

# Matriz Energética Brasileira – Processo de Descarbonização da Indústria

## 1. O Cenário da descarbonização no Brasil

O Brasil é um grande produtor de matéria prima energética e de energia em si. Nosso país passa por um processo gradual de transição energética, abrindo mão aos poucos dos combustíveis fósseis e aderindo a fontes renováveis com baixa e zero emissão de CO<sup>2</sup>. Dentro do amplo debate da transição energética, empresas nacionais e internacionais investem em novas fontes renováveis que oferecem uma maior eficiência atrelada ao baixo custo de produção. Com a necessidade constante de buscar um mercado que seja próspero tanto visando a sustentabilidade quanto a eficiência e economia de produção. Este projeto propõe identificar setores estratégicos dentro do processo de descarbonização da indústria brasileira. A área de atuação em torno da transição energética já é um mercado bem aquecido e que cresce a cada ano, porém é preciso analisar os atores dentro deste campo (novas tecnologias, demanda de produção, forecast, custo de transição, etc.) para concluir qual a melhor forma de inserção e crescimento.

## 2. Processo/Metodologia

O processo de análise foi estruturado partindo de elementos que já são trabalhados pelas empresas de transição energética, organizamos nas seguintes etapas:

- **Definição do Escopo:** Delimitamos o projeto em gerar insights dentro dos setores da indústria brasileira. Optamos por utilizar a temporalidade de 2005 a 2024 por conta da disponibilidade de fonte de dados e da variação do desenvolvimento da indústria. O que nos levou a traçar como objetivo identificar as áreas potenciais dentro do mercado de energias renováveis, especialmente nos setores de descarbonização.
- **Coleta de Dados:** Escolher a fonte de dados da Empresa de Pesquisa Energética possibilitou trabalhar com uma grande confiabilidade de dados. Uma vez que a empresa é referência na planificação dos valores das matrizes energéticas, além de ser uma referência internacional de estudo e desenvolvimento da área. A EPE é administrada pelo Ministério de Minas e Energia
- **Limpeza e Preparação de Dados:** No primeiro momento acessamos o Balanço Energético Nacional (arquivo disponível no site do BEN, que é feito anualmente). Ao observar a possibilidade de utilização desta fonte de dados realizamos o ETL utilizando a biblioteca Pandas, no python. Optamos por esta ferramenta no primeiro momento pela sua escalabilidade.
- **Análise Exploratória:** A partir da exploração inicial foi possível ver a necessidade de ler a documentação do BEN disponível pela própria EPE, pois havia muitos cálculos específicos, e a fonte de dados continha 3 tipos de dados diferentes.
- **Modelagem/Interpretação e Validação:** Com o dataset limpo e o roteiro de modelagem concluído. Foi criado um “datawarehouse” e a partir dele foram extraídas queries

destinadas aos tipos de gráficos presentes no Looker Studio. Trabalhar a partir de queries e agrupamentos possibilita uma maior validação e confiabilidade de dados, uma vez que ele segue um “caminho” e para revisá-lo é só retornar por este caminho

### 3. Fontes de Dados e Informações Suplementares

- **Dados Primários:** Balanco Energético Nacional (BEN 2025) da EPE, incluindo Anexo IX (balanços consolidados em *tep* 1970–2024) e Anexo X (matriz aberta e comercial), fornecendo consumo por setor/fonte (ex.: indústria 31% total, 64,4% renovável).
- **Dados Secundários:** Manual Metodológico do Balanco Energético Nacional (Ed. 2022). Pode ser acessado neste [LINK](#).

### 4. Ferramentas Utilizadas

- **ETL:** Google Colab, utilizando a biblioteca Pandas no python (3.11). Para extração, filtragem e limpeza:

```
import pandas as pd

def combinar_tabelas(dataset):
    excel_file = pd.ExcelFile(dataset)
    nomes_abas = excel_file.sheet_names

    lista_dfs_ano = []
    for nome_abas in nomes_abas:
        print(f"Lendo abas: {nome_abas}")

        df = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=nome_abas)
        df.dropna(how='all', subset=df.columns[1:], inplace=True)
        df['Ano'] = nome_abas
        lista_dfs_ano.append(df)

    df_final = pd.concat(lista_dfs_ano, ignore_index=True)
    return df_final

path_do_arquivo =
'/content/drive/MyDrive/matriz-energetica-brasiliera/balanco_consolidados_2024_2005.xlsx'

df_combinado = combinar_tabelas(path_do_arquivo)

print(df_combinado.head())
```

- **Pré-processamento e modelagem:** Google Sheets, foi criada uma espécie de datawarehouse principal e partir dele, foram feitas novas abas (queries) para carregar. Utilizando funções SQL (contidas no sheets) como groupby, loopings, LET, ARRAYFORMULA, etc:
- **Visualização de dados:** Looker para visualização e exploração de dados. Foram criados alguns campos calculados específicos para retornar valores percentuais, médias, pequenos agrupamentos e queries específicas.

### 5. Insights Principais, Implicações e Recomendações

- **Cenário geral:** Existe uma clara liderança de setores como Alimentos & Bebidas e Papel & Celulose no índice percentual de renovabilidade. Contudo, essa métrica de eficiência

relativa pode mascarar o impacto total das emissões. Setores de escala gigantesca, como o próprio Setor Energético e o de Transportes, mesmo com um índice de renovabilidade menor ou moderado, são responsáveis pelo maior volume *absoluto* de consumo de combustíveis fósseis, representando os maiores desafios para a descarbonização do país.

A estratégia de descarbonização não deve focar apenas em elevar o *percentual* de renovabilidade dos setores, mas sim em reduzir o *consumo absoluto* de combustíveis fósseis nos maiores centros consumidores. Pequenas melhorias percentuais nos setores de maior escala (Energia, Transportes, Siderurgia) resultarão em uma redução de emissões muito mais expressiva para o país do que grandes avanços em nichos industriais que, embora percentualmente "verdes", têm um consumo total inferior. A prioridade deve ser atacar o volume, não apenas a proporção.

**Recomendação:** É importante direcionar uma frente na política nacional de descarbonização, estabelecendo metas vinculantes para a redução do consumo absoluto de combustíveis fósseis nos setores de maior escala (Energia, Transportes, Siderurgia). Direcionar os principais pacotes de incentivos fiscais e investimentos em infraestrutura para estes setores, pois melhorias incrementais neles gerarão o maior impacto na redução total de emissões do país.

- **Da descarbonização:** A responsabilidade pelas emissões de CO<sup>2</sup> é extremamente concentrada. Apenas dois setores, Ferro-Ligas e Têxtil, somam quase 60% das emissões do grupo dos maiores poluidores, caracterizando um clássico cenário de Pareto (Princípio 80/20). Em contraste, o grupo dos menores emissores apresenta uma distribuição muito mais equilibrada, evidenciando uma diversidade de processos e desafios tecnológicos.

Isso significa que os esforços e investimentos para descarbonização industrial podem gerar um impacto desproporcionalmente alto se forem focados de forma intensiva nos setores de Ferro-Ligas e Têxtil. Acelerar a transição para o "aço verde" e novas tecnologias no setor têxtil representa a alavanca mais poderosa para uma redução drástica e rápida das emissões totais. Para os demais setores, uma abordagem mais diversificada e gradual, com incentivos à eficiência e eletrificação, será mais eficaz.

**Recomendação:** Desenvolver um programa de descarbonização de alta prioridade, concentrando recursos e incentivos fiscais nos setores de Ferro-Ligas e Têxtil. Acelerar a viabilização de projetos de "aço verde" e a modernização tecnológica da indústria têxtil, tratando-os como missões estratégicas para um impacto rápido e significativo nas metas climáticas do país.

- **A experiência da indústria cimenteira:** A indústria de cimento vive um "paradoxo do consumo": enquanto se torna uma referência global em eficiência, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida, o crescimento contínuo da produção nacional anula parte desses ganhos. O gráfico ilustra isso ao mostrar que, após uma queda pós-2014, o consumo total de energia se estabilizou em um platô, em vez de continuar em uma trajetória de queda acentuada, pois o aumento do volume de produção compete diretamente com os avanços da eficiência.

**Recomendação:** Fomentar programas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e direcionar investimentos para projetos-piloto focados na substituição do coque de petróleo. Priorizar o desenvolvimento de alternativas de energia térmica de alta temperatura, como biomassa sustentável, combustíveis sintéticos e hidrogênio verde, para superar o principal gargalo tecnológico da descarbonização do setor cimenteiro.