

SEGURANÇA DE

**BARRAGENS:** A

EXPERIÊNCIA DA ITAIPU

**BINACIONAL** 







Organizadores: Gyan Flavio Angelo Martins, Kamila Raquel Duarte, Débora de

Oliveira Fernandes, Silvia Frazão Matos.

Diagramação: Maria Cláudia Kall Ferreira

**Agradecimento:** A Fundação Parque Tecnológico Itaipu e a equipe da ENCC.DT - Itaipu Binacional, pela contribuição técnica e pedagógica na construção dessa cartilha.

.

#### Prezado (a) Professor (a):

A Itaipu Binacional por meio da Divisão de Educação Ambiental em parceria com o setor de Ciência e Educação do Parque Tecnológico Itaipu, desenvolveu um kit com quatro Guias Pedagógicos, para que sejam utilizados como material de apoio e base para a visita institucional às instalações da Usina e suas Estruturas Educadoras - Ecomuseu e Refúgio Biológico Bela Vista.

O kit é composto pelas seguintes cartilhas:

- Educação para a Sustentabilidade: as experiências pedagógicas dos professores do Oeste do Paraná;
  - Conhecendo o Território por meio do Ecomuseu de Itaipu;
  - Segurança de Barragens: a experiência da Itaipu Binacional;
  - Educação para a Conservação da Biodiversidade no Refugio Biológico Bela Vista.

O conteúdo da cartilha "Educação para a Sustentabilidade: as experiências pedagógicas dos professores do Oeste do Paraná" apresenta práticas desenvolvidas por professores dos municípios da região Oeste do Paraná, os quais são resultados de um processo de formação pedagógica realizado em 2019, que buscou sensibilizar os profissionais da educação através de conceitos de Desenvolvimento Sustentável e Metodologias Ativas no território.

Na Cartilha "Conhecendo o Território por meio do Ecomuseu de Itaipu" você, professor(a), terá a oportunidade de realizar um percurso completo no Ecomuseu, refletindo as possibilidades de utilização dos seus espaços, acervos e patrimônios, para a potencialização de processos educativos e de integração escola-Ecomuseu.

O material de "Segurança de Barragens: a experiência da Itaipu Binacional" trás informações sobre a Usina Hidrelétrica, seu histórico, formação, segurança e monitoramento da barragem, além de dados sobre a geração de energia.

Em "Educação para a Conservação da Biodiversidade no Refúgio Biológico Bela Vista" será possível conhecer toda a estrutura física e pedagógica que o Refúgio Biológico oferece, que vão além de suas trilhas.

Todas as cartilhas trazem sugestões de conteúdos pedagógicos, das mais diversas disciplinas, para que você, professor(a), possa estudar com seus alunos, antes, durante e até mesmo depois de sua visita à Itaipu, ao Ecomuseu ou ao Refúgio Biológico Bela Vista.

Para informações sobre o agendamento das visitas institucionais, acesse: www.itaipu.gov.br/turismo/visita-tecnica-institucional.

Boa leitura!





188 Itaipu Binacional. Divisão de Educação Ambiental.

Segurança de barragens: a experiência da Itaipu Binacional / Organizadores Gyan Flavio Angelo Martins / et al / Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2020.

37 p.:il.:fotos

Kit composto por quatro cartilhas: Educação para sustentabilidade: Experiências pedagógicas dos professores do oeste do Paraná; Conhecendo o território por meio do Ecomuseu de Itaipu; Segurança das barragens: a experiência da Itaipu Binacional; Educação para a conservação da biodiversidade no Refúgio Biológico Bela Vista.

Vários organizadores Inclui bibliografia

- 1. Usinas Hidrelétricas Brasil. 2. Energia elétrica Produção.
- 3. Barragens. I. Martins, Gyan Flavio Angelo. II. Título.

ISBN: 978-65-86608-01-4

CDD 621.312134 627.8

Bibliotecária - Hebe Negrão de Jimenez - CRB 101/9

## **SUMÁRIO**

INTRODUÇÃO	7
ITAIPU E A GEOLOGIA DO PARANÁ - TEMPO GEOLÓGICO	10
VOCÊ SABE COMO A BARRAGEM DE ITAIPU É FORMADA?	13
VOCÊ SABE COMO A ITAIPU CUIDA DAS BARRAGENS?	19
VOCÊ SABE COMO A ENERGIA ELÉTRICA É PRODUZIDA?	23
VOCÊ SABE O CAMINHO QUE A ENERGIA FAZ ATÉ A SUA CASA?	28
REFERÊNCIAS	36

### **INTRODUÇÃO**

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é um empreendimento binacional, resultado de um acordo entre o Brasil e o Paraguai, que ganhou impulso na década de 60.



Figura 1: Cronograma das negociações entre Brasil e Paraguai, os anos de 1966 e 1973.

Em 1966, Brasil e Paraguai assinam a Ata do Iguaçu. Uma manifestação de interesse para estudar o aproveitamento dos recursos hídricos do trecho do Rio Paraná, abrangendo desde o Salto de Sete Quedas até a foz do rio Iguaçu.



Figura 2: Ata do Iguaçu (página das assinaturas). Fonte: Itaipu Binacional (2009).

Em fevereiro de 1967, foi criada a Comissão Mista Técnica Brasileiro-Paraguaia e em abril de 1970, a Comissão assinou um acordo de cooperação com Administración Nacional de Electricidad (Ande) do Paraguai e as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras) do Brasil. Por

### Você sabia?

O nome Itaipu vem de uma pequena ilha que existia no Rio Paraná. Essa ilha que ficava quase sempre submersa era chamada de Itaipu, que em tupi significa "pedra que canta".

meio desse acordo Ande e Eletrobras, ficaram responsáveis, entre outras atividades, pelos estudos e investigações sobre o aproveitamento hidrelétrico dos recursos hídricos do Rio Paraná.



Figura 3: Reunião da Comissão Mista Técnica em 1967. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

Em 1972 foi apresentado o estudo preliminar de viabilidade, que indicava que a construção de uma usina próximo à Ilha de Itaipu, denominado na época como Itaipu Alto, era o mais viável.

Como resultado das negociações entre Brasil e Paraguai, em abril de 1973, foi assinado o tratado de Itaipu. Esse tratado, com 26 artigos e 3 anexos criou uma entidade binacional, denominada como Itaipu Binacional, com sede nos dois países e com função de construir, gerenciar e operar a usina hidrelétrica a ser construída.

### Você sabia?

Paralelamente às pesquisas técnica e econômica, também foram realizados estudos que incluíram a avaliação geral dos múltiplos usos da água, tais como navegação, fornecimento municipal e industrial de água, irrigação e outros benefícios para a região advindos da possível construção de represa de Itaipu.



Figura 4: Assinatura do Tratado de Itaipu. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

Um consórcio de empresas brasileiras e paraguaia, foi encarregado do planejamento e da assistência na gerência da obra.

Em janeiro de 1975, foi iniciada a construção da barragem com a instalação da infraestrutura da obra. Em maio do mesmo ano, foram iniciadas as obras civis.

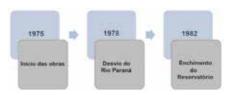


Figura 5: Cronograma do início das obras de construção da barragem de Itaipu.



Figura 6: Instalações iniciais e vias de acesso a área da obra. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

A primeira etapa da construção foi a escavação do canal de desvio. A obra para desvio do Rio Paraná iniciou em janeiro de 1976 e finalizou em outubro do mesmo ano.



Figura 7: Vista aérea do início da obra de escavação desvio do Rio Paraná.

Fonte: Itaipu Binacional (2009).

Em outubro de 1982 as comportas de desvio foram completamente fechadas e o reservatório começou a ser formado. O enchimento foi realizado gradativamente (diferentes cotas).

Em maio de 1984, entrou em operação a primeira unidade geradora. Em abril de 1991, foi colocada em serviço a décima oitava máquina, alcançando a capacidade de 12.600 MW. As duas últimas unidades entraram em operação entre o final de 2006 e o começo de 2007, totalizando vinte máquinas e uma potência instalada de 14.000 MW.

### Você sabia?

O canal de desvio de Itaipu, foi uma das maiores escavações já realizadas em rochas basálticas:

- volume escavado:
   20.000.000 m³;
- extensão: 2.000 m; - altura média total: 80 m.

### **Quer saber mais?**

Continue lendo os demais capítulos da nossa cartilha. No próximo Capítulo você poderá conhecer mais da geologia da região e como foram realizados os estudos de viabilidade que levaram a construção de Itaipu Binacional.



# ITAIPU E A GEOLOGIA DO PARANÁ - TEMPO GEOLÓGICO

O planeta Terra tem aproximadamente 4,6 bilhões de anos. Para representar esse espaço temporal, que não cabe nos calendários normais, utilizamos a escala de Tempo Geológico, que você pode visualizar na Tabela Cronoestratigráfica em https://bit.ly/tabela-crono.

Diferente dos marcos utilizados no tempo histórico ou do cotidiano, no tempo geológico as divisões estão associadas ao desenvolvimento da vida, processos, fenômenos e eventos que ocorreram no planeta.

Algumas denominações presentes na tabela cronoestratigráfica tiveram como origem estudos de geólogos que ordenaram grupos de rochas na Europa, utilizando a datação relativa e o princípio da sucessão biótica.

Origem	Nome	
	Cambriano de Cambria, nomenclatura romana para região do Pais de Gales	
Geográfica	Devoniano de Devonshire, na Inglaterra	
	Jurássico dos Montes Jura, na Europa	
	Permiano de Perm, cidade na Rússia	
Cultural	Ordoviciano de <i>Ordovices</i> , tribo que habitava o País de Gales	
	Siluriano de Silures, tribo que habitava o país de Gales	
Geológica	Carbonífero, referência ao rico conteúdo em carvão	
	Triássico da subdivisão em três sucessões litológicamente bem distintas	
	Cretáceo relativo a gtz/argila, referência à grande quantidade de calcário fino	
Histórica	Quaternário termo herdado, porém, conceitualmente alterado dos primeiros esquemas da subdivisão geológica	

### Você sabia?

Com o princípio da sucessão biótica, foi possível estabelecer uma sequência cronológica das camadas a partir de seu conteúdo fossilífero.

Para entender as divisões presentes no tempo geológico pense assim:

- os **Períodos** podem ser **"divididos"** em **Épocas** que podem ser "divididas" em **Idades**.
- os **Períodos** podem ser "agrupados" em **Eras**, que podem ser **"agrupadas"** em **Eons**.



#### Geologia do Paraná

Na região Leste do Estado do Paraná, na baixada litorânea, Serra do Mar e Primeiro Planalto, são encontradas rochas magmáticas e metamórficas mais antigas do Estado. O Segundo Planalto é formado por uma faixa de sedimentos paleozóicos pertencentes a Bacia Sedimentar do Paraná. Ele é limitado a leste pelas rochas pré-devonianas do Escudo e a oeste, recoberto pelos derrames basálticos do Serra Geral. O Terceiro Planalto é formado por rochas vulcânicas mesozóicas do Grupo Serra Geral, recobertas por sedimentos cretáceos no noroeste do Estado. Sedimentos recentes ocorrem em todas as regiões, principalmente nos vales dos rios, além de outros tipos de depósitos inconsolidados.

A formação da Bacia Sedimentar do Paraná foi iniciada a aproximadamente 400 milhões de anos, no Devoniano.



Figura 8: Geologia do Paraná. Fonte: MINEROPAR (2001).

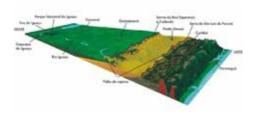


Figura 9: Bloco Diagrama do perfil do rio Iguaçu com os compartimentos geológico/geomorfológicos do Paraná. Fonte: MINEROPAR (2001).

## E como a geologia está correlacionada com a barragem de Itaipu?

As condições geológicas da região foram responsáveis pelo alto potencial energético do trecho binacional do Rio Paraná. Os estudos de viabilidade técnico-econômica, que visaram o aproveitamento do potencial energético desses 190 km do rio, foram realizados em 4 fases, durante os anos de 1971-1974.

#### Fases dos Estudos de viabilidade

Fase 1: Classificação e análise das informações existentes e aquisição de dados adicionais relacionados a meteorologia, pluviometria, fluviometria, sedimentação, topografia, condições geológicas e geotécnicas e a disponibilidade de materiais de construção e seus meios de transporte. Foram estudadas 50 diferentes possibilidades de projetos e duas foram consideradas economicamente superiores a todas as demais.

Fase 2: Em continuidade à investigação da fase 1, foram realizados estudos detalhados nos locais selecionadas. Os resultados dos estudos hidrológicos, geológicos e econômicos obtidos na fase 2 foram decisivos na comparação e escolha da melhor alternativa.







Fase 3: Entrega do Relatório sobre o estudo preliminar de viabilidade à Comissão Mista Técnica no início de 1972. Aceite da recomendação para escolha do projeto de Itaipu Alto (que passou ser denominado Itaipu) para obieto de estudos de viabilidade adicionais e de confirmação na fase 4.

Fase 4: A fase

final dos estudos serviu como confirmação da viabilidade econômica e técnica do projeto Itaipu. A minuta do relatório final de viabilidade foi apresentada à Comissão Mista Técnica no início de 1973, quando se tomou a decisão de prosseguir com o projeto proposto, resultando na assinatura do Tratado de Itaipu em 26 de abril de 1973.

## Algumas pesquisas geológicas e geotécnicas realizadas

Para conhecer as rochas sobre a qual a barragem seria construída, a disponibilidade de materiais de construção e, a logística da obra, foi realizado um grande número e tipos de investigações geológicas-geotécnicas:

- Interpretação de fotos aéreas;
- Inspeções de campo e mapeamento geológico;
- Sondagens rotativa (retirada de testemunhos);
- Amostragem integral;
- Sondagens a precursão com SPT;
- Escavações de túneis, poços exploratórios e trincheiras.



Figura 10: Investigações geológicas-geotécnicas, poço exploratório.

Fonte: Itaipu Binacional (1998).

### Você sabia?

Alguns números das investigações foram:

Tipo de investigação	Quantidade (unidade)	Compelments total (m)
Sondagem rotativa	317	30,160
Poços	22	394
Titneis	- 22	1,605
Trinchriras	31	662

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

#### As rochas de Itaipu

A barragem e o reservatório de Itaipu estão assentados sobre rochas vulcânicas, pertencentes aos extensos derrames basálticos da formação Serra Geral, da Bacia do Paraná. Esses derrames são relativamente uniformes, variando desde basalto cinza-escuro, de granulação fina a grosseira na porção central, às zonas de transição vesículo-amigdaloidal e brechosa perto do limite superior. Durante o período entre dois derrames de lava, a

superfície irregular era submetida ao intemperismo com erosão e depósito de areia, ou silte, pela ação do vento e da água. O derrame subsequente, então moldava e soldava este material, formando assim as camadas de brecha.

Os derrames basálticos diretamente relacionados ao projeto de construção de Itaipu foram denominados em ordem ascendente, de A, B, C, D e E. As espessuras variam de 30 a 70 metros.

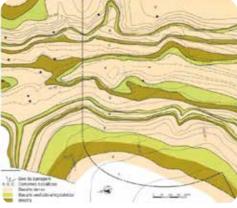


Figura 11: Mapa geológico local. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

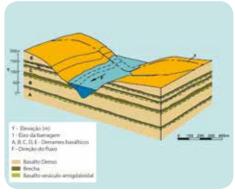


Figura 12: Modelo 3D simplificado local. Fonte: Itaipu (2009)

### VOCÊ SABE COMO A BARRAGEM DE ITAIPU É FORMADA?

#### Mas afinal, O que é uma barragem?

Uma barragem é uma estrutura construída, de forma permanente ou temporária, em um curso de água, para fins de contenção ou acumulação de água, de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. As barragens podem ter de diversos tipos e tamanhos, desde pequenas represas para uso local, até estruturas de grande porte com inúmeras finalidades.

#### Importância das barragens

As barragens são estruturas importantes para: abastecimento de água para uso humano e industrial, irrigação, produção de energia hidrelétrica, regularização de vazões, atenuando os efeitos de secas e cheias, disposição de rejeitos de mineração, acumulação de resíduos industriais, navegação, aquicultura, recreação, entre outros.

#### A barragem de Itaipu

A barragem de Itaipu é utilizada para produção de energia elétrica, captação de água para uso humano, irrigação, dentre outros. Sendo formada por diferentes tipos de barramentos: barragem de terra da margem direita, vertedouro, barragem lateral direita (tipo contraforte), barragems de ligação (tipo contraforte), barragem principal (tipo gravidade aliviada), estrutura de desvio (tipo gravidade maciça), barragem de enrocamento (tipo zoneada) e barragem de terra da margem esquerda. Essas estruturas somam aproximadamente 7,8 km de extensão.

Os tipos de barragens presentes em Itaipu serão tratados na sequência.

### Você sabia?

Como as extremidades da barragem de Itaipu conectam ambos os países, Brasil e Paraguai, então, por questão de orientação, é comumente utilizado a expressão margem direita e margem esquerda. A margem direita corresponde ao lado paraguaio, e a margem esquerda ao lado brasileiro.



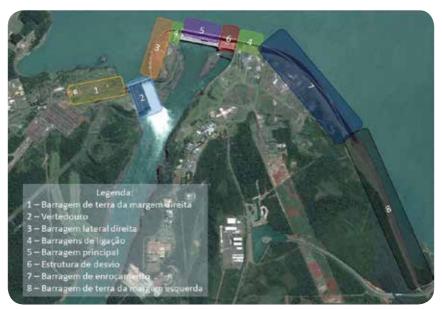


Figura 13: Arranjo geral da obra. Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

### Alguns quantitativos da obra de Itaipu:

Argila compacta (m3)	6.482x10 <sup>3</sup>
Enrocamento (m <sup>3</sup> )	15.000x10 <sup>3</sup>
Concreto estrutural com refrigeração (m3)	12.750x10 <sup>3</sup>
Concreto compacto a rolo (m3)	25x10 <sup>3</sup>
Cimento (kg)	2.516x10 <sup>6</sup>
Aço (kg)	481.074x10 <sup>3</sup>

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

## Quais áreas do conhecimento foram necessárias para realizar tal obra?

É bastante comum das pessoas associarem a construção de uma hidrelétrica a três áreas específicas do conhecimento: Engenharia Civil, Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica. Entretanto, vai além disso. Por exemplo, logo no início, para se escolher o local para a construção de uma Usina Hidrelétrica, é necessário investigar questões como: conhecimento das condições

hidrográficas e hidrológicas, pertinentes a Hidrologia; investigar as condições geológicas do local no qual será inserida a barragem, para conhecer o comportamento das rochas e do solo da área, atividades da Geologia, e algumas na interface entre Geologia e Engenharia Civil, como é o caso da Geotecnia. Outras áreas, também muito importantes foram: Engenharia Ambiental, Administração, Economia e técnicos das mais distintas áreas.

#### Laboratório de concreto

Oficialmente chamado de Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu Binacional, o centro foi concebido para oferecer apoio técnico nas fases de construção e reformas da hidrelétrica.

Mesmo após a conclusão de Itaipu, o laboratório foi mantido ativo para dar suporte à estrutura.

## É verdade que existe uma Itaipu miniatura?

Modelos reduzidos são ferramentas usadas em diversos ramos das engenharias. No caso de Itaipu não foi diferente. Um modelo hidráulico foi desenvolvido em pequena escala para representar o projeto.



Figura 14: Modelo reduzido de Itaipu. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

Concluída à obra o modelo reduzido foi desativado. Após décadas, foi restaurado e atualmente está disponível como um dos atrativos oferecidos por Itaipu para turistas que fazem a visita pelo lado paraguaio.

#### Como a Itaipu foi construída

Para que fosse possível a construção da barragem foi escavado um canal de desvio para o Rio Paraná.

O material coletado com as escavações foi aproveitado na construção de diversas estruturas. Foram disponibilizadas duas áreas destinadas à produção de concreto, uma na margem direita (Paraguai) e a outra na margem esquerda (Brasil).

### Você sabia?

No Ecomuseu de Itaipu há uma maquete que apresenta toda a área das obras de Itaipu. Que tal conhecer a **Cartilha do Ecomuseu** e descobrir essa e outras curiosidades?



Figura 15: Produção de concreto da margem esquerda. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

## E como foi construída a estrutura de desvio?

Foi adotada uma vazão máxima de 35000 m³/s para o projeto das instalações de desvio do Rio Paraná

Uma vez estabelecida a máxima vazão, o arranjo geral das obras de desvio foi determinado. Os principais componentes das obras de desvio de Itaipu, estão descritos abaixo:

- Canal de desvio:
- Estrutura de controle do desvio:
- Ensecadeiras auxiliares em arco, no canal de desvio;
  - Ensecadeiras principais, no rio.



Figura 16: Arranjo geral da estrutura de desvio. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

Para que fosse possível realizar as obras de ltaipu no local do leito do Rio Paraná durante o período 1978 à 1982, o canal de desvio consistiu nos seguintes passos:

- Escavação do canal de desvio;
- Construção da primeira etapa da estrutura de controle de desvio;
- Escavação debaixo d'água na entrada e saída do canal de desvio:
- Construção da primeira etapa dos diques A, B e D das ensecadeiras principais de montante e de jusante;
- Construção das ensecadeiras em arco a montante e a jusante do canal de desvio;
- Demolição dos septos de rocha natural ou dos fechamentos na entrada e saída do canal de desvio;
- Demolição das ensecadeiras em arco e desvio do rio através do canal de desvio;
  - Fechamento dos diques B e D;
  - Fechamento dos diques A e C;
- Dragagem dos depósitos de areia entre os diques A e B e entre C e D;
- Lançamento de argila para os núcleos das ensecadeiras principais através do método "deslocamento por compressão" em águas quase paradas;
  - Conclusão das duas ensecadeiras principais

em suas alturas completas;

 Esgotamento da área de trabalho entre as ensecadeiras principais.

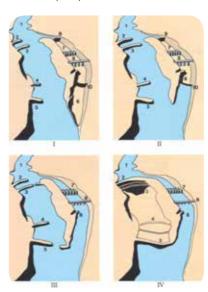


Figura 17: Esquema de desvio. Fonte: Itaipu Binacional (2009).

#### Barragem de enrocamento

A barragem de enrocamento de Itaipu é constituída por blocos de rocha de tamanho variável, com núcleo central de argila compactada. Este núcleo é protegido primeiro por uma transição fina e depois uma grossa de rocha. O sistema de drenagem é composto por um filtro vertical de areia compactada.

Tipo	Zoneada
Cota da crista	225 m
Comprimento	1.984 m
Altura máxima	70 m
Volume de escavações para as fundações	5.100.000 m <sup>3</sup>
Volume total de aterros	12.800,000 m <sup>3</sup>

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

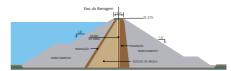


Figura 18: Esquema da barragem de enrocamento. Fonte: Itaipu (2017 b).

#### Barragem de terra

As barragens de terra da margem esquerda e direita foram construídas com argila proveniente da escavação da fundação e de áreas de empréstimo próximas. Em ambas as margens (esquerda e direita) havia uma capa extensa de solo, geralmente de argilas homogêneas, cuja profundidade aumentava com a distância do rio. Estudos realizados para verificar as características físicas deste solo, que se estendia ao longo da região, demonstrou condições favoráveis para a escolha da barragem de terra.

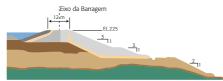


Figura 19: Barragem de Terra da Margem Direita. Fonte: Modificado de Itaipu (2017 b).

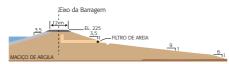


Figura 20: Barragem de Terra da Margem Esquerda. Fonte: Modificado de Itaipu (2017 b).

Quantitativos da barragem de terra					
	Barragem da margem direita Barragem da margem esquerda				
Tipo	Zoneada	Zoneada			
Cota da crista	225 m	225 m			
Comprimento	872 m	2.294 m			
Altura máxima	25 m	30 m			
Volume total	400.000 m <sup>3</sup>	4.400.000 m <sup>3</sup>			

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

#### Vertedouro

Vertedouro é uma estrutura hidráulica que pode ser utilizada para diferentes finalidades, como medição e controle de vazão.

O vertedouro de Itaipu, situado ao lado da barragem de terra da margem direita, tem a função de descarregar o volume excedente de água armazenado.

### Você sabia?

Barragem zoneada é chamada a barragem que apresenta um núcleo central impermeável, envolvido por materiais consideravelmente mais permeáveis, tais como areia, cascalho, fragmentos de rocha ou uma mistura desses materiais.

### Você sabia?

Para determinar o projeto do vertedouro de Itaipu e suas condições operacionais, uma série de estudos e ensaios foram realizados, em dois modelos: em escala reduzida. O primeiro modelo incluía todos os itens e estruturas necessários para verificação do desempenho hidráulico geral; o segundo, sendo este parcial, possuía a finalidade de reproduzir os três vãos completos da estrutura da crista do vertedouro.

#### Ouantitativos do vertedouro

62.200 m³/s
Segmento
14
20 x 21,34 m
3185 <u>kN</u>
15
199,16 m
43,7 m
362 m
483 m
0,8 x 106 m3

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

#### Barragem lateral direita

A barragem lateral direita é formada por blocos de contrafote. Os contrafortes são estruturas tipo "pilares" que recebem o esforço do empuxo à montante descarregando-o para as fundações.

Quantitativos barragem lateral direita		
Tipo	Contraforte	
Comprimento	1438 m	
Altura máxima	85 m	
Quantidade de blocos	53	
Volume	$1.600.000 \ m^3$	

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

#### **Barragem principal**

Na concepção de projeto havia, entretanto, duas sugestões para a construção da barragem principal: gravidade maciça e de gravidade aliviada. Os estudos comparativos entre as alternativas demonstraram que a barragem de gravidade aliviada apresentava uma redução considerável de concreto na ordem de 30%, com custo aproximado a 12%, o que justificou a sua escolha. Uma barragem de gravidade aliviada é uma estrutura de concreto a qual possui espacos vazios em seu núcleo com vistas à redução de concreto empregado, constituídas por vários blocos separados entre si por juntas de contração. Possuem forma quase trapezoidal e é projetada de tal modo que resista aos esforços decorrentes das pressões atuantes no lado de montante.

Na barragem principal, dos 18 blocos de gravidade aliviada, 16 têm uma tomada d'água localizada na parte superior em um conduto forçado. Estas estruturas possuem comportas que permitem que a água, passando por elas e pelos condutos forçados, alcance a caixa espiral, onde faz a turbina girar.

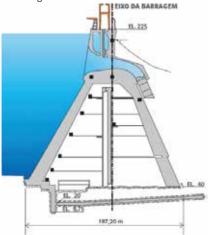


Figura 21: Barragem principal. Fonte: Site Itaipu (2020).

Quantitativos da barragem principal		
Tipo	Gravidade Aliviada	
Comprimento	612 m	
Altura máxima	196 m	
Quantidade de blocos	18	
Volume de concreto	4.400.000 m <sup>3</sup>	

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

#### Estrutura de desvio

A estrutura de controle de desvio é uma barragem de concreto do tipo gravidade maciça situada após a barragem principal. Essa estrutura foi construída no local em que foi escavado o canal de desvio do rio Paraná, cuja função é desviar o rio.

O tipo de gravidade maciça foi aplicado a estrutura de desvio por causa da existência de comportas na parte interior e das tomadas de água na parte superior. Nesta barragem, os quatro blocos com tomadas d'água na sua parte superior têm 24,6 m de largura. Cada um desses blocos tem uma adufa de desvio localizada no meio.

Os cinco blocos intermediários têm 12,3 m de largura e suas juntas de contração transversais cortam oito adufas de desvio.

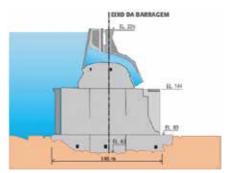


Figura 22: Estrutura de desvio. Fonte: Site Itaipu (2020).

Quantitativos da estrutura de desvio		
Tipo	Gravidade maciça	
Comprimento	170 m	
Altura máxima	162 m	
Quantidade de blocos	14	
Volume de concreto	2.200.000 m <sup>3</sup>	

Fonte: Itaipu Binacional (2009)

### VOCÊ SABE COMO A ITAIPU CUIDA DAS BARRAGENS?

A avaliação da segurança de uma barragem é realizada por meio de uma série de atividades, como por exemplo, inspeções de segurança, revisão periódica e na aplicação de procedimentos rotineiros estabelecidos no plano de operação, manutenção e instrumentação da barragem.

As inspeções de segurança servem para avaliar as condições físicas das partes integrantes da barragem, visando identificar e monitorar possíveis irregularidades que afetem sua seguranca.

Para garantir a segurança de uma barragem devem ser adotadas medidas de prevenção e controle das condições de segurança. Essas medidas propiciam baixa probabilidade de ocorrência de acidente. Adicionalmente, para ampliar a confiabilidade de segurança, as medidas de prevenção e controle devem ser complementadas com medidas de defesa civil para minimizar as consequências de uma possível ocorrência de acidente.

Com 0 objetivo de avaliar as barragens quanto à abrangência e frequência das acões de segurança, os órgãos fiscalizadores brasileiros criaram meios de agrupar as barragens em classes. As barragens são classificadas por Categoria de Risco (CRI) alto, médio ou baixo em função de características técnicas. estado de conservação e atendimento ao plano de seguranca da barragem. São também classificadas Dano Potencial Associado (DPA) médio ou baixo em função de potencial de perdas de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e

ambientais decorrentes da ruptura barragem, e classificadas em volume do reservatório.

## O que é a Política de Segurança de Barragens?

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) foi estabelecida pela Lei Federal Brasileira nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 com os objetivos de: garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências; criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança; reunir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos, e fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos, entre outros.

A Lei nº12.334/2010, é aplicável a barragens destinadas a acumulação de água para quaisquer usos, à disposição temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, que apresentem pelo menos uma das seguintes características.

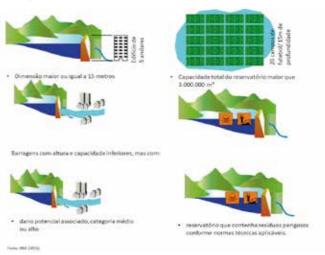


Figura 23: Características das barragens para aplicação da Lei nº 12.334/2010 Fonte: ANA (2016)

## Como tudo isso está relacionado com a Itaipu?

A Itaipu, por ser uma das maiores barragens do mundo, a temática de segurança é abordada com empenho e seriedade.

A empresa é referência mundial no tema e teve atuação destacada na criação da lei 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e de suas regulamentações, que definem uma série de mecanismos e instrumentos que são adotados voluntariamente pela Itaipu. A usina também participa ativamente do Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBDB) e da Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD).

#### Segurança da barragem de Itaipu

A segurança da barragem de Itaipu é assegurada por meio de um programa de vigilância e manutenção abrangente sob a responsabilidade das Superintendências de Obras, Engenharia, Manutenção e Operação.

Para maximizar a segurança, a Itaipu mantém um banco de dados com mais de 30 anos de leituras de instrumentação. Quando possíveis irregularidades são identificadas estudos adicionais são conduzidos, instrumentação é adicionada e protocolos de manutenção são modificados.

Os instrumentos mais importantes são monitorados de forma física e on-line e contam com um sistema de alerta que, quando são detectadas anormalidades, profissionais especialistas são avisados para tomar as medidas necessárias. Os demais instrumentos são lidos manualmente em uma programação diária e em inspeções visuais periódicas.

O reservatório de Itaipu possui monitoramento sísmico desde 1978 realizado por sete estações instaladas.

Outra forma de monitoramento é o hidrológico, realizado por extensa rede de estações hidrometeorológicas. O objetivo é monitorar o fluxo de água em vários pontos do Rio Paraná e de seus principais afluentes a montante do

reservatório, de modo a trazer maior previsibilidade com razoável antecedência às vazões afluentes a Itaipu, resultando em uma melhor gestão do nível do reservatório e, por consequência, na segurança da barragem.

#### Reunião de consultores civis

A cada quatro anos, por medida de segurança, a Itaipu realiza a Reunião de Consultores Civis — Board. Criado em 1974 é um grupo de engenheiros civis de diferentes países reconhecidos pelo seu alto nível de conhecimento técnico sobre o projeto de construção da Usina e o desempenho das suas estruturas civis, contratados pela Itaipu para analisar o desempenho e aferir o grau de segurança de toda sua estrutura. Esses especialistas analisam os dados sobre as condições da estrutura da barragem levantados ao longo dos quatros anos anteriores e fazem inspeções visuais especiais para aferir suas condições de uso e de segurança. O Board 2018 concluiu que a Itaipu se mantém entre as barragens mais seguras do mundo.

#### O que é auscultação?

Auscultação são formas de observar o comportamento das barragens e suas fundações. O objetivo é comprovar a validade das hipóteses e dos métodos e cálculos utilizados no projeto, bem como verificar a necessidade de medidas corretivas. Este trabalho considera os dados fornecidos pela instrumentação e as inspeções visuais efetuadas pelas equipes de segurança de barragem.

#### Instrumentação da barragem de Itaipu

Vários tipos de instrumentos foram instalados na barragem de Itaipu e na sua fundação onde as equipes de leitura, engenheiros encarregados da elaboração dos relatórios e pareceres técnicos, percorrem periodicamente toda a extensão da barragem de Itaipu.

Os profissionais da Itaipu possuem o auxílio de 2792 instrumentos (1.358 no concreto, 881 nas fundações e 161 para geodesia), sendo

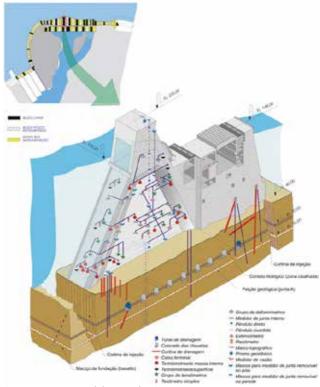


Figura 24: Instrumentação da barragem de Itaipu. Fonte: Site Itaipu (2020).

270 automatizados e 5.295 drenos (949 no concreto e 4.346 nas fundações) para monitorar e acompanhar o desempenho das estruturas de concreto e fundações. Abaixo são apresentados os instrumentos inseridos na barragem de Itaipu:

 Instrumentação da estrutura de concreto Pêndulo direto, Pêndulo invertido, Medidor elétrico de junta, Base de alongâmetro, Deformímetro de armadura, Tensômetro de concreto, Deformímetro de concreto e Termômetros. • Instrumentação da fundação

Medidor de vazão, Extensômetro múltiplo de haste, Piezômetro Standpipe, Piezômetro elétrico, Medidor de assentamento IPT (medidor de recalque), Célula de pressão total, Medidor triortogonal, Medidor de nível d'água.

Alguns blocos ou seções especiais, chamados de blocos chave, foram selecionados segundo sua importância ou condições peculiares para serem instalados um conjunto completo de instrumentos.

#### Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens

O Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (Ceasb) é um programa desenvolvido em parceria entre a Itaipu Binacional e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu. O objetivo do Ceasb é atuar no desenvolvimento de soluções estratégicas em segurança de barragens por meio de pesquisas realizadas pelas universidades e pelo meio técnico. Essa integração permite a formação de competências essenciais para o desenvolvimento desses estudos. O Ceasb traz em suas diretrizes a função de articular, apoiar e executar o desenvolvimento de projetos de pesquisas aplicadas nas diversas áreas e disciplinas inerentes ao tema segurança de barragens.

O Ceasb possibilita um ambiente de pesquisa multidisciplinar, integrando as diversas áreas do conhecimento que envolvem o tema.

As linhas de pesquisa foram definidas a partir das demandas apresentadas pela Itaipu, nas quais são desenvolvidos projetos de pesquisa avaliados tecnicamente por Comitês Técnicos. Esses Comitês são formados por técnicos da Itaipu Binacional que avaliam a viabilidade de cada proposta de projeto apresentada mediante editais específicos a cada linha.

Linhas de Pesquisa:

- Modelagem Tridimensional
- Monitoramento da Saúde Estrutural
- Instrumentação de Barragens
- Geotecnia
- Concreto
- Monitoramento e Análise de Risco
- Cadastro de Barragens
- Aplicações e desenvolvimento de tecnologias inovadoras em Usinas Hidrelétricas



Figura 25: Sala de visitas do Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB)



# VOCÊ SABE COMO A ENERGIA ELÉTRICA É PRODUZIDA?

#### Antes de tudo, o que é energia?

Na física não há uma definição exata para energia, mas há um consenso entre a grande maioria das definições, o que se pode dizer que ela está associada à capacidade de produção de ação e/ou movimento, podendo manifestar-se de formas diferentes, como movimento de corpos, calor, eletricidade e etc.

#### Por que a energia é necessária?

O ser humano sempre utilizou fontes de energia para suprir suas necessidades básicas de sobrevivência, bem como para facilitar as atividades do dia-a-dia e propiciar momentos de lazer. Por exemplo, para acender a luz, cozinhar o alimento das refeições, aquecer e/ou refrigerar o ambiente, transportar os estudantes de carro até as escolas, preservar a comida na geladeira e etc.

## Como são classificadas as fontes de energia?

As fontes energéticas são classificadas em renováveis e não renováveis. A diferença entre elas é que as renováveis utilizam recursos que não se esgotam ou se regeram na natureza, já as fontes não renováveis utilizam recursos que se esgotam na natureza e, por isso, podem gerar diversos problemas para o meio ambiente.

#### O que é uma matriz energética?

É um conjunto de fontes de energia ofertado por um país para distribuir e utilizar energia nos setores comerciais, industriais e residenciais. A matriz representa a quantidade de energia disponível em um país e a origem dessa energia pode ser de fontes renováveis ou não renováveis.

#### O que é uma matriz de energia elétrica?

É muito comum as pessoas confundirem a matriz energética com a matriz elétrica, mas elas são diferentes. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar meios de transporte, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Assim, pode-se concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética.

## Que tal conhecer a matriz de energia elétrica brasileira?

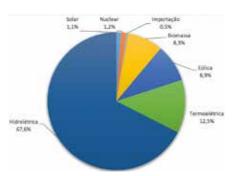


Figura 26: Matriz de energia elétrica brasileira. Fonte: Operador Nacional do Sistema (ONS), 2020.

### Você sabia?

Ao contrário da tendência mundial de uso de fontes não renováveis, a matriz de energia elétrica no Brasil é uma das **mais renováveis do mundo.** Essa característica é muito importante, visto que as fontes não renováveis de energia são as maiores responsáveis pela **emissão de gases de efeito estufa** e pelo **aquecimento global.** 

Uma vez conhecida como é composta a matriz de energia elétrica brasileira, também é preciso compreender como a energia elétrica é produzida. Mas antes de apresentá-la, alguns conceitos de energia útil e energia primária precisam ser definidos.

#### Energia primária e energia útil

Na natureza há diversas formas de energia, como a água do rio, o vento, o gás natural, o carvão, entre outras opções. Essa forma natural é conhecida como **energia primária**, pois está na sua primeira forma, ou seja, na forma bruta. Portanto, como não há eletricidade disponível na forma bruta é preciso transformar as fontes primárias em energia elétrica, ou seja, na **energia útil**, aquela utilizada, por exemplo, para acender uma lâmpada.

Existe uma resposta na **Física** para essa necessidade de converter uma fonte de energia em outra. Um cientista chamado Antoine Lavoisier definiu a conhecida **Lei da conservação da matéria: "Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma"**. Essa lei também se aplica para a energia elétrica, como demonstrado pelo físico James P. Joule. Usualmente, quando se utiliza o termo geração de energia, refere-se a um processo de transformação. A energia elétrica, por exemplo, é "gerada" a partir da conversão (transformação) de outras formas de energia.



#### Energia elétrica ou eletricidade

Se fosse possível olhar qualquer material com uma lupa, veríamos que a matéria é composta por moléculas. Agora imagine olhar para essas moléculas com uma lupa mais potente ainda observaríamos que são formadas por átomos. O átomo é a unidade fundamental da matéria, sendo a menor fração capaz de identificar a matéria. Cada átomo é formado por três tipos de partículas, sendo elas: prótons, nêutrons e elétrons.

Os prótons e nêutrons estão no centro do átomo (chamado núcleo) e os elétrons estão em movimento, ou seja, circulam em volta do núcleo. Os prótons possuem carga positiva, os nêutrons carga neutra e os elétrons carga negativa.

Condutividade é a propriedade da matéria de permitir que os elétrons caminhem em seu interior. Os metais, em geral, são ótimos condutores de eletricidade. Por isso, o cobre e o alumínio são empregados na fabricação de cabos elétricos. Em materiais condutores, os elétrons podem caminhar em seu interior, transportando a energia de um local para outro. Esse movimento é chamado corrente elétrica, também conhecido como energia elétrica.

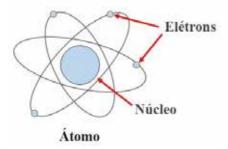


Figura 27: Átomo.

Agora que os conceitos de energia elétrica foram apresentados, que tal conhecer as áreas do conhecimento envolvidas na produção de energia elétrica?

#### Áreas do conhecimento envolvidas na energia elétrica

A energia elétrica é a área da Física responsável pelo estudo de fenômenos associados as cargas elétricas, dividas basicamente em três partes:

- Eletrostática: Refere-se ao comportamento das cargas elétricas sem movimento, ou seja, em estado de repouso. Os fenômenos eletrostáticos surgem em decorrência da força de atração e repulsão que as cargas elétricas exercem umas às outras. Adicionalmente, envolvem a eletrização, força eletrostática e potencial elétrico.
- Eletrodinâmica: Responsável pelo estudo das cargas elétricas em movimento, possuindo como foco a corrente elétrica e os componentes de circuitos elétricos, como capacitores e resistores. Para estudar essa área do conhecimento é necessário conhecer sobre os átomos, prótons, nêutrons e elétrons. Os elétrons,



quando presos ao núcleo do átomo, não podem se mover livremente, porém, quando livres e ordenados, podem transportar a energia elétrica (corrente elétrica). Por isso é necessário também conhecer as substâncias químicas em materiais condutores e não condutores.

• Eletromagnetismo: Ramo da física que estuda unificadamente a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como campo magnético produzido por cargas elétricas (elétrons) em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético.

A partir das áreas do conhecimento apresentadas, cientistas desenvolveram meios de converter diferentes tipos de energia primária em energia elétrica. Conforme apresentado no infográfico da matriz de energia elétrica brasileira, a seguir serão apresentadas as formas de produção de energia elétrica existentes no Brasil:



**Solar:** a energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. O processo de conversão da energia solar utiliza células fotovoltaicas (normalmente feitas de silício ou outro material semicondutor). Quando a luz solar incide sobre uma célula fotovoltaica os elétrons do material semicondutor são postos em movimento, desta forma gerando eletricidade.



**Nuclear:** A geração nuclear de energia elétrica é proveniente de uma reação nuclear, ou seja, da fissão do urânio em reator nuclear. O princípio de funcionamento de uma usina nuclear é utilizar o calor produzido pela fissão do urânio no reator para gerar eletricidade. No método convencional, este calor emitido pela fissão do urânio é utilizado para aquecer a água até se tornar vapor. O vapor gerado aciona uma turbina, que movimenta o gerador e produz corrente elétrica.



**Biogás:** Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. A forma mais comum de aproveitamento da biomassa é o biogás obtido através de resíduos agrícolas, restos de alimentos, excrementos de animais e entre outras formas. A formação do biogás acontece durante a decomposição de certos resíduos por bactérias. Na geração de energia a partir do biogás, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão. Essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica.



**Termoelétrica:** a energia termoelétrica pode ser obtida por qualquer matéria que possa gerar calor, por exemplo, bagaço de diversas tipos de plantas, restos de madeira, gás natural, urânio enriquecido, óleo combustível, óleo diesel e carvão natural. Nas práticas mais comuns a energia termoelétrica é produzida através do calor originado da queima de combustíveis fósseis, o qual aquece uma caldeira com água, gerando vapor em alta pressão, que movimenta as pás da turbina do gerador.



Hidrelétrica: a energia hidrelétrica é produzida com base na energia hidráulica, ou seja, aproveitando a energia cinética contida no movimento de massas de águas. Antes da conversão em eletricidade a energia cinética produzida pelos movimentos das águas deve ser captada pela turbina, quais são formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador. Durante o seu movimento giratório, as turbinas convertem a energia do movimento da água em energia elétrica por meio dos geradores. Depois de passar pela turbina, a água retorna ao leito natural do rio.



**Eólica:** a geração eólica é produzida a partir da força dos ventos e é gerada por meio de aerogeradores. Neles, a força do vento é captada por hélices conectada a uma turbina que aciona um gerador, o qual produz a energia elétrica.

Conhecido os tipos de produção de energia elétrica no Brasil, que tal conhecer como é produzida a energia em Itaipu?

#### Produção de energia em Itaipu

A usina de Itaipu é do tipo hidrelétrica e utiliza a energia cinética produzida pelo movimento das águas para gerar eletricidade. A Itaipu é composta por um conjunto de barragens que possuem como objetivo represar seu reservatório. A água armazenada em seu reservatório passa pelas tomadas, que são as estruturas de captação da água formada por condutos forçados localizada na parte superior da Barragem Principal, transportando-a até a casa de força.

A Itaipu é um complexo de projetos das engenharias civil, elétrica e mecânica, compreendendo as áreas de hidráulica, estruturas de concreto, geotécnica, geológica, de tecnologia do concreto, de computação, de controle, de automação, ambiental, florestal, de solos, de fundações, de materiais, de montagem eletromecânica, entre muitas outras. Um conjunto de obra e equipamentos, que tem por finalidade produzir energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico existente no movimento das águas de um rio.

Na casa de força estão instalados os equipamentos para a produção de eletricidade que incluem a tomada d'água, conduto forçado, turbina, gerador, sala de controle, sala de despacho de carga e salas de controle local.

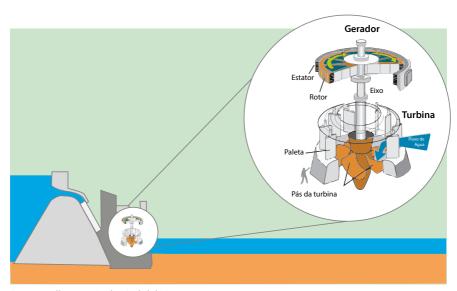


Figura 28: Perfil esquemático de usina hidrelétrica. Modificado de ANEEL (2020) e Infoescola (2020)

### **VOCÊ CONHECE O CAMINHO QUE** A ENERGIA FAZ ATÉ A SUA CASA?

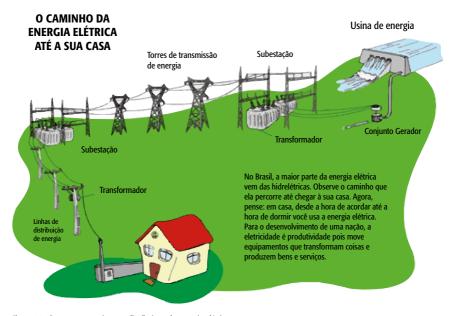


Figura 29: Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Fonte: Copel (2020).

Depois de produzida, a energia elétrica é transportada até o consumidor final através das linhas e torres de transmissão que no início do percurso, passam pelas subestações elevadoras que elevam a tensão (alta tensão). Depois de percorrer um longo caminho a energia elétrica chega nas cidades, onde passa pelas subestações que reduzem o nível de tensão, para que possa ser conectada com a rede de distribuição, cujo os fios instalados nos postes transportam a eletricidade até o consumidor final. Porém, antes de chegar nas casas, a energia elétrica passa pelos transformadores de distribuição (instalados nos postes) que rebaixam a voltagem para 127 ou 220 volts, ou ainda, 220 ou 380 volts, dependendo do

estado brasileiro. Em seguida, ela vai para a caixa do medidor de energia elétrica, que é o relógio de luz, equipamento este responsável pela medição do consumo de energia de cada residência.

## Mas, porque é necessário transportar a energia?

No Brasil, dado ao grande potencial hídrico existente, predomina a produção de energia elétrica por parte das usinas hidrelétricas. Tais usinas normalmente se encontram afastadas dos centros de consumo, portanto, é necessário a existência de um sistema de interligação, nomeado como Sistema Interligado Nacional (SIN).

### Quer conhecer um pouco mais sobre o SIN?

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema de grandes dimensões, que conforme já mencionado, possui predominância de usinas hidrelétricas. O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Suldeste/Centro-Oeste, Nordeste e grande parte da região Norte. Para realizar a transferência de energia entre os subsistemas, a interconexão dos sistemas elétricos, por meio das linhas de transmissão, é necessária. Tal interconexão permite a obtenção de ganhos sinérgicos e exploração da diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias espalhadas em todo o território nacional. A integração dos recursos de geração e transmissão maximizam a confiabilidade do sistema, permitindo o atendimento ao mercado com segurança e economia.

#### Quem são os responsáveis pelo SIN?

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão brasileiro responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para o exercício de suas atribuições o ONS desenvolve uma série de estudos e ações exercidas sobre o sistema para gerenciar as diferentes fontes de energia e a rede de transmissão, de forma a garantir a segurança do suprimento de energia elétrica em todo o país.

## Por que o sistema de transmissão é feito em alta tensão?

Após a geração de energia é necessário elevar a tensão para ser transportada. O valor dessa tensão é estabelecido em função da distância a ser percorrida e da quantidade de energia que será transportada. Essa prática de elevar a tensão é justamente para evitar a perda excessiva de energia durante o seu transporte. Na natureza nada é de graça e qualquer atividade a ser realizada haverá um gasto de energia no processo, o que não é diferente com a transmissão de energia elétrica. Matematicamente falando, ao elevar a tensão, a corrente é reduzida, devido a relação envolvida conforme a Lei de Ohm, consequentemente, também reduz as perdas do transporte de energia, pois, essa perda está associada com o valor da corrente que flui nas linhas de transmissão. Como estas linhas possuem características físicas e seu valor não pode ser alterado uma vez construída, então, manipula-se a corrente através da tensão.



Figura 30: Sistemas Interligado Nacional (SIN). Fonte: ONS, 2020.

## Como é realizado a transmissão de energia em Itaipu?

A Itaipu é responsável por entregar a energia produzida na Usina até os pontos de conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN). No lado brasileiro a conexão é realizada por Furnas e Copel, a partir da subestação de Foz do Iguaçu no Paraná, que transmite a energia até os centros de consumo. No lado paraguaio, a conexão é realizada na subestação Margem Direita, situada na própria usina de Itaipu. No Brasil, a coordenação e controle da operação do sistema elétrico é

de responsabilidade do ONS e no Paraguai a responsabilidade é da Ande (Administración Nacional de Electricidad). A distribuição da energia gerada pela Itaipu é feita pela Eletrobras no lado brasileiro e pela Ande no lado paraguaio.

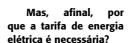


Figura 31: Transmissão da energia de Itaipu. Fonte: Adaptado de Itaipu (2020).

No Paraguai, o escoamento da energia de Itaipu é feito na tensão 220 kV a partir do seccionamento e transformação de tensão de 2 linhas de 500 kV a 50 Hz na subestação da margem direita (lado paraguaio). Nesta subestação, os equipamentos baixam a tensão de 500 kV para 220 kV e disponibiliza a energia a quatro linhas, sendo que duas delas seguem em direção a Assunção e as outras duas vão para a usina de Acaray.

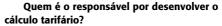
Você sabia que o Brasil compra parte da energia produzida pela Itaipu no lado paraguaio? Sim, é verdade, porém, a conexão entre o sistema paraguaio com o brasileiro não pode ser feita diretamente, visto que no Paraguai a frequência é de 50 Hz e no Brasil em 60 Hz. Assim, a energia produzida em 50 Hz em corrente alternada é convertida para corrente contínua em Furnas (chamado de Elo CC) e escoada até Ibiúna (SP), onde será convertida novamente para corrente alternada, mas agora em 60 Hz. Depois desse processo, a energia paraguaia é inserida no sistema brasileiro. A transmissão entre as subestações de Foz do Iguaçu (PR) e Ibiuna (SP) possui aproximadamente 810 km, composta por duas linhas de ±600 kV.

Agora que o caminho que a energia elétrica faz até a sua casa foi esclarecido, que tal conhecer como é constituída a tarifa de energia elétrica?



O serviço energia elétrica é essencial para a sociedade, seja para

o conforto nas residências ou até mesmo para movimentar a economia através das empresas e indústrias. Assim, para que a energia elétrica seja entregue ao consumidor com qualidade e no instante que for solicitada, é necessária a aplicação de tarifas que visam assegurar aos prestadores dos serviços receita suficiente para cobrir custos operacionais envolvidos, bem como remunerar investimentos necessários para expandir a infraestrutura da rede de energia elétrica.



A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é o órgão brasileiro responsável por regimentar e fiscalizar o setor elétrico. Dentre suas competências, desenvolve metodologias de cálculo tarifário para segmentos do setor (geração, transmissão, distribuição e comercialização), considerando fatores como a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, bem como fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e sinalização ao mercado.

### Você sabe o que é demanda de energia elétrica?

Corresponde à parcela conhecida como "Consumo", expressa em quilowatts-hora (kWh). Em outras palavras, é o somatório das cargas instaladas operando no mesmo intervalo de tempo. Do ponto de vista técnico é a eletricidade (potência) solicitada ao sistema pela parcela da



carga conectada à tomada em um curto intervalo de tempo especificado. A potência corresponde ao fluxo de energia no tempo.

Para se ter uma ideia do que é isso na prática, imagine que uma lâmpada de 50 watts seja mantida acesa por 20 horas, consumirá 1000 watts-hora (Wh) ou 1 quilowatt-hora (kWh). Da mesma forma, um chuveiro elétrico de 5.000 watts ligado por 12 minutos também consumirá 1 kWh. Veja como é feito cálculo:

$$5000\,W*\frac{12\,minutos}{60\,minutos/hora}=1000\,Wh=1\,kWh$$

Imagine que em sua casa estejam ligados ao mesmo tempo uma televisão com potência de 200 W, um microondas com potência de 1.000 W e um ventilador de 140 W, a demanda neste instante será de 1.340 W ou 1,34 kW.

# Quais são os conceitos iniciais necessários para compreender a tarifa da conta de luz?

Você sabia que o valor cobrado pelo consumo e pela demanda de energia podem variar ao longo do dia e conforme o dia da semana? A ANEEL define horários distintos para aplicação de tarifas de forma diferenciada (posto tarifário), comumente chamados de horário de ponta e horário fora de ponta. Por definicão, postos tarifários são horários previamente definidos em que ocorre uma variação na tarifa cobrada pela eletricidade, ou seja, o valor cobrado pelo kWh não é igual ao longo do dia. Para uma melhor compreensão, imagine que o consumo de energia sofre uma variação ao longo do dia, ou seja, há horários em que a população consome mais energia elétrica, já em outros horários, menos (por exemplo, de madrugada). Portanto, conforme o horário do dia, a solicitação de eletricidade é mais intensa, o que exige maior esforco dos operadores do sistema para disponibilizar tal servico com qualidade. Por este motivo surgiram os postos tarifários, entendidos como os horários em que a energia é mais cara, justamente pelo fato de exigir maior esforço dos responsáveis do sistema para atender a demanda de eletricidade no instante em que for solicitada.

No Brasil há quatro fusos horários, o que implica na definição dos postos tarifários no território nacional. Portanto, a ANEEL preestabelece que os postos tarifários devem ser definidos por distribuidora. De maneira geral, há três postos tarifários, os quais são apresentados a seguir:

- Horário de ponta: período diário de 3h consecutivas;
- Horário intermediário: período de horas conjugadas ao horário de ponta;
- Horário fora de ponta: período diário composto pelas horas complementares ao horário de ponta e intermediário.

Para se ter uma ideia de como é a aplicação dos postos tarifários na prática, abaixo se encontra um gráfico com a distribuição dos postos tarifários ao longo das horas do dia, ou seja, no horizonte de 24 horas. Cabe destacar que esse gráfico é uma média dos postos tarifários espalhados no território nacional:



Figura 32: Postos tarifários. Fonte: ANEEL (2020).

O horário de ponta é o período do dia que exige maior consumo de energia elétrica, sendo o período mais crítico do fornecimento de energia elétrica pelas distribuidoras de energia, por este motivo o valor da tarifa é mais caro.

Você sabia os postos tarifários são aplicados apenas aos dias úteis? Já nos fins de semana e feriados nacionais, todas as horas são consideradas como fora de ponta.

Além dos postos tarifários existem também as bandeiras tarifárias, que indicam o custo da produção de energia para determinado mês.

#### Entendo melhor as bandeiras tarifárias

Conforme apresentado na matriz de energia elétrica brasileira, a maior parte da eletricidade consumida vem das hidrelétricas que para funcionar dependem de certa quantidade de água armazenada em seu reservatório. Porém, os níveis dos reservatórios podem ficar abaixo do esperado em época de pouca chuva, o que é preciso acionar fontes complementares para compensar a falta de produção de energia. Assim, para poupar a água dos reservatórios e suprir a geração em épocas de escassez, utiliza-se as Termoelétricas movidas a combustíveis como gás natural, óleo combustível, carvão e diesel. Essas fontes complementares possuem o custo de geração mais caro. Por este motivo a ANEEL criou o sistema de bandeiras tarifárias na conta de luz. Elas sinalizam, a cada mês, se a energia custará mais ou menos em função do uso das fontes complementares de geração.

## Mas o que de fato são as bandeiras tarifárias?

Em uma analogia simples as bandeiras tarifárias funcionam como um semáforo que informa ao consumidor sobre a quantidade de kWh comprado para suprir a geração de energia elétrica do sistema. Em outras palavras, o sistema de bandeiras tarifárias informa ao consumidor sobre o custo adicional na conta de luz, dando assim oportunidade do consumidor adaptar seu consumo de forma consciente.

#### **VERDE**

Condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum

#### AMAREI A

Condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos.

#### **VERMELHA** (PATAMAR 1)

Condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,04169 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

#### **VERMELHA** (PATAMAR 2)

Condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,06243 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Figura 33: Bandeiras tarifárias.

Parece pouco, mas esses reajustes são consideráveis em estabelecimentos que consomem bastante energia. Exemplo: uma indústria fictícia consome 5000 kWh e paga cerca de R\$ 3000,00 reais de conta. Com uma bandeira vermelha de patamar 2, o dono pagará R\$ 3312,15, um aumento de R\$ 312,15 reais somente em um mês.

Compreendido os custos envolvidos na geração de energia elétrica, que tal se aprofundar um pouco mais?



#### Como é composta a tarifa de energia

Para as distribuidoras cumpram com o compromisso de entregar energia com qualidade há três custos distintos que compõe a tarifa, sendo eles:



Quando a conta chega ao consumidor ele paga pela compra da energia (custos de geração), pela transmissão (custos da transmissora) e pela distribuição (serviços prestados pela distribuidora), além de encargos setoriais e tributos. Os encargos setoriais e os tributos não são criados pela ANEEL e, sim, instituídos por leis. Alguns incidem somente sobre o custo da distribuição, enquanto outros estão embutidos nos custos de geração e de transmissão.

Para fins de cálculo tarifário, os custos da distribuidora são classificados em dois tipos:

- Parcela A: Compra de Energia, transmissão e Encargos Setoriais;
  - Parcela B: Distribuição de Energia.

O gráfico abaixo representa o valor final da energia elétrica. Observe que os custos de compra de energia, transmissão e encargos setoriais representam a maior parcela de custos (53,5%), seguido dos custos com Tributos (29,5%). A parcela referente aos custos com distribuição, ou seja, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% dos custos das tarifas.

### Você sabia?

Além da tarifa, os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram na conta de luz o PIS/COFINS, o ICMS e a Contribuição para Iluminação Pública?

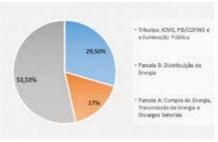


Figura 34: Valor final da conta de luz. Fonte: ANEEL (2020).

## Como é calculado o valor do consumo mensal de energia?

Todo mês é feita a leitura do medidor de energia da sua casa para saber qual o consumo em kWh. O consumo mensal é calculado pela diferença entre a leitura do mês atual e a leitura do mês anterior.

#### FÓRMULA

Consumo Mensal = Leitura Atual - Leitura Anterior

## Como é calculado o valor cobrado na conta mensal de energia?

**FÓRMULA** 

Valor Cobrado (R\$) = 
$$\binom{\text{Consumo}}{\text{kWh}} X \binom{\text{Tarifa com N}}{\text{Impostos}}$$

### Como é calculado o consumo mensal dos equipamentos?

Todo equipamento elétrico possui uma potência apresentada em Watts (W). Normalmente esta informação vem estampada no produto ou na embalagem. Para calcular o consumo de um chuveiro = 3.600 W, multiplique sua potência pelo tempo de funcionamento em horas. Exemplo: um chuveiro funciona 2 horas por dia logo seu consumo é 3.600 W x 2 horas = 7.200 Wh/dia

Consumo (kWh)
$$= \frac{\left(\begin{array}{c} \text{Potência dos} \\ \text{equipamentos} \end{array}\right) X \left(\begin{array}{c} \text{N\'amero de horas} \\ \text{utilizadas ao dia} \end{array}\right) X \left(\begin{array}{c} \text{N\'amero de dias} \\ \text{de uso do m\'es} \end{array}\right)}{1000}$$

Agora suponha um exemplo com 2 equipamentos pelo período de 1 mês (30 dias): duas lâmpadas de 40 W funcionando 10 horas por dia e um computador de 180 W funcionando 12 horas por dia.

Lâmpada 1:

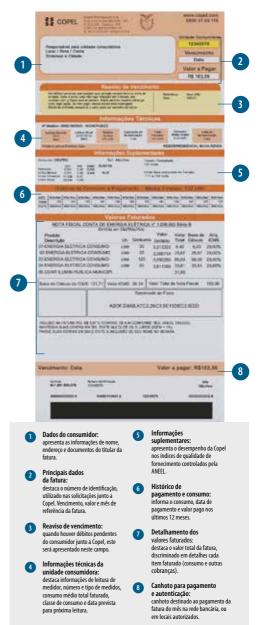
Consumo = 
$$\frac{2 \times 40 \text{ W} \times 10 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \times 30 \text{ dias}}{1000} = 24 \text{ kWh}$$

Lâmpada 2:

Consumo = 
$$\frac{180 \text{ W x } 12 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} x 30 \text{ dias}}{1000} = 64,8 \text{ kWh}.$$

Consumo total destes equipamentos = 24 + 64,8 = 88,8 kWh/mês

Este cálculo deve ser feito para todos os equipamentos elétricos que o medidor de energia elétrica vai medir, durante um período em média 30 dias. Por isso é importante você saber calcular o consumo e aprender com fazer seu acompanhamento eficiente.



Fonte: Copel (2020)

### SÍNTESE DE CONTEÚDOS PEDAGÓGICOS

Esta tabela é um recurso pedagógico destinado a docentes do ensino fundamental I e fundamental II, no qual trazemos resumidamente possibilidades pedagógicas e nexos conceituais entre as orientações curriculares e os conteúdos possíveis de serem explorados.

MATÉRIA	O QUE PODE SER TRABALHADO?	MATÉRIA	O QUE PODE SER TRABALHADO?
Arte	Ao visitar a usina o educando poderá conhecer e valorizar o patrimônio material brasileiro, ben como explorar a usina através das formas geométricas, linhas, ponto, cor, espaça, movimento e texturas que a compõe e como elas se completam para formar o todo. Após a visita o alum poderá expressar suas perspectivas pelos diferentes vices artisticos: teatro, arte visual, dança, música e literatura.  O professor que pretende utilizar a Itaipu Binacional para explorar os conteúdos em sala de	História	Os professores que pretendem aprofundar as temáticas que envolvam os conteúdos de História, podem apresentar aos alunos a relação entre as suas histórias e as histórias de sua família e de sua comunidade, considerando que muitos famíliares podem ter participado do processo histórico de construção da bliana, identificando os grupos populacionais que formam a cidade como fenómenos migratórios (vida rural/vida urbana), desmatamentos, estabelecimento de grandes empresa etc., apresentar o registro de acontecimentos coorridos ao longo do tempo na cidade ou registo em que vivem,
	aula, ou por meio de enriquecer as visitas realizadas no espaço, pode abordar na área de Ciências da Natureza, os respectivos conteúdos: as caracteristas dos diferentes materials utilizados na construção da barragem, tais como: passagem de ordas como o som e luz, densidade, condubilidade termica e eletrica,		identificação dos marcos históricos e seus significados e análise na sociedade em que vivem, a existência ou não de mudanças associadas à migração (interna e internacional).
Ciências da Natureza	respostas a forças magnéticas, solubilidade, isolamento erespostas a forças medinicas como dureza e elasticidade. Também pode-se abordar temas a respeito dos solos do entorno da barragem, comparando amostras em suas diversas caracteristicas, como con, textura, cheiro, tamanho das partículas e permeabilidade. Ao trabalhar temas a respeito da usina pode-se trazer discussões acerca dos principais uso da água na regidio, as mudanças econômicas, culturais e sociais decorrentes do deservolvimento local os impactos provocados na natureza, tais como extinção de espécies, alteração de hábitos, migração etc. Também discutir iniciativas que contribuiram ou que contribuem para restabelecer o equilibrio ambiental, através do uso das tecnologias disponíveis, e a importância da preservação e conservação da biodiversidade afetada pela ação humana, a oconstruir uma barragem, atreladas a ações de sensibilização de ações do cotidiano para diminuição aos impactos socioambientais.	Língua Portuguesa e Língua Estrangeira	Durante a visita a usina de ITAIPU, a temática de carilidade de Língua Portuguesa poderá ser ricamente abordada, pois o educando terá a oportunidade de escutar, com atenção, fallas de professores e colegas, formulando perguntas pertimentes ao tema e solicitando esclaractimentos sempre que necessário, atribuir significado a aspectos não linguisticos (paralinguisticos) observados na fala, como direção do olhar, riso, gestos, movimentos da cabeça, expressão corporal, tom de voz. Antes, durante e após a visita o desenvolvimento da escrita, tanto em Língua Portuguesa, quanto em Língua Estrangeira, poderá ser trabalhando por meio de diferentes gêneros textuais, como noticias, reportagem, entrevista, Volog, infográfico, relato de experiência, entre outros. Nestes o a luno, ciente do contexto sócio-histórico de circulação de sua produção delitor previsto, objetivos, pontos de vista e perspectivas, papel social do autor, época, gênero do discusos etc.), realizando diferentes
Ensino Religioso	As temáticas acerca de Ensino Religioso pode trazer a reflexão acerca da importância sobre conhecer e respetar as diferentes religiões, crenças, filosofas de vida, já que vieram pessoas de várias partes do Brasile do mundo para trabalhar na construção da barragem.		tipo de pesquisa (bibliográfica, de campo, experimento científico, levantamento de dados etc.) e, inclusive, explorando as tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC), poderá atura de forma fundamentada, ética crítica na produção e no compartilhamento de sua experiência e conhecimentos adquiridos durante a visitação.
Geografia	As temáticas que envolvem a ciência Geografia, contemplam conteúdos relacionados ao trabalho deservolvido de forma diária pelas comunidades, na observação dos ritmos naturais (dia e noite, variação de temperatura e umidade etc.), comparação de um mesmo lugar em diferentes tempos, alteração dos processos históricos e naturais nas mudanças das paísagens por meio do anteopocentismo, a utilização do solo (rotação de ternas, terraceamento, aterros etc.) e áqua (sistema de irrigação, tratamento e redes de distribuíção) em seus diferentes usos e seus cuidados, as furções das cidades e analisar as mudanças sociais, econômicas e ambientais provocadas pelo seu crescimento, analise dos impactos de diferentes modelos econômicos no uso dos recursos naturais e na promoção da sustentabilidade econômica e socioambiental do planeta, apresenta as diverasa fortes de energia (tais como termoelétria, hidrelétrica, eólica e nuclear) em diferentes países.	Matemática	Os professores que pretendem aproveitar as estruturas da usina para abordar conteúdos relacionados com a matemática tais como: figuras geométricas espaciais (cones, cilindros, esferas e blocos retangulares) relacionando com objetos e formas presentes no mundo físico, en destaque a barragem, comparar comprimentos, capacidades ou massas, criar esboços ou maquetes com quadriculados ou malhas que representam a movimentação do epessoa ou de matéria (água atravessando as turbinas por exemplo), incluindo mudanças de direção e senitido, inserindo pontos de início e fim para o trajeto. Observar as medidas em diferentes pontos da barragem, e escolher instrumentos apropriados para essas medidas. Utilizar medidas de tempo para definir quanto tempo demora para que a água realize o percurso pela barragem. Noções de transformações isométricas tais como translação, reflexão, notação e composição, e transformações homotéticas para a construção de figuras e análise de elementos da

### **REFERÊNCIAS**

ANA, Agência Nacional das Águas. Relatório de segurança de barragens 2018. Brasília: ANA, 2019. Acesso em janeiro de 2020, disponível no link: http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo\_sophia=82404

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Como é composta a tarifa. Acesso em dezembro de 2019, disponível no link: https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset\_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2016.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública. 7. ed. Brasília: ANEEL, 2016.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Postos tarifários. Acesso em novembro de 2019, disponível no link: https://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios

Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Assessoria Especial para Modernização da Gestão. Central de Compras. Cartilha energia: como analisar gastos com energia elétrica. Brasília: MP, 2015.

Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB). Arquivos de projetos. Foz do Iguaçu: CEASB, 2020.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. Faturas de energia. Acesso em outubro de 2019, disponível no link: https://www.copel.com/hpcopel/fatura/fatura\_lis.html

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. O Caminho que a energia faz até a sua casa. Acesso em janeiro de 2020, disponível no link: https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F2FF4A278A3D6D6ED032575D900423F5D

DEL TORO, V. Fundamentos de máquinas elétricas. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil Ltda., 2013.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Formas de energia. Acesso em fevereiro de 2020, disponível no link: http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/formas-de-energia#ELETRICA

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética e elétrica. Acesso em dezembro de 2019, disponível no link: http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ENERGETICA

FERRARO, N. G., SOARES, P. T., JUNIOR, F. R. Os fundamentos da física. Eletricidade, Introdução à física moderna e análise dimensional – Volume 3. Editora: Moderna, 2007.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., Walker, J. Fundamentos de física, volume 3: Eletromagnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY Jr, C. e UMANS, S. D. Máquinas elétricas. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

GOOGLE, Google Earth Website. O Globo Terrestre Mais Detalhado do Mundo. Acesso em janeiro de 2020, disponível no link: https://earth.google.com/web/@-25.41526069,-54.58566958,177.27806511a,3560.88917969d,35y,4.981091h,0t,0r

ITAIPU: usina hidrelétrica — Projeto: Aspectos de Engenharia / Realização da Diretoria Técnica da Itaipu Binacional; Coordenação Geral da Superintendência de Engenharia da Itaipu Binacional; Apoio da Assessoria de Comunicação Social; Execução Gráfica de TAB Marketing Editorial. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2009.

ITAIPU. A história da Maior Hidrelétrica do Mundo. Acesso em fevereiro de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/nossahistoria

ITAIPU. BÊ-Á-BÁ de ITAIPU: Mantenha sempre à mão. Assessoria de comunicação, novembro de 2012 disponível: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/BX\_beaba\_OK.pdf

ITAIPU. Casa de Força. Acesso em janeiro de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/energia/casa-de-forca

ITAIPU. Energia Hidráulica. Acesso em janeiro de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/energia/energia-hidraulica

ITAIPU. Integração ao Sistema Brasileiro. Acesso em dezembro de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/af\_df/sistema\_transmissaog.jpg

ITAIPU. Laboratório de Tecnologia de Concreto. Acesso em março de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/energia/laboratorio-de-tecnologia-de-concreto

ITAIPU. Relatório Anual Itaipu Binacional 2018. Acesso em janeiro de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/institucional/relatorio-anual

ITAIPU. Relatório de Sustentabilidade Itaipu Binacional 2018. Acesso em março de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/responsabilidade/relatorios-de-sustentabilidade

ITAIPU. Segurança de Barragem: Instrumentação. Acesso em setembro de 2019, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/energia/instrumentacao

ITAIPU. Unidades Geradoras. Acesso em dezembro de 2020, disponível no link: https://www.itaipu.gov.br/energia/unidades-geradoras

ITAIPU. Usina Hidrelétrica de Itaipu: Principais Características Técnicas 2017. Disponível: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/af\_ df/1702\_013\_bizuario\_2017\_.pdf

KOSOW, I. L. Máquinas Elétricas e Transformadores. Porto Alegre: Globo, 2006.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrica. Capacidade Instalada do SIN – 2020/2024. Acesso em dezembro de 2019, disponível no link: http:// www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema--em-numeros

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrica. Mapa Dinâmico do SIN. Acesso em dezembro de 2019, disponível no link: http://www.ons.org.br/paginas/ sobre-o-sin/mapas

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE. 2016.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro: EPE. 2016.

WILLIAM, H. Hayt Jr, JOHN, A. Buck. Eletromagnetismo. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.



