

Geração de Energia Elétrica - GE68A

Engenharia Elétrica

PERSPECTIVAS E ANÁLISE DE DEMANDA ELÉTRICA

Prof. Vinicius Dario Bacon

UTFPR - Campus Apucarana

Câmpus Apucarana



**MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO**



- ▶ **Panorama Energético:** Contexto Global e Nacional.
- ▶ **Potencial das Fontes de Geração:**
 - ▶ Conceitos: Teórico, Técnico, Econômico e Explotável.
 - ▶ Análise dos Potenciais no Brasil: Hídrico, Eólico e Solar.
- ▶ **A Demanda por Energia Elétrica:**
 - ▶ Conceitos Fundamentais.
 - ▶ Curva de Carga e seus Fatores.
- ▶ **Dimensionamento da Geração:**
 - ▶ Potência Instalada, Energia Firme e Fator de Capacidade.
- ▶ **Conclusão e Próximos Passos.**

Contexto Global: Uma Transição Sob Tensão

O cenário energético global é marcado por uma transição acelerada para fontes limpas, impulsionada por desafios climáticos e geopolíticos International Energy Agency (IEA) 2024.

- ▶ **Dependência Fóssil:** Em 2023, combustíveis fósseis ainda supriram 60% da geração elétrica mundial. O carvão continua sendo a principal fonte International Energy Agency (IEA) 2024.
- ▶ **Crescimento das Renováveis:** Atingiram 30% da geração global, com a China liderando a expansão de solar e eólica.
- ▶ **Desafios:** Segurança energética, volatilidade de preços e a necessidade de descarbonização continuam sendo os principais vetores de mudança.

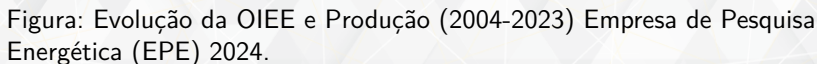
Projeção

As políticas atuais apontam para um aquecimento global de 2.4°C, destacando a urgência de acelerar a transição International Energy Agency (IEA) 2024.

O Brasil se destaca com uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, um ativo estratégico na nova economia de baixo carbono.

- ▶ **Oferta e Produção:** Entre 2004 e 2023, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) cresceu 70%, enquanto a produção nacional aumentou 82,7% Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.
- ▶ **Matriz 2023:** A participação de renováveis na OIEE atingiu 89,2%. A fonte hídrica ainda domina com 61,0%, mas eólica (13,2%) e solar (7,0%) ganham espaço rapidamente Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

Fonte: EPE (2024a)



- ▶ **Potencial Teórico:** Limite físico superior, representando toda a energia contida no recurso natural.

- ▶ **Potencial Teórico:** Limite físico superior, representando toda a energia contida no recurso natural.
- ▶ **Potencial Técnico:** Fração do potencial teórico que pode ser convertida com a tecnologia atual, considerando perdas e restrições geográficas e ambientais (ex: áreas de preservação).

- ▶ **Potencial Teórico:** Limite físico superior, representando toda a energia contida no recurso natural.
- ▶ **Potencial Técnico:** Fração do potencial teórico que pode ser convertida com a tecnologia atual, considerando perdas e restrições geográficas e ambientais (ex: áreas de preservação).
- ▶ **Potencial Econômico:** Parcela do potencial técnico que é economicamente viável, competindo com outras fontes de energia sob os custos atuais.

- ▶ **Potencial Teórico:** Limite físico superior, representando toda a energia contida no recurso natural.
- ▶ **Potencial Técnico:** Fração do potencial teórico que pode ser convertida com a tecnologia atual, considerando perdas e restrições geográficas e ambientais (ex: áreas de preservação).
- ▶ **Potencial Econômico:** Parcela do potencial técnico que é economicamente viável, competindo com outras fontes de energia sob os custos atuais.
- ▶ **Potencial Explotável (ou Explorável):** Parcela do potencial econômico que pode ser efetivamente implementada, considerando fatores políticos, sociais, regulatórios e de mercado.

Potencial Hidrelétrico Brasileiro

O Brasil detém um dos maiores potenciais hídricos do mundo.

- ▶ **Potencial Inventariado:** Cerca de 172 GW.
- ▶ **Já Instalado:** Aproximadamente 110 GW (64% do total).
- ▶ **Potencial Remanescente:**
Concentrado principalmente na Região Norte (Bacia Amazônica), onde a exploração enfrenta severas restrições socioambientais Bacon s.d.(b).
- ▶ **Alternativas:** A modernização e repotenciação de usinas existentes é uma via promissora para adicionar capacidade com menor impacto
Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

O potencial eólico do Brasil é de classe mundial, com ventos fortes, estáveis e de baixa turbulência.

- ▶ **Localização:** Concentra-se no Nordeste, Sul e Sudeste.
- ▶ **Complementaridade:** O regime de ventos no Nordeste é mais intenso no período seco (segundo semestre), complementando a geração hídrica Bacon s.d.(a).
- ▶ **Crescimento:** A capacidade instalada cresceu mais de 980 vezes entre 2004 e 2023, de 29 MW para 28.682 MW Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

Potencial Solar Brasileiro

Com alta irradiação solar em todo o território, o potencial solar brasileiro é imenso.

- ▶ **Vantagem Geográfica:** Mesmo a região menos ensolarada do Brasil recebe mais sol que a região mais ensolarada da Alemanha, um dos líderes em geração solar.
- ▶ **Motor da Expansão:** A Geração Distribuída (GD) tem sido o principal impulsionador, graças à queda de custos e à criação de linhas de financiamento Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.
- ▶ **Evolução:** A capacidade instalada total (centralizada + distribuída) saltou de 81 MW em 2016 para 37.843 MW em 2023, um crescimento exponencial Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

A demanda (ou carga) é a quantidade de energia elétrica solicitada pelos consumidores a cada instante.

- ▶ **Desafio Central:** A geração deve ser igual à demanda instantaneamente para manter a frequência da rede estável (60 Hz no Brasil).
- ▶ **Crescimento Histórico:** O consumo de eletricidade no Brasil cresceu em média 4% a.a. entre 2004 e 2023. O setor residencial foi o que mais cresceu (110%), superando o comercial (97%) e o industrial (21%) Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

Figura 4.2 – Evolução do consumo residencial de energia elétrica x demais setores

Fonte: EPE (2024c)

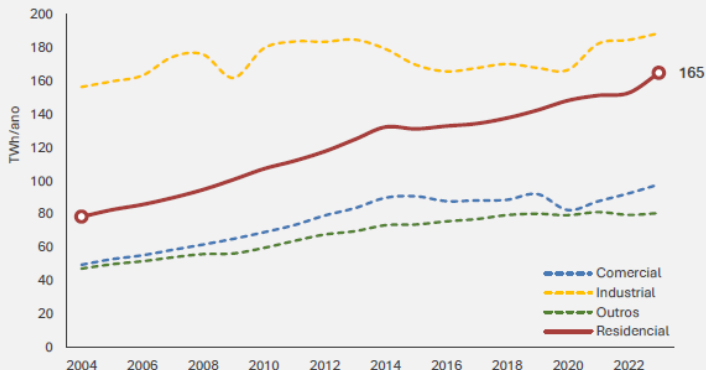


Figura: Evolução do Consumo por Classe no Brasil Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

A Curva de Carga Diária

A curva de carga ilustra a variação da demanda ao longo de um dia.

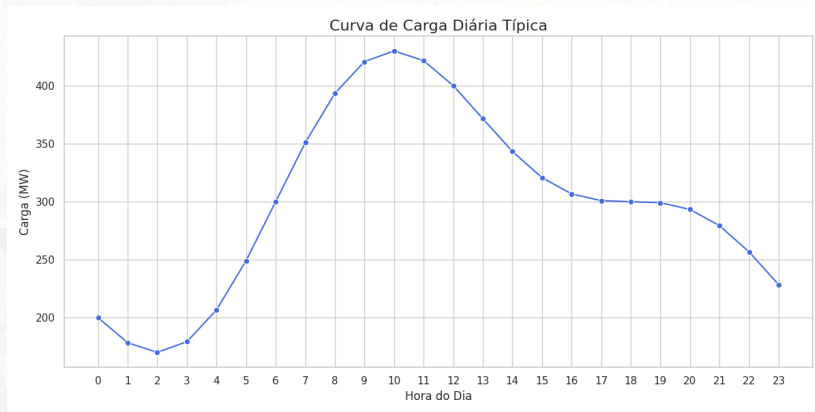


Figura: Exemplo de Curva de Carga Diária do Sistema Interligado Nacional (SIN) Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.

- ▶ **Vale da Madrugada:** Período de menor consumo.
- ▶ **Rampa da Manhã:** Início das atividades industriais e comerciais.

Análise da Curva de Carga: Conceitos

A partir da curva de carga, derivamos métricas essenciais para o planejamento:

- ▶ **Demanda Máxima (Pico):** O maior valor de demanda (em MW) registrado no período. O sistema precisa ter capacidade para atender a este ponto.
- ▶ **Demanda Média:** A média da demanda ao longo do período.
- ▶ **Fator de Carga:** Mede quão "plana" é a curva de carga. É a razão entre a demanda média e a demanda máxima. Um fator de carga próximo de 1 indica um consumo mais constante.

$$\text{Fator de Carga} = \frac{\text{Demanda Média}}{\text{Demanda Máxima}}$$

- ▶ **Fator de Utilização:** Relação entre a demanda máxima e a capacidade instalada do sistema.
- ▶ **Fator de Diversidade:** Mede a não coincidência dos picos de demanda de diferentes consumidores.

Estruturais (Longo Prazo):

- ▶ PIB e Atividade Industrial
- ▶ Crescimento Populacional
- ▶ Eletrificação da frota
- ▶ Eficiência Energética

Conjunturais (Curto Prazo):

- ▶ Temperatura (ondas de calor/frio)
- ▶ Calendário (dias úteis vs. feriados)
- ▶ Eventos Sazonais

É a soma das potências nominais de todas as unidades geradoras de uma usina ou sistema.

- ▶ Representa a capacidade máxima teórica de geração.
- ▶ No Brasil, a capacidade instalada total atingiu 226 GW em 2023, um aumento de 150% em 20 anos Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2024.
- ▶ A expansão foi liderada pela hidroeletricidade (+40,8 GW), mas o maior crescimento percentual veio da eólica e solar.

Importante

Potência instalada não é sinônimo de energia disponível. Uma usina solar de 1 GW de potência instalada não gera 1 GW continuamente.

Energia Firme (ou Garantida) é a quantidade máxima de energia que uma usina pode se comprometer a entregar com um risco de déficit muito baixo.

- ▶ É a métrica fundamental para a segurança do abastecimento.
- ▶ Para **UHEs**, é calculada com base no pior cenário hidrológico já registrado. O sistema brasileiro foi projetado para ter um risco de déficit de 5%.
- ▶ Para **fontes intermitentes** (eólica e solar), a energia firme de uma única usina é muito baixa. No entanto, a combinação de muitas usinas espalhadas geograficamente (diversidade) aumenta a energia firme do conjunto.
- ▶ **Termelétricas** possuem alta energia firme, pois sua geração depende apenas da disponibilidade do combustível e da usina, sendo cruciais para a segurança do sistema.





Fator de Capacidade

O Fator de Capacidade (FC) mede a produtividade real de uma usina.

$$FC(\%) = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência Instalada} \times \text{Horas}} \times 100$$

- ▶ **Usinas de Base:** Nuclear e grandes termelétricas operam com FC alto (>80%).
- ▶ **Usinas Hidrelétricas:** Variam muito. Com reservatório, podem ter FC de 50-60%. A fio d'água, depende da vazão do rio.
- ▶ **Usinas Intermitentes:** Eólicas no Brasil têm um FC médio excelente (cerca de 40-50% no Nordeste), enquanto solares têm FC na faixa de 20-30%.

- ▶ **Vimos que:** O Brasil possui um vasto e diversificado potencial de fontes renováveis, que está sendo cada vez mais aproveitado para atender a uma demanda crescente e complexa.
- ▶ **Entendemos que:** O dimensionamento da geração vai além da potência instalada, exigindo uma análise cuidadosa da energia firme e do fator de capacidade de cada fonte para garantir a segurança do sistema.
- ▶ **Próxima Aula:** Vamos aplicar esses conceitos na **Prática 1 - Análise de Demanda**, onde utilizaremos dados reais para construir e interpretar curvas de carga e calcular os principais fatores de dimensionamento.

-  Bacon, V. D. (s.d.[a]). “Nota de Aula - Geração Eólica 02”. Material de referência da disciplina. Baseado no arquivo Nota de Aula - GeracaoEolica - 02.pdf.
-  — (s.d.[b]). “Notas de Aula - Centrais Hidrelétricas”. Material de referência da disciplina. Baseado no arquivo Notas de Aula - CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.pdf.
-  Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2024). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 20 anos*. Baseado no arquivo Anuario20anos.pdf fornecido. Ministério de Minas e Energia. URL: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica-20-anos>.
-  International Energy Agency (IEA) (2024). *World Energy Outlook 2024*. Baseado no arquivo WorldEnergyOutlook2024.pdf fornecido. IEA.