

**1)** De acordo com o planejamento energético para o setor elétrico brasileiro realizado pela EPE, em 2050 o consumo de eletricidade e o PIB per capita do país são estimados em 7000 kWh/hab-anº 34000 US\$/hab-anº.

- Obtenha o PIB e o consumo de eletricidade per capita em 2022.
- Determine a taxa de crescimento anual (%/ano).
- Assuma um comportamento exponencial para o consumo de eletricidade e PIB per capita, conforme a equação abaixo,

$$V(t) = V(2022)e^{\alpha(t-2022)}$$

onde  $V(t)$  representa as duas variáveis,  $V(2022)$  são os valores encontrados no item **a** para cada variável e  $\alpha$  é taxa de crescimento anual, em %/ano. Faça um gráfico de cada uma delas em função do ano entre 2022 e 2050.

**2)** A intensidade elétrica é definida como a razão entre o consumo de eletricidade e o PIB e é interpretada como a quantidade de eletricidade necessária para se obter uma unidade de PIB. Utilizando os resultados do exercício 1, calcule a intensidade elétrica em 2022 e 2050 e discuta os resultados.

**3)** Em novembro de 2020, durante a pandemia, o Amapá passou por um apagão no fornecimento de eletricidade que durou 22 dias. Houve neste período racionamento e rodízio no fornecimento de eletricidade. Este estado e outros da Região Norte são relativamente isolados do fornecimento de eletricidade integrado do SIN (Sistema Interligado Nacional). A partir de dados de fornecimento de energia elétrica, de demanda de energia elétrica nos municípios e de fontes primárias de energia disponíveis nesse Estado discuta possíveis ações e empreendimentos para evitar futuros apagões.

**4)** Determine em kWh/hab/ano a energia elétrica per capita consumida nos países: Argentina, Brasil, Moçambique, Nigéria, Argélia, Egito, Honduras, Costa Rica, França, Portugal, Espanha, Alemanha, Rússia, EUA, Canadá, China, Japão, Índia, Coréia do Sul e Indonésia. Utilize os sites da International Energy Agency, US Energy Information Administration e EPE. Correlacione os resultados com o IDH desses países obtidos para o ano mais recente apresentando um gráfico IDH versus consumo de eletricidade per capita anual, conforme vimos na aula sobre energia e desenvolvimento. Comente esses resultados e verifique se é possível traçar alguma curva (alguma relação matemática entre esses dados).

# Fundamentos de Energia



Prof. Pedro Henrique

Lista de Exercícios #1

Nome: Vinícius dos Passos de Souza  
RA: 21202330859

## Questão 1

(a) Usando como referência a Empresa de Pesquisa Energetica (EPE) tenho o Consumo de eletricidade per capita de 2022 do Brasil

2 362 kWh/hab-ano

Usando o IBGE obtenho o PIB per Capita de 2022 do Brasil

17 270 US\$ /hab-ano

(b)

Ao descrever ambos os indices por meio de juros simples posso dizer que

$$V_F = V_0 \cdot (1+i)^n \rightarrow \text{anos passados}$$

Value Final      Value inicial      Taxa de Crescimento

para calcular taxa podemos tirar a  $n$ -esima Raiz de ambos os lados

$$\Rightarrow \left(\frac{V_F}{V_0}\right)^{\frac{1}{n}} = 1+i \Rightarrow i = \left(\frac{V_F}{V_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Sabendo que em 2050 teremos

Consumo de eletricidade de 7000 kWh/hab-ano

PIB per Capita de 34000 US\$/hab-ano

Assim, substituindo valores obtemos para o consumo de eletricidade

$$i_{\text{consumo}} = 3,7\% \text{ /ano}$$

para o PIB obtemos

$$i_{\text{PIB}} = 2,3\% \text{ /ano}$$

(C)

Agora modelando problema por meio de equações

$$V(t) = V(2022) e^{\alpha(t-2022)}$$

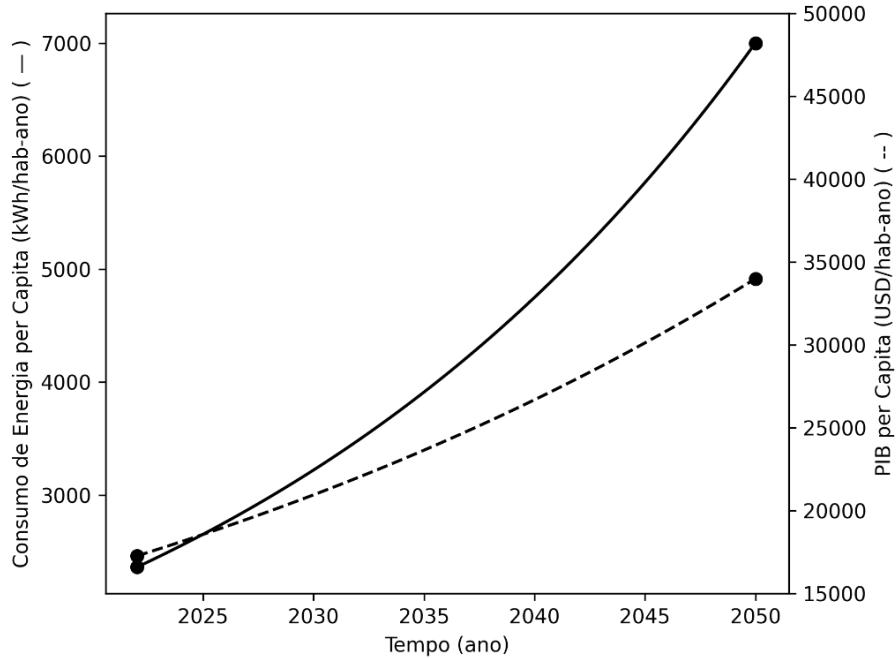
podemos calcular  $\alpha$  para cada caso, tirando  $\ln$  de ambos os lados

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \alpha(t-2022) \Rightarrow \alpha = \frac{1}{t-2022} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

Daqui em diante vamos definir Consumo de eletricidade como  $E$  e PIB como  $P$ . Assim temos

$$\begin{cases} E(t) = E_0 e^{\alpha_E(t-2022)} \rightarrow \alpha_E = 0,0389 \text{ /ano} \approx \underline{\underline{3,9\% /ano}} \\ P(t) = P_0 e^{\alpha_P(t-2022)} \rightarrow \alpha_P = 0,0242 \text{ /ano} \approx \underline{\underline{2,4\% /ano}} \end{cases}$$

Agora que temos todos os valores podemos plotar funções de forma a obter o gráfico abaixo.

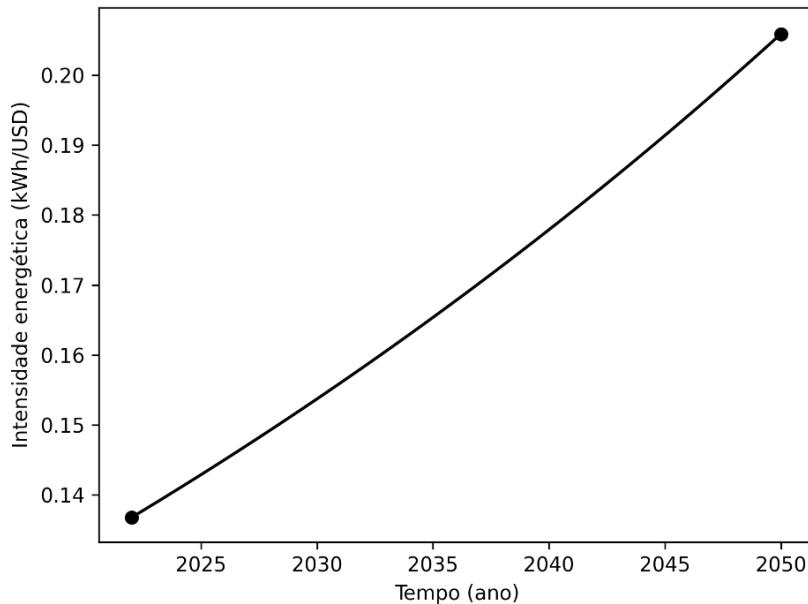


## Questão 2

A intensidade energética é uma quantidade que relaciona o consumo de energia e o PIB por meio da equação

$$I = \frac{E}{P}$$

Assim, posso calcular esse valor para cada ano do gráfico obtido na Questão 1 (c), fornecendo



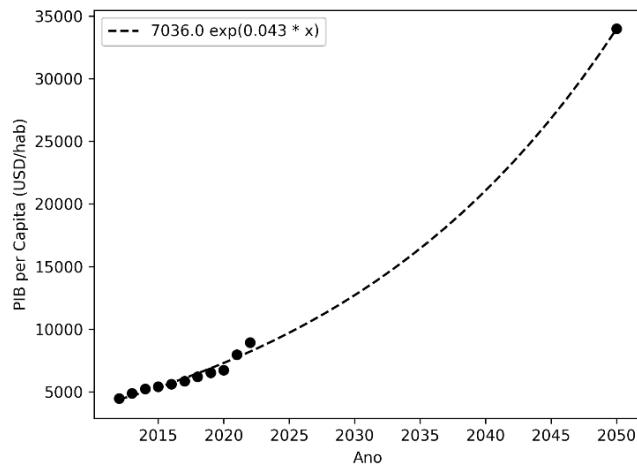
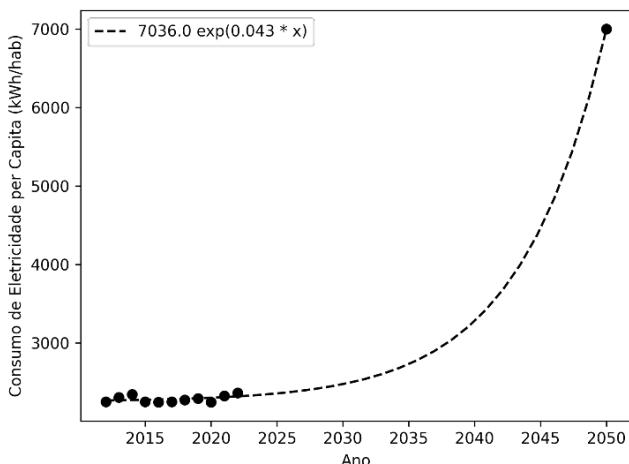
O qual mostra que o Brasil estaria em desenvolvimento, idealmente esperamos que ele chegue em um máximo do qual cairemos pois já atingimos nosso auge de desenvolvimento.

Mas para esse gráfico só usamos 2 pontos, para melhor descrever, peguei dados de PIB per capita do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada e consumo de eletricidade pela EPE.

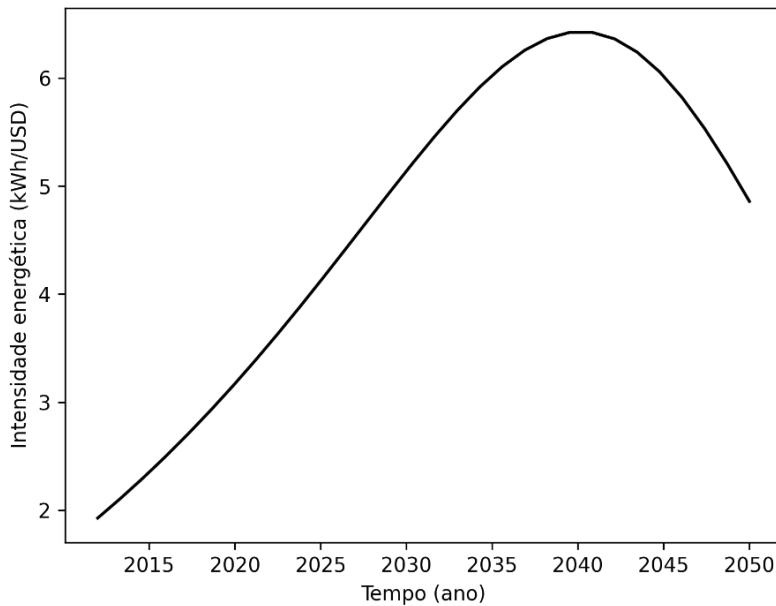
Nos possibilitando obter dados desde 2012, assim descrevendo pontos pela equação

$$y = Ae^{\alpha(t-2012)},$$

Sendo  $A$  e  $\alpha$  constantes que podem ser calculados usando pacote "Scipy. Curve-fit" em python, fornecendo



Com esses dados podemos recalcular a intensidade energética



Nos possibilitando ver o perfil esperado com pico em 2040, representando nosso pico de desenvolvimento.

Questão 3

Tal acontecimento é algo que não se deseja que aconteça mais, para evitar isso podemos tomar várias medidas, como

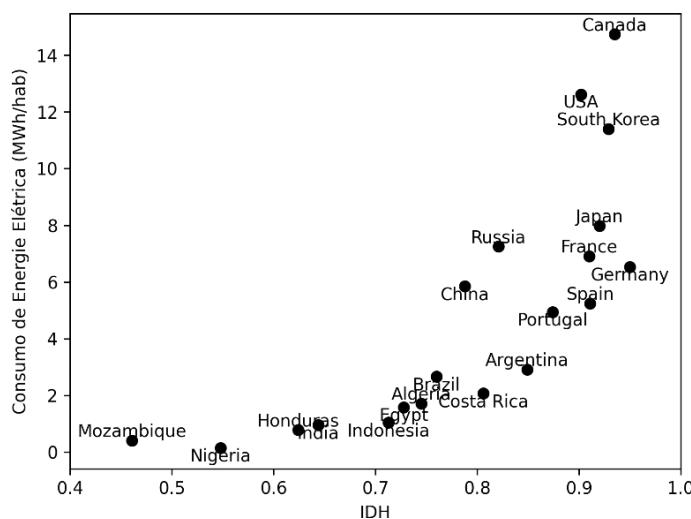
1. Interligar estados do norte com o sistema interligado Nacional (SIN) o que pode ser obtido por meio de investimentos na construção de mais linhas de transmissão de energia. Claro que além da manutenção das redes que já existem.
2. Armazenar Energia para emergência. A Região Norte é famosa por seu uso de energia hidrelétrica a qual é famosa por gerar muita energia e que pode ter energia armazenaada ao guardar água em reservatórios.
3. Melhoria na Regulação das instalações de transmissão e armazenamento da energia de forma que mesmo em situações extremas existam planos de ação que possibilitem rápida ação.

**Questão 4**

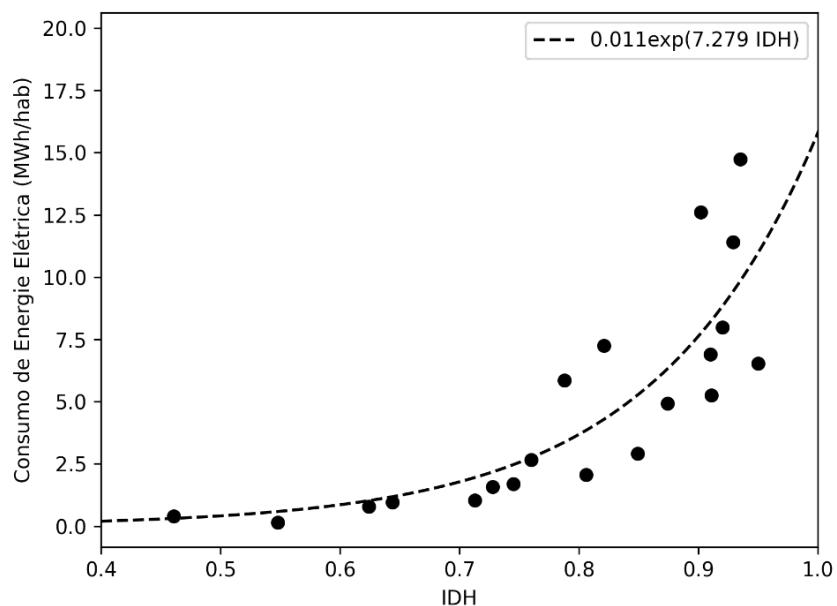
Usando o site da International Energy Agency obtive dados de Consumo de energia elétrica per cápita e do IDH <sup>2012</sup> acessando Human Development Reports. Nos possibilitando obter valores

Pais	IDH	Consumo de Energia Elétrica (MWh/hab)
Argentina	0.849	2.911
Brazil	0.76	2.663
Mozambique	0.461	0.404
Nigeria	0.548	0.144
Algeria	0.745	1.704
Egypt	0.728	1.575
Honduras	0.624	0.781
Costa Rica	0.806	2.07
France	0.91	6.908
Portugal	0.874	4.935
Spain	0.911	5.249
Germany	0.95	6.529
Russia	0.821	7.252
USA	0.902	12.613
Canada	0.935	14.737
China	0.788	5.848
Japan	0.92	7.975
India	0.644	0.956
South Korea	0.929	11.402
Indonesia	0.713	1.04

os quais nos possibilitam ver



Este gráfico nos possibilita ver uma tendência de uma função exponencial, usando o pacote `scipy.optimize` posso mostrar como seria essa associação



Nos fazendo ver a tendência que ao aumentar o IDH temos aumento do consumo de energia elétrica per capita. Mostrando assim que países melhor desenvolvimento humano tendem a ter novas tecnologias que usam mais energia elétrica.



## Fundamentos de Energia

Prof. Pedro Henrique

Lista de Exercícios #1

Todos os códigos estão disponíveis em

[github.com/PassosSouza/Lista1Energia](https://github.com/PassosSouza/Lista1Energia)