

ECONOMIA DA ENERGIA: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A INDÚSTRIA DE ENERGIA BRASILEIRA E A ELECTRIC RELIABILITY COUNCIL OF TEXAS ENERGY ECONOMICS: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE BRAZILIAN ENERGY INDUSTRY AND THE ELECTRIC RELIABILITY COUNCIL OF TEXAS

Estevão Geraldo Alvaro Braz ¹
André Luiz da Conceição ²

RESUMO: A Economia da Energia é uma disciplina fundamental ao planejamento energético de países que objetivam a eficiência dos recursos naturais, garantindo a satisfação e necessidade de seus consumidores locais. Dessa forma, países como o Brasil e os Estados Unidos têm preservado mercados de eletricidade competitivos e com características particulares de uma indústria de energia. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma comparação quali-quantitativa com interesse acadêmico de dimensionar as singularidades desses mercados de eletricidade. Por meio da abordagem *Energy data Science*, da linguagem de programação R e do IDE RStudio, identificou-se que, mesmo a capacidade instalada brasileira sendo inferior à norte-americana, a soma da geração por submercado nacional supera a geração da interconexão do Texas, no período analisado.

Palavras-chave: Eficiência energética; Matriz energética; Mercado de eletricidade; Políticas energéticas.

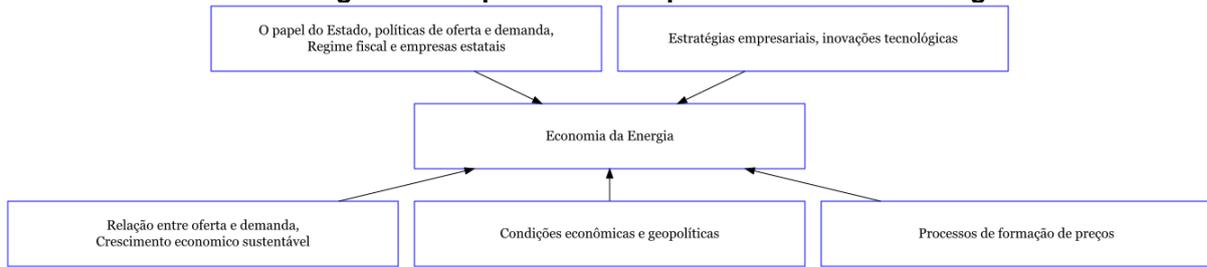
ABSTRACT: Energy Economics is a fundamental discipline for energy planning in countries that aim to achieve the efficiency of natural resources, ensuring the satisfaction of the needs of their local consumers. In this way, countries like Brazil and the United States have preserved competitive electricity markets with particular characteristics of an energy industry. The present work aimed to present a qualitative-quantitative comparison in the academic interest of measuring the singularities of these electricity markets. Using the Energy data science approach through the R programming language and the RStudio IDE, it was identified that even though Brazilian installed capacity is lower than that of North America, the sum of generation per national Submarket exceeds the generation of the Texas interconnection in the period analyzed.

Keywords: Electricity market; Energy efficiency; Energy savings; Energy policies. Energy matrix.

1 INTRODUÇÃO

Em um contexto que o desenvolvimento econômico deita suas raízes em um pressuposto de planejamento energético diversificado e visando a otimização das matrizes energéticas nacionais, a economia da energia enquanto disciplina acadêmica corrobora nesse objetivo. Para Pinto, Almeida, Bomtempo, Iooty e Bicalho (2009), a economia de energia é a área de estudo que investiga as relações econômicas entre as empresas de energia, os Estados nacionais e os consumidores, mas tendo como plano de fundo, cinco temas que em última análise, qualificam a disciplina enquanto tal, conforme figura a seguir (Figura 1):

Figura 1 - Esquema da disciplina Economia da Energia



Fonte: Adaptado de Pinto, Almeida, Bomtempo, lootty e Bicalho (2009).

Nesse sentido, pode-se dizer que a economia da energia ajusta uma pluralidade de temas que consubstanciam-se na interpretação dos recursos energéticos sob à luz da dinâmica social, enfocando o equilíbrio entre o uso dos recursos naturais e a satisfação das necessidades humanas. Dessa forma, Goldemberg e Lucon (2012) aduzem que um dos fatores que deslocam esse equilíbrio remonta à disparidade nos padrões de consumo da sociedade, sendo uma variável determinante a renda dos diferentes estratos sociais que podem determinar o acesso, o consumo final e a curva de demanda por energéticos. Com efeito, posto que o acesso à energia também pressupõe fatores fundamentais, entre os quais a manutenção de uma via física que leva o fluxo energético até o consumidor final e um método de tarifação que congregue o menor preço ao consumidor (Campos; Brito; Martins, 2021) com a remuneração dos empreendimentos das empresas de serviços de transmissão e distribuição de energia, pode-se acrescentar que a não trivialidade representada pela dimensão física e tarifária da economia da energia a coloca como imprescindível para se trilhar um caminho em direção à sustentabilidade e eficiência no uso da energia pelo mundo.

Dessa forma, para Balestieri (2018), o progresso da sociedade sempre será norteado pelo uso da energia e, por conseguinte, o domínio sobre os diferentes recursos para a geração de eletricidade que identifica-se à variabilidade da matriz energética disponível para a manutenção da segurança energética das nações.

2 METODOLOGIA

A coleta dos dados partiu da prospecção de bases livres de agências nacionais e internacionais de energia. A título de exemplo, foram ao longo do presente trabalho consultadas as bases da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Operador

Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024) e da U.S Energy Information Administration (E.I.A, 2024).

Com efeito, a busca orientou-se segundo os itens listados a seguir:

- a. Regiões geoeletricas segundo a denominação corrente no Setor Elétrico Brasileiro (SEB), isto é, Sudeste/Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sul;
- b. Capacidade instalada por país em megawatt (MW) do anuário estatístico da EPE, ano de referência 2024 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2024);
- c. Valor verificado de geração em *megawatt* médios diários (*MWmed*) por Submercado a partir do balanço energético de 2024 calculado pelo OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (2024);
- d. Geração de energia por fontes eólica, solar, hidráulica e geração a gás em MW no mercado atacadista norte-americano do Electric *Reliability Council of Texas* (ERCOT) consultado a partir da base de dados do U.S *Energy Information Administration* (2024).

Desta feita, para as etapas de seleção dos dados, análise das variáveis selecionadas e elaboração dos gráficos utilizou-se do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE da sigla em inglês *Environment Integrated Development*) *Rstudio* por meio da linguagem de programação R. A escolha por essa linguagem de programação estatística decorre das facilidades que ela possibilita na execução de análises sofisticadas em um conjunto bruto de dados. Com relação à eleição do *IDE RStudio*, pode-se elencar o fato que este ambiente altamente customizável com diferentes pacotes (*packages*) garante a melhor integralidade na operação dos códigos e boa evolução nas etapas de seleção e visualização dos gráficos obtidos por meio do pacote *ggplot2*.

Considera-se também que o presente trabalho tem o objetivo de filiar-se à linha de pesquisa entendida por Post (2023) como *Energy data science* cuja relevância encontra eco na afirmação que o mesmo faz subscrevendo que “a utilização de dados dentro da indústria de energia transcende a simples manutenção de informações de registros. Isso incorpora um ecossistema que permeia a geração, a transmissão e o consumo” (Post, 2023, p.15, tradução nossa)¹.

¹ “The utilisation of data within the energy industry transcends simple record-keeping. it embodies a comprehensive ecosystem encompassing generation, transmission, distribution, and consumption it embodies a comprehensive ecosystem encompassing ” (Post, 2023, p.15).

Por fim, o presente trabalho baseou-se no método quali-quantitativo, pois, segundo Paschoarelli, Medola e Bonfim (2015), assegurará maior reprodução, permitindo generalizações e indo ao encontro do objeto defensável que subjaz às análises.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A INDÚSTRIA E O MERCADO DE ELETRICIDADE

Segundo Schor (2018), a indústria de eletricidade sustenta-se sobre quatro atividades bem distintas, cujo ponto de similitude está na satisfação das necessidades dos consumidores finais. Assim, a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização de energia não encontram óbices entre os diferentes mercados de eletricidade pelo mundo. Para Mayo (2021), a característica fundamental deste tipo de mercado decorre da variabilidade entre suprimento e demanda de eletricidade, fazendo com que o preço da energia elétrica sofra alterações horárias que fogem à previsão daqueles que operam este mercado.

Logo, esta volatilidade dos preços da energia refletem a sazonalidade pluviométrica de países com forte dependência hídrica, como nos casos do Brasil, Colômbia e Escandinávia (IBIDEM), ou a inserção de fontes renováveis na matriz elétrica, respondendo ao pico de geração com a diminuição dos preços nos mercados de eletricidade, por exemplo. Ponto de atenção é a precificação da energia em diferentes economias, carrega o registro do tipo de matriz energética predominante em cada país como, por exemplo, no caso da Grã-Bretanha que, segundo Campos, Brito e Martins (2021), orientou-se por um modelo do tipo *self-dispatch* motivado pela predominância de usinas à combustível fóssil e nuclear em fase final de vida útil e por pressões externas à inserção de fontes primárias renováveis (Castro *et al.*, 2014).

A essa singularidade acrescenta-se a não estocabilidade da eletricidade enquanto *commodity*, fazendo com que o mercado de energia elétrica não se assemelhe a um mercado típico, pois nos mercados tradicionais o armazenamento do excedente corrobora a atenuação da volatilidade dos preços (Mayo, 2021). Sendo que o mercado de eletricidade é peculiar em seu arcabouço de autorregulação, interessa compreendê-lo para que por meio de um estudo comparativo entre a matriz energética dos países, possa-se chegar a uma maior inteligibilidade de sua estruturação indo ao

encontro à eficiência dos métodos de contratação de energia, em ambientes de negociação.

3.2 A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA

O Brasil, desde o processo de desverticalização, tem progredido em direção a um mercado de eletricidade em sentido estrito. Dado às características territoriais, necessitou-se de uma malha de transmissão (*grid*), que permitisse integrar as diferentes regiões geoeletricas ao parque de geração, cujo despacho centralizado em um único agente institucional garantiria² o funcionamento ótimo do parque de usinas (Campos, Brito, Martins, 2021). No entanto, a infraestrutura do Sistema Interligado Nacional (SIN), não o manteve ao abrigo de intempéries que convergiram no fortalecimento dos agentes institucionais do SEB.

Para Polito, Mayon e Parodi (2018), as crises de 2001 e 2002 motivaram o racionamento de energia elétrica entre os consumidores, que posteriormente não resgataram o mesmo padrão de consumo de outrora. Com efeito, o excedente de energia elétrica resultou em uma onda migratória de grandes consumidores potenciais para o mercado desregulado. Nesse sentido, pode-se considerar que uma das variáveis que motivam a dinâmica do mercado de eletricidade brasileiro é a vulnerabilidade da própria indústria de energia nacional, que opera em um regime dual de contratação de energia.

Campos, Brito e Martins (2021), chamam de modelo híbrido brasileiro, essa sistemática de aquisição de energia elétrica, que envolve, por um lado, a livre negociação de energia entre os agentes econômicos do setor, que constituem a categoria de comercialização de energia como, por exemplo, consumidores livres, consumidores especiais e companhias comercializadoras que integram o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Por outro lado, tem-se o Ambiente de Contratação Regulado (ACR), cuja característica principal é ser um certame na forma de um leilão público em que participam do lado da oferta uma pluralidade de agentes comercializadores, que negociam o lastro comercial de geração das usinas com as

² No caso brasileiro, o agente institucional com a prerrogativa de despacho do parque hidrotérmico nacional é o ONS que atua no cálculo do Custo Marginal Operacional e na deliberação da geração do parque de usinas (Tolmasquim, 2015).

distribuidoras, na forma de um único comprador ou também, conhecido na literatura por monopsônio (IBIDEM).

Posto que, esses dois ambientes, são díspares em relação a publicização dos contratos e caracterizam-se na satisfação da tríade preconizada pelo SEB, a saber a universalização do acesso, a segurança do suprimento à demanda e a modicidade tarifária, é lícito ressaltar que o processo de liberalização do mercado desregulado para todos os consumidores potenciais do grupo A é uma passagem natural prevista de antemão pelo Brasil e de inspiração britânica, já que, conforme Schor (2018), a Grã-Bretanha teve o pioneirismo em promover a liberdade de contratação de energia entre seus usuários de eletricidade.

Posto isso, ver-se-à indústria de eletricidade norte-americana que, conforme Jannuzzi (2000), dada a capacidade instalada muito maior que a do Brasil, tem um pressuposto regulatório com consequências proporcionais ao dinamismo de sua matriz energética com importantes resultados à economia da energia.

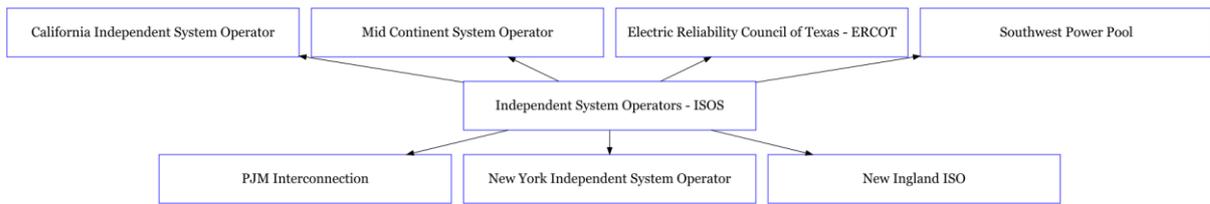
3.3 A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA NORTE-AMERICANA

O processo de reformas do setor elétrico norte-americano tem a singularidade de ser circunscrito aos diferentes Estados que integram o país. Assim a estruturação dos modelos, deste setor, ocorreu de maneira fragmentária tendo como premissa a passagem de um desenho de mercado regulado pelo Estado, para um modelo permeável à livre competição entre geradoras e distribuidoras, cujos preços são influenciados pelas leis da oferta e demanda (IBIDEM).

Outrossim, para Mayo (2021), os Estados Unidos não possuem um mercado atacadista de energia em sentido estrito, mas um mercado de eletricidade regional cujas regras mudam, conforme o Estado em que se comercializa a energia. Com efeito, tal como as regiões geoeletricas brasileiras, o setor elétrico norte-americano é decomponível em três interconexões que, segundo IBIDEM, são interconexão do Texas, do Leste e do Oeste. Amealhado a isso, tem-se uma entidade que é responsável pela operacionalização dessas interconexões, que é o Operador Independente do Sistema (ou *Independent System Operators - ISOS*).

Conseqüentemente, esses mercados regionais de energia são coordenados pelo ISOS e classificam-se conforme esquema a seguir (Figura 2).

Figura 2 - Mercados regionais de energia norte-americanos



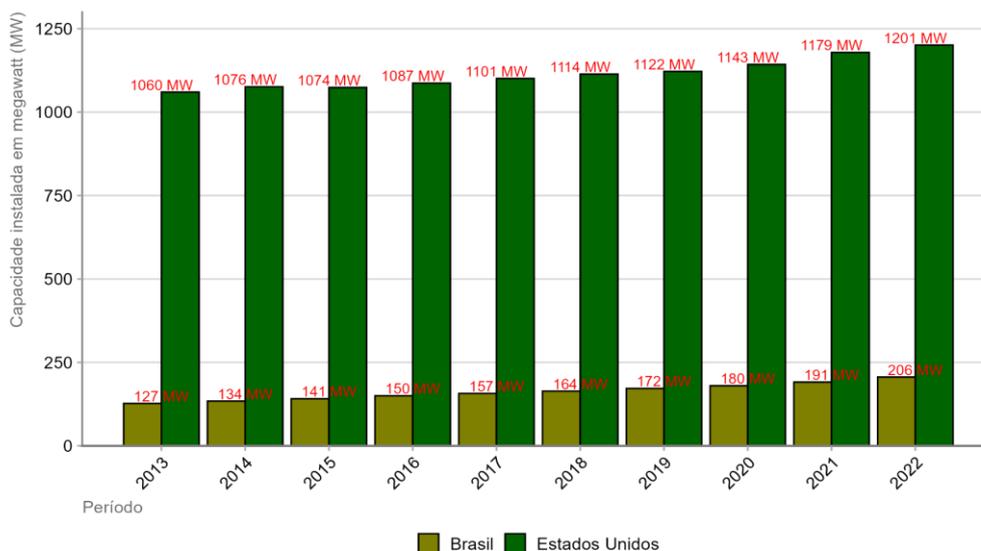
Fonte: Adaptado de Mayo (2021)

Posto isso, o objetivo primário do presente trabalho foi empreender um cotejo qualitativo e quantitativo entre o mercado de eletricidade brasileiro e o mercado de eletricidade norte-americano, mas empreendendo uma análise do mercado regional ERCOT. Como os demais mercados regionais não correspondem ao presente escopo do trabalho, sugere-se ver Mayo (2021), Januzzi (2000) e Campos, Brito e Martins (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em uma perspectiva, a partir da capacidade instalada do Brasil no período de 2013 a 2022, pôde-se identificar um aumento da capacidade de geração nacional com um total aproximado de 206 mw no ano de 2022, conforme dados do anuário estatístico da EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2024) e ilustrado na figura a seguir (Figura 3):

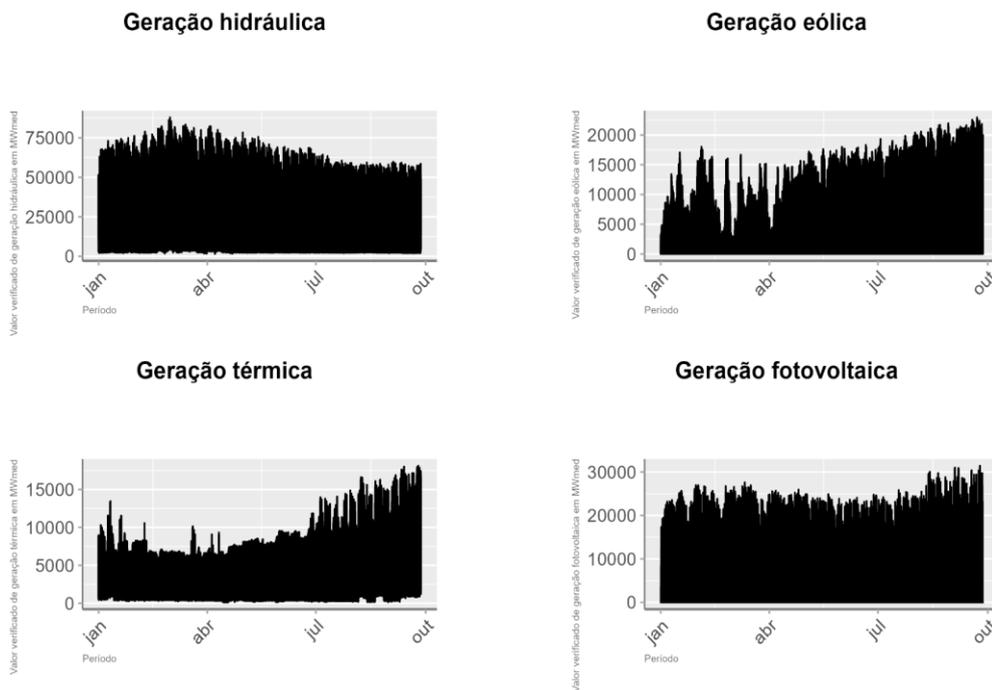
Figura 3 - Capacidade instalada brasileira no período 2013 - 2022



Fonte: Adaptado da EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2024

Contudo, para o ano de 2024, quando se resgata os dados da geração de energia no repositório do OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (2024), tem-se um panorama geral do balanço energético verificado por fonte, conforme figura a seguir (Figura 4):

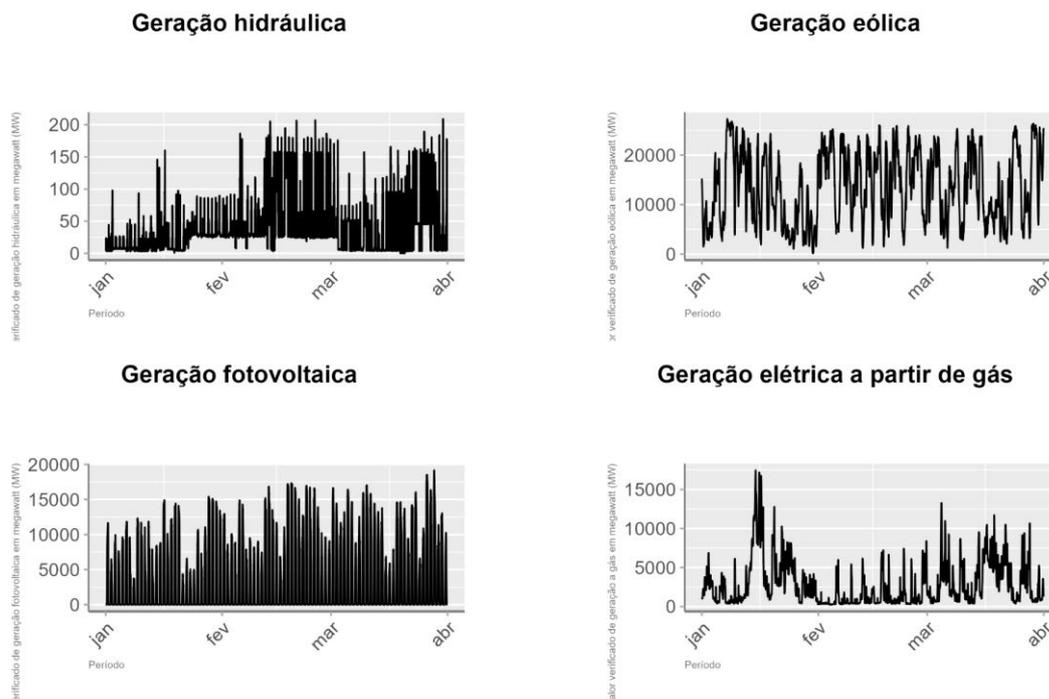
Figura 4 - Balanço energético nos Subsistemas em 2024



Fonte: Adaptado do OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (2024)

No entanto, para cotejar o cenário norte-americano de geração de energia obtendo uma dimensão de como o mercado de energia elétrica americano ajusta-se aos diferentes tipos de fontes primárias, sejam elas renováveis ou convencionais, pode-se representar a partir dos dados da agência U.S *Energy Information Administration* (2024) os resultados a seguir, de acordo com a figura que se segue (Figura 5):

Figura 5 - Balanço energético no ERCOT em 2024



Fonte: Adaptado de U.S Energy Information Administration (2024)

Considerando os casos particulares devido à soma dos dados de geração por submercado brasileiro, vê-se que comparado à geração da interconexão representada pela *ERCOT* norte-americana, entre os meses de janeiro a abril, o Brasil tem uma infraestrutura superior quanto à geração de eletricidade, cujas fontes primárias sejam solar, eólica ou fotovoltaica. No caso de fontes hidráulicas, dado a predominância da hidroenergia na matriz nacional, esperava-se a subscrição dos dados apresentados, anteriormente, acerca desse energético.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notável que o conteúdo apresentado configura um recorte do potencial nacional para a geração de energia. No entanto, o mercado de eletricidade brasileiro caminha para um processo de liberalização do consumo para todos os usuários de eletricidade, com os impactos desta migração para o ACL ainda sendo avaliados pelos especialistas do SEB, no intuito de dimensionar os efeitos sobre a indústria de energia nacional.

Outrossim, o interesse pela geração distribuída tem aumentado entre os agentes de comercialização, sendo outro aspecto a ser estudado no processo de

repercussão sobre o ACR. Com efeito, indubitável é, que o cotejo empreendido até este momento evidencia as potencialidades nacionais frente às interconexões norte-americanas, tendo impactos consideráveis no estudo comparativo entre os diferentes mercados de eletricidade pelo mundo.

Por fim, espera-se que o presente artigo tenha corroborado no estudo da economia da energia e endossado sua importância, enquanto via para tornar mais inteligível os mercados de eletricidade pelo mundo. De igual maneira, que possa também servir de conteúdo consultivo para se empreender outras análises com outros submercados nacionais e estrangeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALESTIERI, J. **Geração de energia sustentável**. Editora Unesp. 2018.

CAMPOS, A. BRITO, M. MARTINS, C. **Mercado atacadista de energia elétrica: formação de preço e contribuições para o aperfeiçoamento do setor**. 1 ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2021.

CASTRO, N. BRANDÃO, R. HUBER, N. DANTAS, G. ROSENTAL, R. **A formação do preço da energia elétrica: experiências internacionais e o modelo brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. 68 p. (TDSE : texto de discussão do setor elétrico ; n. 62). Disponível em: <<https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/168361>>. Acesso em: 01 set. 2024.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2024). **Anuário estatístico**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 12 set. 2024.

GOLDEMBERG, J. LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3ª edição revista e ampliada, 2ª reimpressão. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2012.

JANUZZI, G. **Políticas Públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: Uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil**. Campinas, SP: Autores Associados, 2000.

MAYO, R. **Mercado de eletricidade**. 2 ed. Revista e Ampliada. Rio de Janeiro: Synergia, 2021.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). 2024. *Dados abertos*. Disponível em: <<https://dados.ons.org.br>>. Acesso em: 14 set. 2024.

PASCHOARELLI, L. MEDOLA, F. BONFIM, G. Características qualitativas, quantitativas e quali-quantitativas de abordagem científicas: estudos de caso na

subárea do Design Ergonômico. **Revista de Design, Tecnologia e Sociedade**, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/design-tecnologia-sociedade/article/view/15699>>. Acesso em: 14 set. 2024.

PINTO, J. ALMEIDA, E. BOMTEMPO, J. IOOTTY, M. BICALHO, R. **Economia da energia: Fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 9ª reimpressão.

POLITO, R. MAYON, P. PARODI, M. **Setor elétrico brasileiro**. 2012 - 2018: Resiliência ou transição? Rio de Janeiro: Synergia, 2018.

POST, H. **Energy data science: A data driven approach to energy: A comprehensive guide to data science in the energy sector**. (p.15). Reactive Publishing; 3ª edition, 2023.

SCHOR, J. **Abertura do mercado livre de energia elétrica: Vantagens e possibilidades do *retail wheeling* no Brasil**. Rio de Janeiro. Synergia: FGV Energia, 2018.

TOLMASQUIM, M. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro**. 2 ed. Revista e Ampliada. Rio de Janeiro: Synergia/EPE, 2015.

U.S Energy Information Administration (E.I.A). (2024). *EIA collected from ERCOT*. Disponível em: <<https://www.eia.gov/electricity/wholesalemarkets/data.php?rto=ercot>>. Acesso em: 17 set. 2024.