saída do rio.

A Barragem Iroquois a montante é administrada pela OPG principalmente para limitar altos níveis de água no Lago St. Lawrence, bem como para o gerenciamento do gelo.

A represa Long Sault foi concluída no final da década de 1950. Trata-se de um vertedouro em arco e é segunda barragem pela qual o fluxo pode sair do Lago St. Lawrence. Ela é administrada pela NYPA.



Fig. 3.126 – Barragem Long Sault. NYPA,

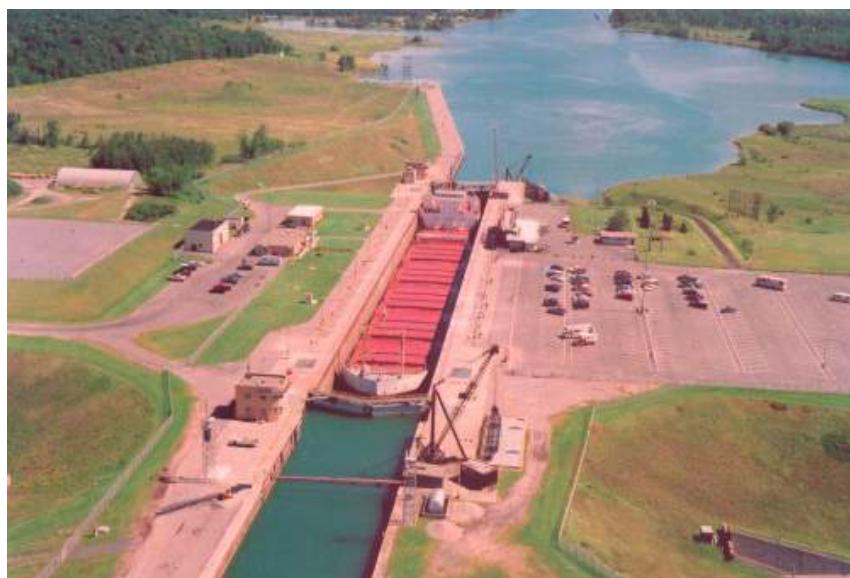


Fig. 3.127 – Eclusa Eisenhower. Hidrovia St. Lawrence.



Fig. 3.128 – Eclusa Snell. Hidrovia St. Lawrence.

33. UHE Robert Moses Niagara e UHE Sir Adam Beck I e II

A UHE Robert Moses Niagara, 2.525 MW, foi implantada no rio Niagara entre 1957 e 1961 no município de Lewinston. Os mapas de localização são apresentados a seguir. É uma usina reversível com 13 unidades.

A UHE Sir Adam Beck I, com 10 unidades, foi concluída em 1922, e a Sir Adam Beck II, com 16 unidades, em 1954. A potência total instalada é de 1.962 MW.

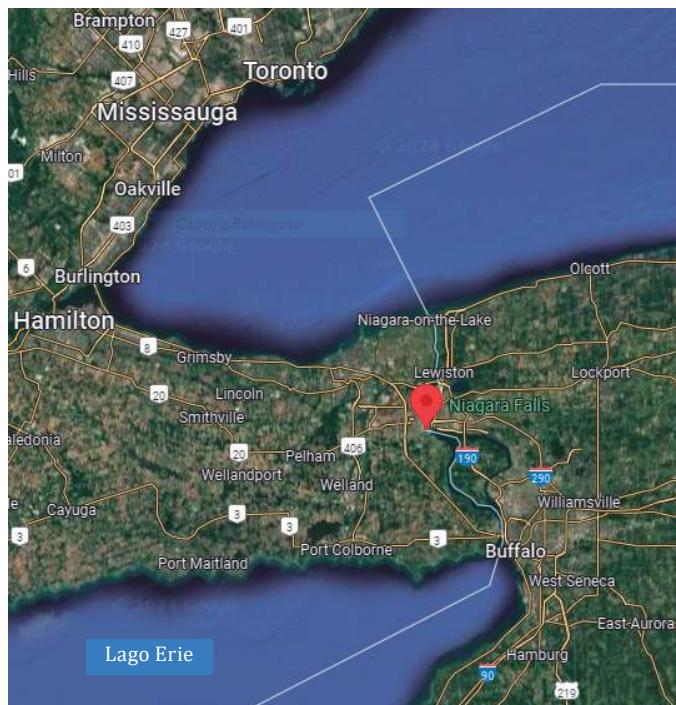


Fig. 3.129 – UHE Robert Moses Niagara.
Mapa de Localização Regional.

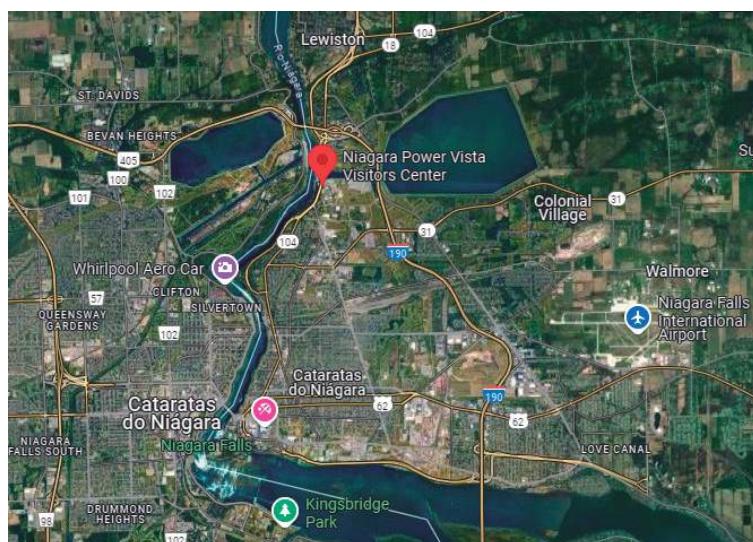


Fig. 3.130 – UHE Robert Moses Niagara. Mapa Local.

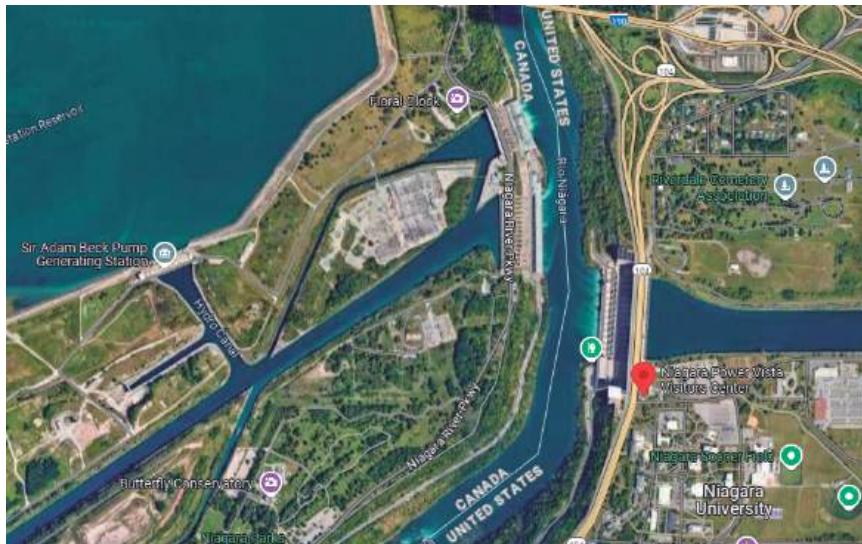


Fig. 3.131 – À direita UHE Robert Moses Niagara (NYPA).
À esquerda a UHE Sir Adam Beck (OPG) – 1.962 MW (26 unidades).



Fig. 3.132 – UHEs Robert Moses Niagara (NYPA) e Sir Adam Beck (OPG).
Vista de detalhe.

As usinas desviam água dos rios Niagara e Welland acima das cataratas para produzir 1.962 MW de potência. A água é desviada por dois túneis de 8 km sob a cidade de Niagara, que fica acima da queda. Foi criado um reservatório superior para armazenar a água bombeada durante a noite para geração ao longo do dia.

Entre 2007 e 2013 a UHE Adam Beck II foi modernizada para otimizar a geração de energia. Um novo túnel de 12,7 m de diâmetro e 10,2 km de comprimento foi colocado em operação em março de 2013, o que possibilitou um aumento de 150 MW na potência instalada, beneficiando mais 160.000 novas residências.

O acordo internacional da barragem, operado pela OPG - Ontario Power Generation, controla os desvios de água do rio Niagara para a NYPA e a OPG de acordo com os termos do

Tratado de Niagara de 1950. Esse tratado, concebido para assegurar o fluxo de água na queda, estabelece que durante o dia precisa fluir $2.832 \text{ m}^3/\text{s}$ e a noite $1.416 \text{ m}^3/\text{s}$. Esse tratado é monitorado pelo Board Internacional de Controle de Niagara.

34. UHE Mica

A UHE Mica, 2.604 MW (6 unidades), foi implantada no rio Columbia entre 1967 e 1973, 136 km a montante da UHE Revelstoke, na Colúmbia Britânica, Canadá. A usina é operada pela BC Hydro.

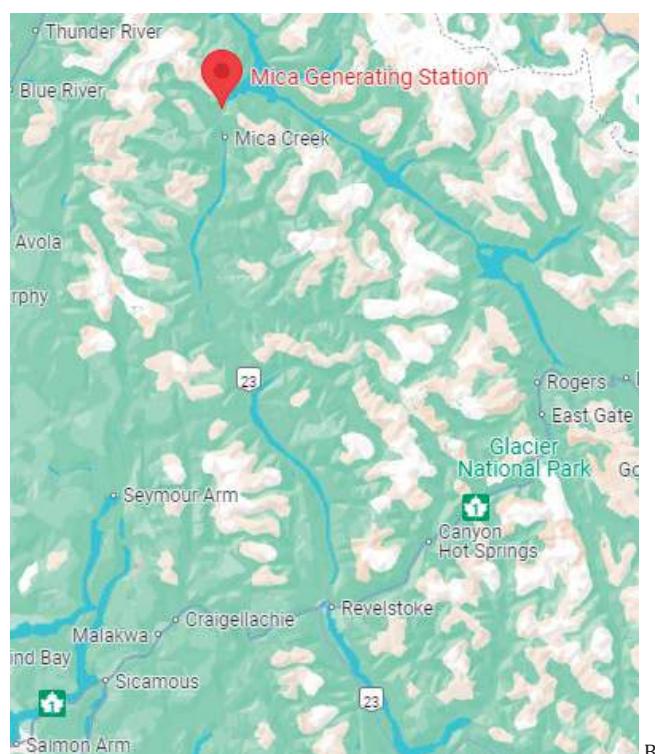
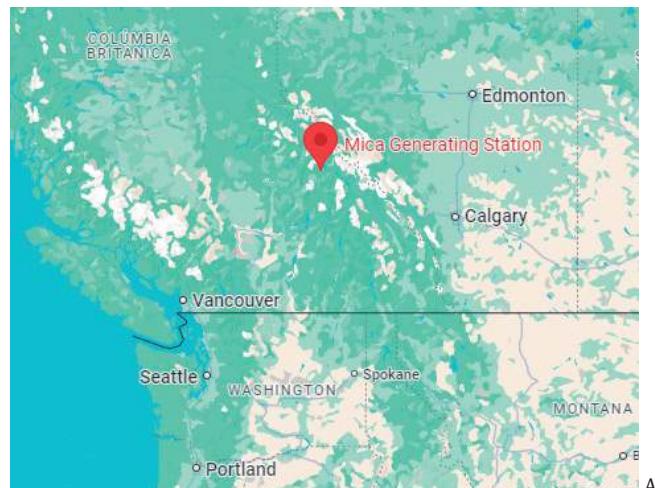


Fig. 3.133 – UHE Mica. Mapas de localização.

A usina, subterrânea, é operada pela BC Hydro. Registra-se que seu nome está associado a presença do mineral “mica” em excesso na região. O NA máximo está na El. 754,40 m; o NA mínimo na El. 707,10 m. O reservatório, Lago Kinbasket, tem 430 km² de superfície e volume útil de 24.762 km³. A carga de projeto é de 183 m e a vazão turbinada por máquina é de 270 m³/s.

A barragem, na El. 762,00 m, tem 244 m de altura e comprimento de 792,5 m. A escavação a partir do leito do rio até a rocha sã atingiu 47,2 m de profundidade.

O vertedouro em rápido na ombreira esquerda, com três vãos, tem capacidade de 2.250 m³/s; os descarregadores de fundo têm capacidade adicional de 1.060 m³/s.

O desvio do rio foi feito por dois túneis de 13,7 m de diâmetro na margem esquerda do rio (ver figuras a seguir).

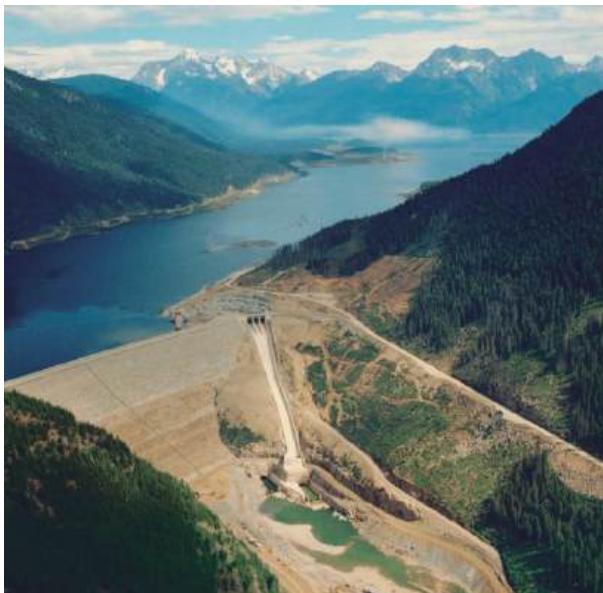


Fig. 3.134 – UHE Mica.

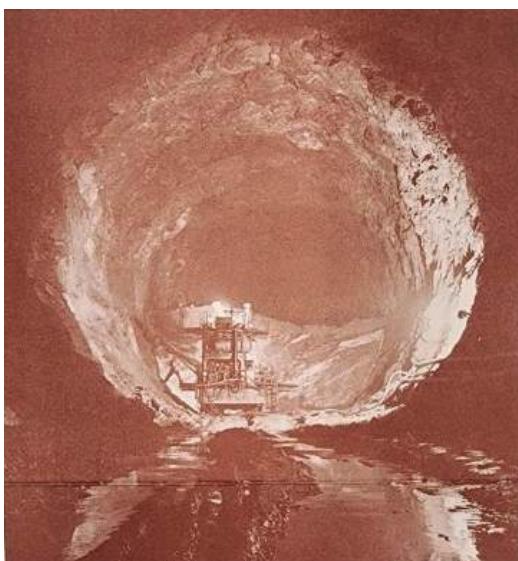


Fig. 3.135 – UHE Mica.
Túnel de desvio.
Fonte: Columbia Newsletter,
junho 1966

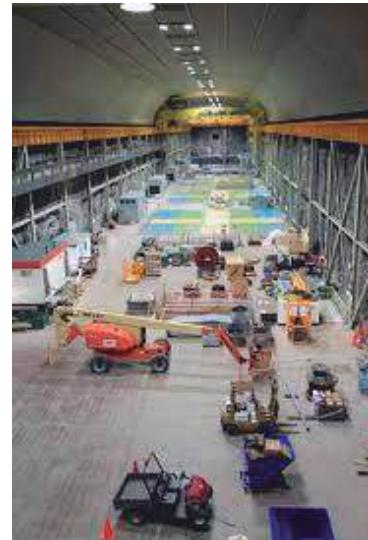


This section of Columbia River at site of Mica Dam, 85 miles north of Revelstoke, will be excavated to depth of 155 feet this year to provide solid rock base for 800-foot-high dam. River has been rerouted through two diversion tunnels.

Fig. 3.136 – UHE Mica.
Canteiro do obras.



Fig. 3.137 – UHE Mica.
Vistas do interio da casa de força subterrânea.



B

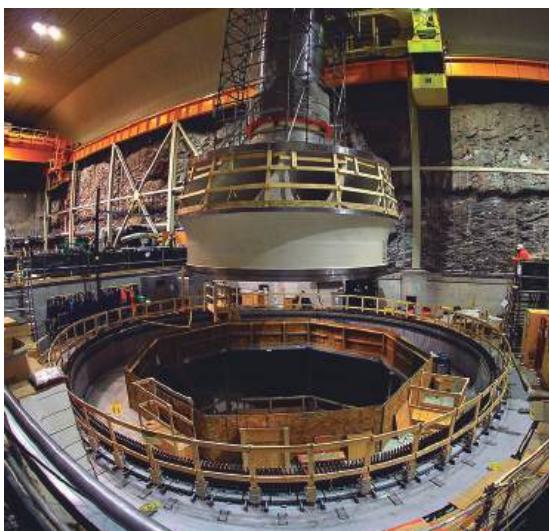


Fig. 3.138 – UHE Mica.
Descida do rotor.



Fig. 3.139 – UHE Mica. Vista interna da casa de força.

35. UHE Revelstoke

A UHE Revelstoke, 2.480 MW, foi implantada no rio Columbia entre 1978 e 1984. O sítio situa-se 5 km ao norte da localidade de Revelstoke, na Columbia Britânica, Canadá. A usina é operada pela BC Hydro.

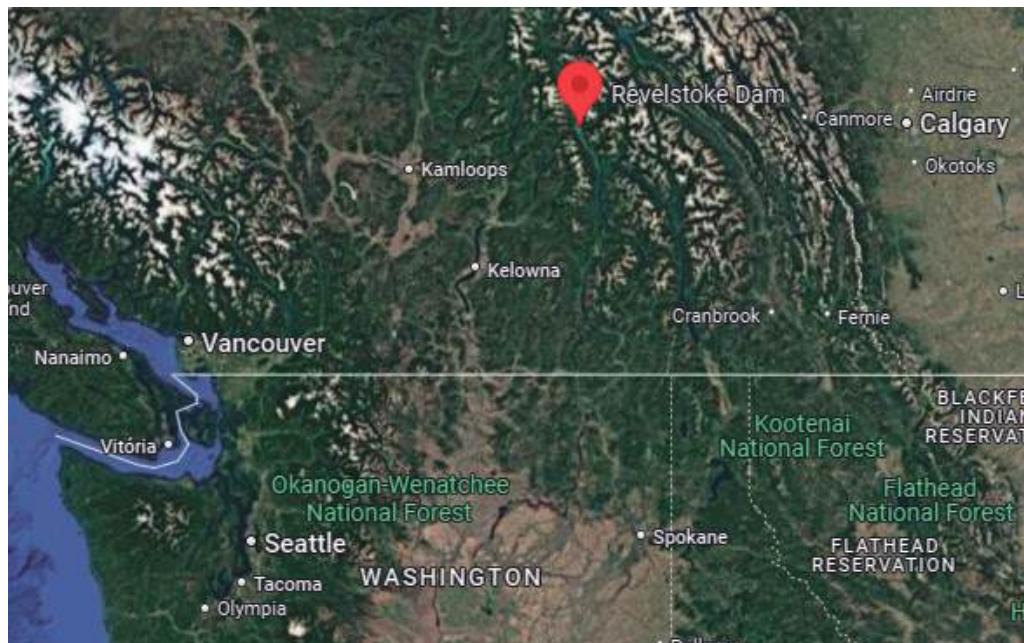


Fig. 3.140 – Mapa de Localização Regional.

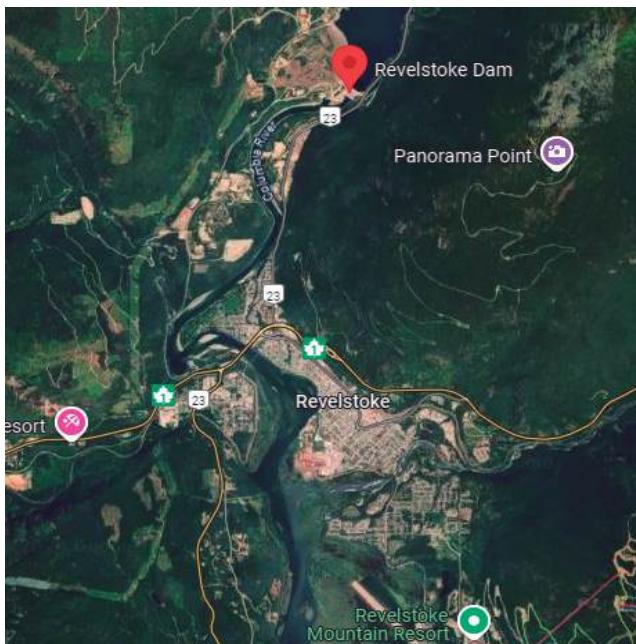


Fig. 3.141 – Mapa do Local.

O arranjo geral das obras da usina está apresentado nas figuras a seguir. Na margem direita tem-se uma barragem de terra, com 1.128 m de comprimento, a qual já no leito do rio abraça o muro de transição para as estruturas de concreto. Segue o vertedouro e a estrutura da tomada d'água casa de força no leito do rio até a ombreira esquerda. As estruturas e concreto tem extensão de 470 m. A altura máxima da barragem é de 175 m. O vertedouro com 3 vãos tem capacidade de vazão de $7.080 \text{ m}^3/\text{s}$. O reservatório tem superfície de 115 km^2 e volume de 5.180 km^3 .

A usina tinha inicialmente quatro unidades e 1980 MW. Em 2011 foi acrescentada a quinta unidade de 500 MW e a potência instalada atingiu 2.480 MW.

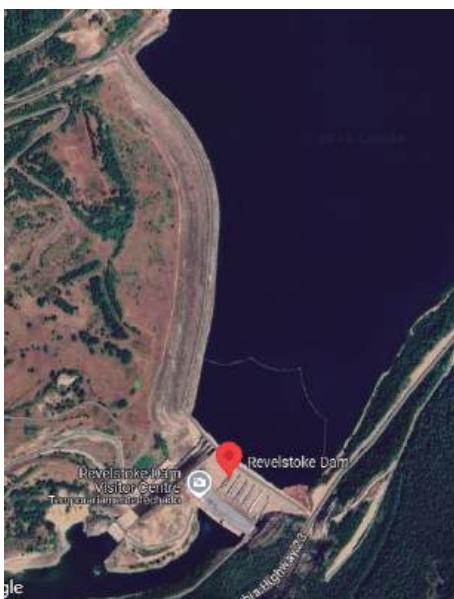


Fig. 3.142 – UHE Revelstoke.
Imagen aérea.



**Fig. 3.143 – UHE
Revelstoke. Vista aérea
de jusante.**



**Fig. 3.144 –UHE
Revelstoke. Vista de
jusante - vertedouro
operando.**

36. UHE Keenleyside

A UHE Keenleyside, 185 MW (2 unidades), foi implantada no rio Columbia 12 km a montante da cidade de Castlegar, British Columbia, Canadá. Foi comissionada em 1968. Situa-se a jusante da UHE Revelstoke e é operada também pela BC Hydro. O aproveitamento dispõe de ecluse para navegação.

A barragem é formalmente conhecida com Arrow Alta. É de terra, tem altura de 52 m e 853,4 m de comprimento. Criou os Lagos Lakes, hoje unidos formando um longo reservatório com 232 km de comprimento e volume de 8,76 km³.

O vertedouro de superfície com 4 vãos tem capacidade para descarregar 6.400 m³/s. O aproveitamento tem também 4 vãos de descarga de fundo para 3.740 m³/s.

As duas unidades da usina têm vazão turbinada máxima de 1.200 m³/s.



Fig. 3.145 – UHE Keenleyside.
Vista geral de jusante.



Fig. 3.146 – UHE Keenleyside.
Vista de jusante da eclusa,
vertedouro e da casa de força.

