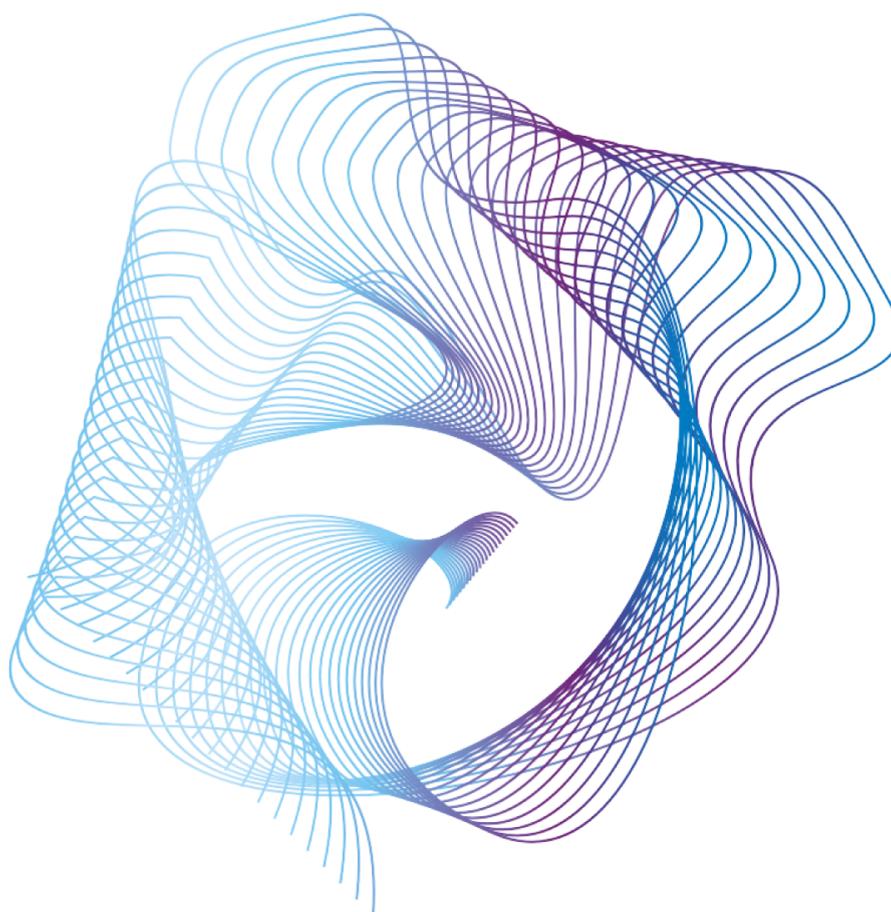


# Anais do I Seminário Interdisciplinar de Energia

## A interdisciplinaridade na pesquisa energética

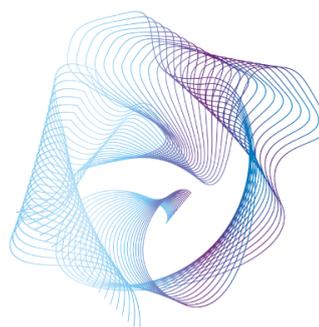


### **Comissão Organizadora**

Igor Cordeiro  
Mariana Barbosa  
Mariana Ciotta  
Raiana Schirmer  
Romário Carvalho

# I Seminário Interdisciplinar de Energia

25 e 26 de novembro de 2021



A interdisciplinaridade na pesquisa energética



## **Comissão Organizadora**

Igor Cordeiro  
Mariana Barbosa  
Mariana Ciotta  
Raiana Schirmer  
Romário Carvalho

©2022 IEE-USP

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Seminário Interdisciplinar de Energia. (1: 2022: São Paulo.)  
I Seminário Interdisciplinar de Energia. Anais. SINERG.  
A interdisciplinaridade na pesquisa energética. [recurso eletrônico] /  
organizadores Igor Cordeiro; Mariana Barbosa; Mariana Ciotta; Raiana  
Schirmer e Romário Carvalho – São Paulo: IEE-USP, 2022.  
162p

1. Energia. 2. Planejamento energético. 3. Eficiência energética.  
4. Interdisciplinaridade. 5. Recursos energéticos. I. Cordeiro, Igor. II.  
Barbosa, Mariana. III. Ciotta, Mariana. IV. Schirmer, Raiana. V. Carvalho,  
Romário.  
VI. Título.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

ISBN: 978-65-88109-12-0



## **Equipe**

### **Comissão organizadora**

Igor Cordeiro

Mariana Barbosa

Mariana Ciotta

Raiana Schirmer

Romário Carvalho

### **Organização dos anais**

Mariana Ciotta

### **Projeto gráfico e diagramação**

Mariana Ciotta

Theo Teixeira

### **Comissão científica**

Drielli Peyerl

Gilberto Figueiredo

Raíssa Mussara

Saulo Oliveira

### **Palestrantes**

Prof. Dr. Alexandre Piantini

Prof. Dr. Célio Bermann

Prof. Dr. Ildo Sauer

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lucy Gomes Sant'Anna

Prof. Dr. Roberto Zilles

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suani Coelho

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Virginia Parente

## **Autores dos trabalhos publicados nestes anais**

André dos Santos Alonso Pereira	Karen Kristensen Medaglia Motta
Brenda Silveira	Mariana Ciotta
Carlos Eduardo Mendes do Carmo Pedro Pereira de Paula	Marina de Santana Souza
Colombo Celso Gaeta Tassinari	Matheus Ciotta
Danilo Ferreira de Souza	Nicole Moutinho Monteiro
Demetrio Cornilios Zachariadis	Nilton Bispo Amado
Edmilson Moutinho Dos Santos	Paola Mercadante Petry
Érica Machado da Silva Guerreiro	Raiana Schirmer Soares
Fernando Ramos Martins	Reginaldo Arakaki
Gabriel Lobato Cardoso	Rodrigo Mota Rodi
Gabriel Santiago de Arruda	Romário de Carvalho Nunes
Hélio Tatizawa	Romeo Bulla Jr
Hirdan Costa	Ronan Cleber Contrera
Igor Barbieri Cordeiro	Sergio Roberto Santos
Isabella de Fátima Santos de Miranda	Sílvio Joaquim de Santana
João Marcos Mott Pavanelli	Victor Hayashi
Júlia de Oliveira Gonzales	Yan Felipe de Oliveira Cavalcante

## **Apresentação**

O I SINERG – Seminário Interdisciplinar de Energia – foi pensado e realizado por estudantes de pós-graduação do Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGE) do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). O evento ocorreu em formato remoto nos dias 25 e 26 de novembro de 2021.

A primeira versão do evento teve como propósito abrir espaço para um diálogo interdisciplinar no universo da energia, buscando promover a integração entre os discentes e docentes do PPGE e também demais interessados que participaram de nosso evento. Considerando o contexto pandêmico do país, a reunião se deu de modo virtual, utilizando a plataforma StreamYard e sendo apresentada ao vivo no canal do YouTube do IEE.

O I SINERG contou com três linhas principais de integração de pesquisas:

1. Tecnologias da Energia;
2. Planejamento Energético;
3. ESG (Ambiental, social e governança).

Estes anais reúnem os 22 artigos que foram apresentados nos formatos oral e pôster ao longo do I SINERG. Durante o evento, a presença de professores e pesquisadores de áreas diversas possibilitou um momento importante de trocas, promovendo o debate epistemológico sobre o fazer científico. Buscamos apresentar uma visão crítica da ciência, lembrando sua própria natureza não dogmática, que se baseia não em verdades absolutas e sim em constante questionamento.

Esperamos que apreciem a leitura desses anais e que os mesmos instiguem boas reflexões e debates na temática energética. Nos vemos no II SINERG.

**Mariana Ciotta**

**Comissão Organizadora do I SINERG**

## Prefácio

A área de Energia é de fundamental importância e seguramente um dos temas prioritários no cenário mundial, e é neste contexto que se insere o Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGE) do IEE/USP. O PPGE desenvolve uma abordagem das questões energéticas com visão interdisciplinar, global e integrada, formando pesquisadores altamente qualificados para atuar em atividades de pesquisa científica e contribuir para o desenvolvimento sustentável e a construção de soluções para as necessidades da Sociedade em questões relacionadas à disponibilidade, produção, qualidade, usos e efeitos da energia.

Desse modo, foi com grande satisfação que acompanhei a iniciativa dos estudantes do Programa de organizar o I SINERG com o objetivo de ampliar o espaço para o debate acadêmico interdisciplinar no campo da energia. Participei de algumas reuniões com a Comissão Organizadora e senti o entusiasmo e a determinação de todos em materializar a ideia.

A proposta foi muito bem acolhida pela Diretoria do IEE e pelos professores do Programa, que ministraram 7 palestras no evento. Houve 26 submissões de resumos expandidos, dos quais 22 foram apresentados por estudantes de Mestrado e de Doutorado. Destes, 19 foram trabalhos de estudantes da USP e 3 de outras instituições.

A organização de um evento como esse se constitui em um grande desafio, especialmente por se tratar da primeira edição. Há uma série de detalhes que precisam ser observados e dificuldades a serem contornadas, ainda mais em uma época de pandemia. Não obstante, o evento transcorreu muito tranquilamente e o expressivo número de visualizações – 508 no primeiro dia e 318 no segundo – é um dos indicadores do sucesso da iniciativa.

Assim, em nome da Comissão Coordenadora do PPGE, parabéns aos estudantes e pós-doutorandos das comissões Organizadora e Científica e a todos que se envolveram direta ou indiretamente na organização do evento, como as equipes de Comunicação, da Biblioteca e de Tecnologia da Informação do IEE. O esforço e o comprometimento foram certamente recompensados pelo sucesso do I SINERG, que atingiu plenamente a meta proposta. Acredito que os resultados alcançados proporcionarão a motivação necessária para que a iniciativa prospere e o SINERG se torne um evento regular.

Parabéns a todos

**Prof. Dr. Alexandre Piantini**

**Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE**

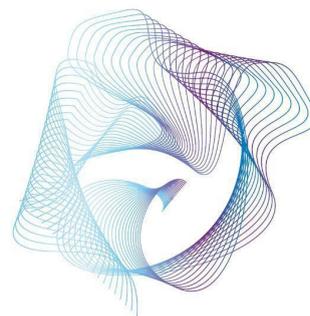
**Instituto de Energia e Ambiente - IEE/USP**

## SUMÁRIO

<b>As novas tecnologias de motores elétricos como estratégia de eficiência energética no Brasil utilizando planejamento integrado de recursos energéticos</b>	<b>9</b>
<b>O Pré-Sal e o Atlântico Sul: Inserção brasileira no mercado global de petróleo e suas implicações geopolíticas no contexto de transição energética</b>	<b>16</b>
<b>Expectativas sobre o Novo Mercado de Gás no Brasil</b>	<b>22</b>
<b>Células Combustíveis Microbianas: Uma solução para o tratamento sustentável de águas residuais e chorume com geração de energia elétrica</b>	<b>28</b>
<b>Edifícios residenciais e conforto térmico por condicionadores de ar: Estudo de caso no Norte do Brasil, Belém/PA.</b>	<b>36</b>
<b>Estrutura de Mercado de Veículos Elétricos no Brasil</b>	<b>43</b>
<b>O Efeito das Descargas Atmosféricas nos Sistemas de Geração Solar Fotovoltaica e Eólica</b>	<b>53</b>
<b>Sistema de Recomendação para Conscientização Energética</b>	<b>59</b>
<b>A regulação dos títulos verdes para projetos de geração renovável de energia elétrica no Brasil</b>	<b>65</b>
<b>Potencial de otimização da produção de biogás a partir da codigestão de resíduos orgânicos com glicerina</b>	<b>77</b>
<b>Análise do Cbio como passo inicial ao desenvolvimento de BECCS no Brasil</b>	<b>83</b>
<b>A abordagem das questões energo-climáticas pela perspectiva geológica</b>	<b>87</b>
<b>Perspectivas para a geração termelétrica a gás natural na Amazônia</b>	<b>91</b>
<b>O potencial para gás natural não convencional na Amazônia</b>	<b>97</b>
<b>Uma dimensão oculta da pobreza energética no Brasil revelada pela Covid 19: o acesso a tecnologias da informação</b>	<b>103</b>
<b>CCS: Mapeando Riscos Associados ao Armazenamento</b>	<b>108</b>
<b>Contribuição de Capacidade da Geração Fotovoltaica para a Expansão da Oferta Centralizada de Energia Elétrica</b>	<b>115</b>
<b>Avaliação de atendimento de energia do subsistema sul</b>	<b>120</b>
<b>Aspectos de Simulação e Ensaio de um Motor de Relutância Chaveado 6x4</b>	<b>129</b>
<b>Estudo do desempenho de sistemas fotovoltaicos operando em área costeira: estudo de caso na Baixada Santista</b>	<b>140</b>
<b>Energia e Crematística: O Papel dos Estoques Fósseis</b>	<b>149</b>
<b>O Brasil trabalha para ampliar a produção de energia renovável?</b>	<b>155</b>

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## **As novas tecnologias de motores elétricos como estratégia de eficiência energética no Brasil utilizando planejamento integrado de recursos energéticos**

Danilo Ferreira de Souza <sup>1\*</sup>, Hédio Tatizawa <sup>2</sup>

1 Danilo Ferreira de Souza – Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP).

2 Hédio Tatizawa – Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP).

\*Autor para correspondência, E-mail: danilo.ferreira.souza@hotmail.com

**Resumo:** Os motores elétricos, são os Recursos Energéticos do Lado da Demanda (RELD) mais presentes no sistema elétrico brasileiro, demandando 68% da energia elétrica consumida no setor. Os motores brasileiros menos eficientes classe IE1 estão chegando no final da vida útil e já existem no mercado motores elétricos classe IE4 e IE5. Assim, este trabalho simula um programa de troca de motores elétricos IE1 por motores elétricos IE4 para o cenário brasileiro. Neste estudo simulou-se a substituição de 48.000 motores elétricos 100 CV com velocidade de 4 polos em três cenários, i) cenário otimista com a substituição de 60% deste parque, onde seriam evitados 6.368,14 GWh/ano de energia gerada no contexto do Planejamento Integrado dos Recursos Energéticos (PIR), ii) cenário realista com substituição de 40% deste parque, onde seriam evitados 4.245,42 GWh/ano no contexto do PIR e iii) cenário pessimista com substituição de 20% deste parque, onde seriam evitados 2.122,71 GWh/ano.

**Palavras chave:** Planejamento Integrado de Recursos Energéticos, Motores Elétricos, MEPS, Eficiência Energética.

**Abstract:** *Electric motors are the Demand Side Energy Resources (RELD) most present in the Brazilian electrical system, requiring 68% of the electricity consumed in the sector. The less efficient Brazilian IE1 class motors are reaching the end of their useful life and already exist on the market IE4 and IE5 class electric motors. Thus, this work simulates a program to exchange IE1 electric motors for IE4 electric motors for the Brazilian scenario. In this study, the replacement of 48,000 100 CV electric motors with 4-pole speed was simulated in three scenarios, i) optimistic scenario with the replacement of 60% of this park, where 6,368.14 GWh/year of energy generated in the context of Integrated Planning of Energy Resources (PIR), ii) realistic scenario with replacement of 40% of this park, where 4,245.42 GWh/year would be avoided in the context of the PIR and iii) pessimistic scenario with replacement of 20% of this park, where it would be avoided 2,122.71 GWh/year.*

**Keywords:** *Integrated Planning of Energy Resources, Electric Motors, MEPS, Energy Efficiency.*

## **1. Introdução**

O setor de energia em geral impacta significativamente o meio ambiente. Aproximadamente 70% do uso final de energia elétrica no setor industrial, estão em motores

elétricos (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY; WAIDE; BRUNNER, 2011). No caso da indústria brasileira, o consumo de energia elétrica em motores elétricos representa 68% (EPE, 2020).

Com o objetivo de avançar na eficiência de equipamentos elétricos, foram definidos o padrão mínimo intitulado como *Minimum Energy Performance Standard (MEPS)* e as etiquetas, que são vistos como uma das principais formas de apoiar a eficiência energética diretamente no nível do produto. Usar MEPS e etiquetas é uma forma de apoiar a escolha racional do consumidor e superar as barreiras de informações. Esses esforços são frequentemente obrigatórios, mas também podem ser voluntários (RUBY, 2015), sendo atualizados ao decorrer dos anos, conforme a melhorias dos materiais construtivos e dos projetos dos equipamentos, objetivando-se assim a fabricação em escala comercial de equipamentos cada vez mais eficientes.

No caso de motores elétricos, as MEPS são baseadas em classes de eficiência, possibilitando diferentes níveis, que aumentam conforme os avanços tecnológicos e a aceitação do mercado. As classes de eficiência para motores internacionalmente são harmonizadas com o código IE na norma IEC 60034-30-1 (IEC 60034-31, 2014), que é amplamente aceita como o padrão global, tornando as classes de eficiência comparáveis em todo o mundo. A norma define classes de eficiência IE1 a IE4, onde IE1 é a menos eficiente, IE4 é a classe de maior eficiência. De forma similar, nos Estados Unidos as classes de eficiência IE1 a IE4 são denominadas por Standard, High Efficiency, Premium Efficiency e Super-Premium Efficiency, conforme a NEMA (NEMA - NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2016). A nova classe IE5 ainda não foi definida em detalhes, mas está prevista para produtos potenciais em uma edição futura da norma. Para os motores IE5 denominados Ultra-Premium Efficiency a meta é reduzir as perdas em cerca de 20% em relação à classe IE4 (DE ALMEIDA et al., 2019). Alguns fabricantes já disponibilizam motores elétricos classe IE5. A Figura 1 apresenta as curvas de níveis de eficiência na norma de classificação IEC 60034-30-1, curvas para 50 Hz específica para motores elétricos de 4 polos.

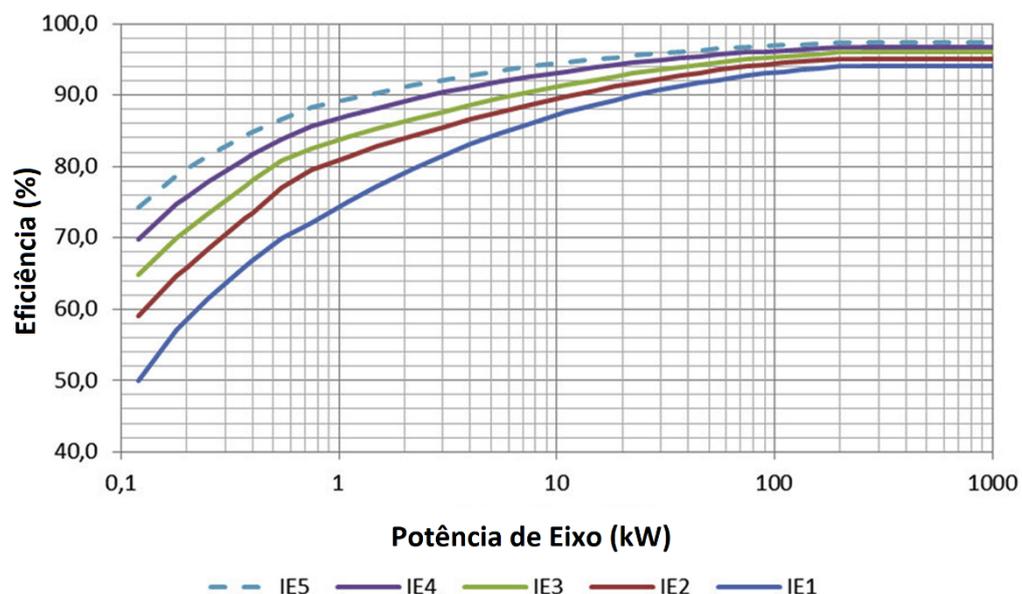


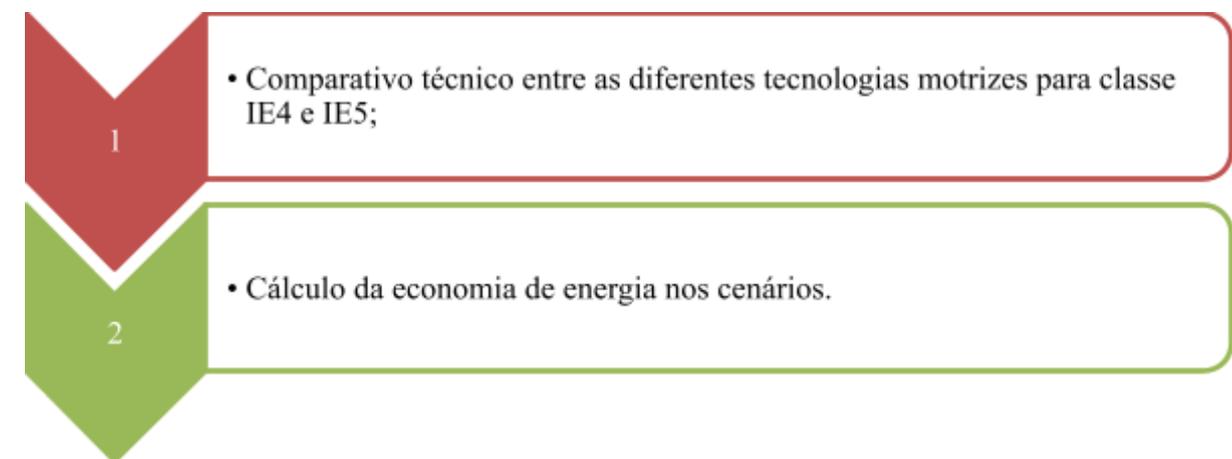
Figura 1 - Níveis de eficiência na norma de classificação IEC 60034-30-1 (2014), curvas para 50 Hz, motores de 4 polos.

Fonte: (DE ALMEIDA et al., 2019)

Normalmente, o custo de se atuar na eficiência energética é bastante inferior ao da ampliação da oferta energética, posto que a energia de uso final, disponível para consumo, deriva dos demais processos da cadeia produtiva de eletricidade. E como os motores são equipamentos eletromecânicos, possuem vida útil considerada elevada, de maneira que é possível que esses produtos de menor eficiência, ainda possam estar em uso por mais de 20 anos a partir do momento em que são vendidos, dado o ciclo de vida destes equipamentos. Assim, atualmente no Brasil (2021), os motores elétricos fabricados antes do Decreto 4.508/2002 (BRASIL, 2002), sem respeitar nenhuma exigência de rendimento estão chegando ao fim do ciclo de vida atualmente (2021). Portanto, tendo em vista esta oportunidade, este trabalho tem por objetivo simular a substituição de motores elétricos IE1 em final de vida útil, por motores elétricos novos IE4.

## 2. Metodologia

Para avaliar o impacto da substituição de motores elétricos IE1 no final da vida útil por motores elétricos IE4 e a elaboração de cenários, aplicou-se a modelagem proposta por Ricardo Baitelo, para avaliação no contexto do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos – PIR (BAITELO, 2006), com as etapas ilustradas na Figura 2, adaptadas a partir do modelo de Baitelo.



## 3. Resultados e discussões

### 3.1 Comparativo técnico entre as diferentes tecnologias motrizes para classe IE4 e IE5

A concepção dos motores classe IE4, ainda é possível fazer com a tecnologia tradicional - Motores de Indução Trifásicos com Rotor em Gaiola de Esquilo (MITRGE), com a utilização de mais cobre nos enrolamentos, emprego de chapas de material ferromagnético de melhor qualidade, pela otimização dos projetos elétricos, magnéticos e mecânicos. Entretanto é mais fácil elevar a eficiência com aplicação de outras tecnologias, como Motores Síncronos de Imã Permanente (MSIP) e Motores Síncronos de Relutância (MSREL também conhecidos

como SynRM), que permitem que os motores excedam os limites de eficiência IE4 e IE5.

A Figura 3 apresenta uma visão geral das tecnologias de motores elétricos, ligando aos índices de eficiência mais comumente encontrados para cada tecnologia.



Figura 3 - Visão geral das tecnologias de motores trifásicos disponíveis no mercado.

Fonte: Adaptação de F. J. T. E. Ferreira et al (FERREIRA et al., 2018)

### 3.2 Cálculo da economia de energia nos cenários

A economia anual de energia alcançada pela substituição de motores elétricos classe IE1 padrão por motores classe IE4 pode ser estimada usando a metodologia descrita em Garcia et al. (GARCIA et al., 2007) e Saidur et al. (SAIDUR; MAHLIA, 2011), conforme Eq. 01:

$$Energia\ evitada = P_{eixo} * 736 * \gamma * hr * \left[ \frac{1}{\eta_{(IE1)}} - \frac{1}{\eta_{(IE4)}} \right] \quad Eq. 01$$

Onde:

*Energia evitada* = é a economia anual de energia (kWh);

$P_{eixo}$  = é a potência nominal do motor (Cavalo Vapor) (unidade não presente no SI, mas largamente utilizada no Brasil);

736 = relação empírica para conversão de Cavalo Vapor em Watt;

$\gamma$  = é o fator de carga (porcentagem de carga total) (no estudo foram considerados os motores a plena carga);

hr = é a operação anual horas;

IE1 = é a classificação de eficiência do motor (%), utilizada pelo Decreto 4.508/2002 (BRASIL, 2002);

IE4 = é a classificação de eficiência do motor (%), utilizada pela IEC 60034-30-1 (IEC

60034-31, 2014).

A Tabela 1 apresentam os dados utilizados na Eq. 01 e o resultado anualizado para a substituição de 1 motor de 100 CV 4 polos IE2 por um IE4.

Tabela 1 - resultado anualizado para a substituição de 1 motor de CV 4 polos IE2 por um IE4

<i>Energia evitada (MWh)</i>	$P_{eixo}$	$\gamma$	Constante de conversão	Classe IE2	Classe IE4	Horas ano
221,2	100	1	736	0,932	0,96	8.000

Estima-se que no Brasil existem aproximadamente 48.000 MITRGE de 4 polos com classe de rendimento IE1 em operação no Brasil que ficam ligados a plena carga aproximadamente 8.000 horas por ano. Conforme Figura 4, o primeiro cenário é otimista e prevê a substituição de 60%, o segundo é um cenário realista prevento a substituição de 40% o terceiro é um cenário pessimista, simulando a substituição de 20%.

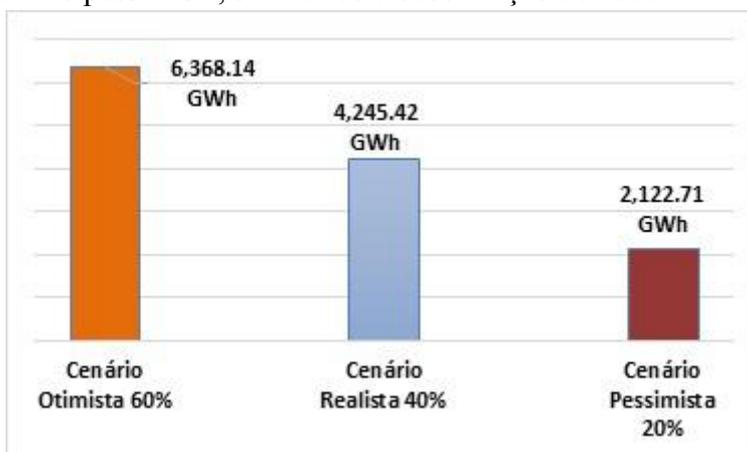


Figura 4 - Energia Anual Evitada (GWh)

No cenário otimista com a substituição de 60% do parque de MITRGE IE1 por motores elétricos IE4 de qualquer uma das tecnologias discutidas (ITRGE, MSIP ou MSREL), a economia anual calculada foi de 6.368,14 GWh. No cenário realista prevendo a substituição de 40% a economia anual calculada foi de 4.245,42 GWh e no cenário pessimista, simulando a substituição de 20% a economia anual calculada foi de 2.122,71 GWh.

#### 4. Conclusões

Há por parte de diversas distribuidoras de energia elétrica no país, programas de incentivo a troca dos motores antigos, (fabricados antes de 2009) por novos da classe IR3 (equivalente ao IE3), entretanto os ganhos são modestos. O trabalho traz uma proposta de substituição dos motores elétricos que já estão no final da vida útil, portanto, com eficiência abaixo da nominal.

No caso da opção por classe IE4 de tecnologia MSIP ou MSREL a utilização de Variadores Eletrônicos de Velocidade (VEV) é obrigatória para partidas. Assim, em cargas centrífugas como bombas ou ventiladores, a economia de energia pode aumentar significativamente, além de prolongar a vida útil do equipamento pela série de sensores embarcados que a tecnologia disponibiliza, identificando anormalidades antes da parada da máquina.

Outro fator observado é que na maioria dos casos os motores operam

superdimensionados, portanto, fora da região de máxima eficiência. No momento da troca, já se conhece plenamente a carga e o regime de operação, sendo possível o redimensionamento otimizado, aumentando ainda os ganhos encontrados na simulação.

Entre os benefícios não energéticos da realização de eficiência energética na substituição de equipamentos de baixa eficiência (classe IE1) por equipamentos de elevada eficiência para os padrões atuais (classe IE4), pode-se destacar: i) as melhorias de produção e produtividade; ii) melhores condições de trabalho, estimulando positivamente os operadores; iii) redução das paradas desnecessárias, que podem levar a interrupções na prolongada na produção; iv) a adoção de medidas de efficientização também pode trazer melhoria na qualidade do produto; v) possível redução de desperdícios e retrabalhos; vi) nas condições e confiabilidade do equipamento; vii) prolongamento n vida útil do equipamento; viii) possível redução do volume do conjunto; ix) redução da temperatura local pela redução das perdas ôhmicas nos equipamentos; x) alinhamento e redução de ruídos na inserção de equipamento novo.

As pressões competitivas das boas empresas, aliadas ao trabalhadores das agências de energia dos governos, vem fazendo, em nível mundial com que os MEPS se tornem cada vez mais eficientes. A crescente conscientização dos governos e da indústria para a importância da eficiência energética em sistemas motrizes tem fomentado a pesquisa para a contínua melhoria dos motores elétricos, que já são factíveis em níveis Super Premium Efficiency (IE4) e Ultra Premium Efficiency (IE5).

Eficiência energética em sistemas motrizes poderem ser facilmente implementados e com altos retornos de investimento estimados ainda hoje, sua taxa de implementação ainda é baixa comparada ao investimento em geração de energia elétrica.

A tendência dos acionamentos motrizes aponta para as novas tecnologias MSIP e MSREL, bem como para a intensificação da utilização de VEV's. Na mobilidade elétrica, já estão sendo testados em nível comercial formulações híbridas do MSIP e MSREL na perspectiva de aumentar a eficiência e possibilitar elevados torques em toda a faixa de velocidade, incluindo em baixas rotações.

## Referências

BAITELO, Ricardo Lacerda. **Modelagem completa e análise dos recursos energéticos do lado da demanda para o PIR**. 2006. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. DOI: 10.11606/D.3.2006.TDE-08122006-145602. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-08122006-145602/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BRASIL. Decreto Nº 4.508, De 11 de Dezembro de 2002. **Diário Oficial da União**, [S. l.], 2002.

DE ALMEIDA, A.; FONG, J.; BRUNNER, C. U.; WERLE, R.; VAN WERKHOVEN, M. New technology trends and policy needs in energy efficient motor systems - A major opportunity for energy and carbon savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 115, 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109384.

EPE. Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019 - Empresa de Pesquisa Energética. **Epe**, [S. l.], 2020. DOI: 620.9:553.04(81).

FERREIRA, Fernando J. T. E.; SILVA, Andre M.; AGUIAR, Victor P. B.; PONTES, Ricardo S. T.; QUISPE, Enrique C.; DE ALMEIDA, Anibal T. Overview of Retrofitting Options in Induction Motors to Improve Their Efficiency and Reliability. **Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC/I and CPS Europe 2018**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1109/IEEEIC.2018.8493887.

GARCIA, Agenor Gomes Pinto; SZKLO, Alexandre S.; SCHAEFFER, Roberto; MCNEIL, Michael A. Energy-efficiency standards for electric motors in Brazilian industry. **Energy Policy**, [S. l.], v. 35, n. 6, p. 3424–3439, 2007. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.11.024.

IEC 60034-31. **IEC 60034-31 Ed. 1.0 b:2010 - Rotating Electrical Machines - Part 31: Selection Of Energy-Efficient Motors Including Variable Speed Applications - Application Guide** Geneva, 2014. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/136>. Acesso em: 29 abr. 2021.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY; WAIDE, Paul; BRUNNER, Conrad U. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. **Internationale energy agency**, [S. l.], v. na, n. na, p. 132, 2011. DOI: 10.1787/5kkg52gb9gjd-en.

MORALES UDAETA, Miguel Edgar. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o setor elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável)**. 2001. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. DOI: 10.11606/T.3.1997.TDE-09082001-113018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09082001-113018/>. Acesso em: 21 jun. 2021.

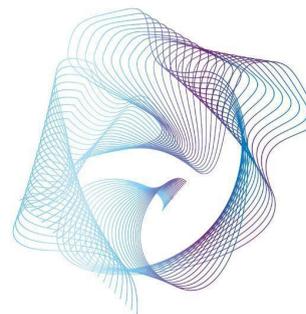
NEMA - NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **ANSI/NEMA MG 1-2016 Motors and Generators**. Rosslyn, Virginia. Disponível em: <https://www.nema.org/standards/view/motors-and-generators>. Acesso em: 20 jul. 2021.

RUBY, Tobias Møller. Innovation-enabling policy and regime transformation towards increased energy efficiency: the case of the circulator pump industry in Europe. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 103, p. 574–585, 2015. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2015.02.017.

SAIDUR, R.; MAHLIA, T. M. I. Impacts of energy efficiency standard on motor energy savings and emission reductions. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 103–109, 2011. DOI: 10.1007/s10098-009-0275-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-009-0275-7>. Acesso em: 7 out. 2020.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## **O Pré-Sal e o Atlântico Sul: Inserção brasileira no mercado global de petróleo e suas implicações geopolíticas no contexto de transição energética**

André dos Santos Alonso Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> André dos Santos Alonso Pereira – Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP)

\* E-mail: andre.santos.pereira@usp.br

**Resumo:** As reservas de petróleo encontradas na camada Pré-Sal colocaram o Brasil no mapa da geopolítica do petróleo mundial na década passada. O Brasil, por meio da Petrobras, teve então a possibilidade de aumentar sua inserção no mercado global de petróleo, tornando-se um grande exportador do hidrocarboneto, maior fonte da matriz energética mundial. As reservas estão no território marítimo brasileiro, dentro do Atlântico Sul, área estratégica para o comércio internacional de petróleo e para o Brasil em suas pretensões no setor. O aumento das exportações brasileiras, porém, pode ser comprometido pelo atual processo de transição energética mundial, onde uma das principais metas é reduzir o uso de combustíveis fósseis devido as questões ambientais. Este estudo busca compreender a relação entre as reservas do Pré-Sal e o Atlântico Sul, seu impacto para a geopolítica brasileira e seu planejamento energético em um panorama de rápidas mudanças ocorrendo em escala mundial.

**Palavras chave:** Pré-Sal; Transição Energética; Brasil; Geopolítica; Atlântico Sul

**Abstract:** Oil reserves found in the Pre-Salt layer have placed Brazil at the map of oil geopolitics in the last decade. The country, through Petrobras, had an opportunity to increase its insertion at the oil global market, becoming a greater producer and explorer of the most important energetic resource. Those reserves are located in Brazil's maritime territory, inside the South Atlantic, a strategic area for oil trade routes and, therefore, for Brazil's ambitions in the sector. Rise exportations from Brazil, however, could be challenged by energy transition towards decarbonizing and net-zero goals, that aim to reduce usage of fossil fuels due to environmental concerns. This present study pretends to comprehend the relations between the Pre-Salt reserves and South Atlantic, its impacts for Brazil's geopolitics and its energetic planning in a scenario marked by fast-pacing changes in a global scale.

**Keywords:** Pre-Salt Layer; Energy Transition; Brazil; Geopolitics; South Atlantic

### **1. Introdução**

Apesar do petróleo *offshore* ser uma realidade para o Brasil desde 1968, é com a descoberta das reservas do Pré-Sal, que o Brasil efetivamente ganha destaque no mercado

mundial de petróleo como grande produtor e exportador (PINHEIRO MACHADO, 2018). Seu anúncio trouxe expectativas de que o Brasil atingiria a posição de um grande *player* no mercado global de petróleo, alcançando objetivos estratégicos, como reverter a renda petrolífera em benefícios sociais e adquirir uma real autossuficiência energética (MACHADO, 2011). Sua localização geográfica, na Bacia de Santos, está inserida na plataforma continental do território marítimo brasileiro, pertencendo à União segundo a constituição. Mecanismos legislativos para reverter os potenciais lucros provenientes dos royalties do Pré-Sal para benefícios sociais foram consolidados com mudanças no marco legal.

As expectativas nutridas pelo Pré-Sal propagaram uma nova onda de nacionalismo energético no Brasil (PEYERL; SANTOS, 2019). Porém, elas acabaram sendo frustradas com a falta de um resultado imediato, os escândalos de corrupção e a crise financeira que a empresa passa desde 2014, onde seu status como a grande empresa brasileira passou a ser questionado por diversos setores da sociedade brasileira, incluindo os acionistas da empresa, consumidores e a população em geral (SAUER; RODRIGUES, 2016). Transformações sociais e políticas provocaram mudanças no gerenciamento da Petrobras e do planejamento energético nacional. Políticas de desinvestimentos dos ativos da empresa para priorizar a produção offshore foi a principal estratégia administrativa da companhia. A principal medida foi revogar a participação mínima de 30% da Petrobras. Novos leilões foram feitos, agora com maior participação *majors* (PEREIRA et al, 2020).

## **1.1 O Atlântico Sul e o Pré-Sal**

O Atlântico Sul é uma área estratégica para o Brasil, tanto por seus aspectos econômicos, mas, principalmente, pelos geopolíticos, cenário realçado com o Pré-Sal. A região é uma das mais estudadas pela geopolítica brasileira, juntamente com as bacias do Prata e a Amazônia (MYAMOTO 2011, p.71). Boa parte das trocas comerciais brasileiras passam por sua margem, ligando-a com o restante do mundo pelos fluxos comerciais transoceânicos. Notoriamente, o Atlântico Sul é uma das principais rotas dos navios petroleiros, principalmente os que vêm do golfo da Guiné - uma das principais regiões produtoras de petróleo do continente africano - e do Oriente Médio em direção aos Estados Unidos e Europa (YERGIN 2011, p. 165). As potências do Atlântico Norte mantêm a porção meridional do oceano sob vigilância: o Reino Unido conta com um cordão de arquipélagos com bases militares para patrulhar as rotas e os Estados Unidos vigia a área com sua IV<sup>a</sup> Frota, além da presença francesa através de sua província ultra-marítima da Guiana. Portanto, trata-se de uma região extremamente visada em termos geoestratégicos, ainda mais para a geopolítica brasileira (COSTA, 2014).



Figura 1: Mapa do Entorno Geoestratégico do Atlântico Sul. Fonte: Autor (2021)

Com o aumento da participação de empresas estrangeiras na partilha do Pré-Sal a complexidade geopolítica do Atlântico Sul aumentará ainda mais. Interesses destas companhias e os países que elas representam trarão desafios aos objetivos estratégicos do Brasil enquanto Estado soberano como sua segurança energética, autossuficiência e aproveitamento dos lucros do Pré-Sal. Em suma, a maneira como o Brasil pretende se inserir dentro do concorrido e perigoso mercado petrolífero internacional está em processo de mudança, e as consequência geopolíticas precisarão ser consideradas e analisadas, podendo envolver a perda de soberania brasileira nas tomadas de decisões sobre o assunto

## 1.2 Mudanças Epistemológicas da Geopolítica Energética.

O petróleo é apontado como um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, visto que sua queima aumenta as emissões de carbono na atmosfera (GOLDEMBERG; LUCON, 2012). A transição energética atual é centrada na busca por uma economia de baixo carbono, o que poderá ser alcançada com mudanças sociais e técnicas, bem como o avanço da eficiência energética por fontes alternativas, como as renováveis (SOVACOOOL, 2015; OVERLAND et al., 2020). Esse processo, ainda concentrado e pensado na realidade dos países desenvolvidos, poderá ter impactos nas pretensões brasileiras. Isto pode diminuir a demanda pela produção do Pré-Sal, caso seus principais mercados consumam menos petróleo. Por outro lado, o Brasil, se apostar em demasia na exploração do Pré-Sal, poderá ficar defasado nas mudanças estruturais necessárias para cumprir as metas estabelecidas multilateralmente.

Esses movimentos internacionais envolvendo o setor energético têm provocado alterações epistemológicas na literatura acerca da geopolítica energética (VALKCHUCK, 2019; ESCRIBANO, 2021; FUSER, 2020). Historicamente, ela foi pautada pela importância estratégica do petróleo, incluindo questões como segurança energética, as disputas entre as nações pelo acesso às reservas de petróleo e a perspectiva de sua escassez (OVERLAND et al, 2019). Agora, as análises estão propriamente tornando-se “energéticas” de fato, com os principais focos sendo como o cenário internacional será realinhado com as mudanças na matriz energética global, o tamanho das perdas dos países exportadores de petróleo e quais serão as dinâmicas geoeconômicas com a ascensão de outras fontes de energia (VAN DER

GRAAF, 2016). Esses fenômenos vêm alterando os portfólios das grandes empresas de petróleo, que agora buscam se apresentar como empresas de energia, embora a Petrobras esteja na contramão desse movimento (PICKL, 2019). Compreender essas novas metodologias e tendências nesse campo de estudo é essencial não apenas para o trabalho presente, mas igualmente para o progresso teórico dele quando aplicado para o contexto brasileiro.

## 2. Metodologia

O estudo segue duas etapas. A primeira delas é a revisão de literatura dos principais conceitos a serem trabalhados, coleta de informações estatísticas para análise quantitativa e delimitação espaço-temporal da área de estudo. No caso, embora o trabalho trate do Atlântico Sul como um todo, o foco é na área da margem leste do litoral brasileiro dentro de seu território marítimo legitimamente reconhecido pelos tratados internacionais. A segunda etapa, com base nas informações levantadas na primeira, consiste em realizar uma análise crítica dos rumos que planejamento energético brasileiro vem tomando para lidar com as questões suscitadas pela pesquisa, particularmente na sua projeção de força dentro do Atlântico Sul e qual sua postura diplomática em relação aos atores que agem na região. Trabalhamos com fontes primárias e secundárias, como relatórios da Petrobras e da Empresa de Pesquisa Energética, principais coordenadores da política energética brasileira. Dados estatísticos e projeção de cenários de agências analíticas, tanto internacionais (EIA, WEC) como nacionais (ANP). Particularmente, as projeções de cenários têm ganhado bastante notoriedade nesse tipo de estudo, dado as complexas variáveis envolvidas e as projeções que visam determinar os futuros vencedores e perdedores no mundo pós-carbono. O Brasil é um caso particularmente interessante nesse contexto, pois tem condições materiais e políticas para, eventualmente, posicionar-se em qualquer um deles.

## 3. Resultados e discussões

A pesquisa segue em andamento, sendo, portanto, prematuro apontar resultados definitivos ou até mesmo parciais, mas certamente algumas tendências podem ser apontadas para traçar discussões. Relatórios do governo brasileiro, principalmente o de Planejamento Energético para 2050 lançado pela EPE, demonstram algum nível de preocupação do governo brasileiro em se adequar as tendências mundiais de mirar em questões ambientais, incentivar um maior uso do gás natural (que também passou por novas mudanças legislativas), mas ainda prevê um uso considerável de petróleo, tanto visando a exportação como o fornecimento ao mercado interno, constantemente em busca de autossuficiência. Diplomáticamente, o Brasil busca se alinhar à OCDE, que através da EIA, busca pautar a agenda de transição energética global, mas o Brasil é visto com receio pela comunidade internacional devido ao desflorestamento do bioma amazônico.

Esses pontos comprometem a posição geopolítica do Brasil, pois é um país visto como central para as questões energéticas e ambientais. Por outro lado, outras tendências surgem. Entre elas, destaca-se: O Brasil virou um *player* relevante na geopolítica energética graças ao Pré-Sal? A abordagem liberal atual do planejamento energético brasileiro incentiva uma maior segurança energética ao país? A projeção de força do Brasil no Atlântico Sul é limitada pela presença de atores importantes na região? A transição energética para uma economia de baixo carbono compromete os planos brasileiros de exportar petróleo em larga escala? E, a questão principal: a Petrobras ainda terá uso geopolítico pelo Brasil?

## 4. Conclusões

Desde o começo da pesquisa, que começou ainda na dissertação de mestrado, pudemos observar avanços no que tange a descoberta de novas práticas metodológicas, revisão bibliográfica de novos autores e conhecimentos, aproveitando a gama variada interdisciplinar promovida pelos pós-graduandos do Instituto de Energia e Ambiente. Em termos práticos da pesquisa, isto incluiu uma compreensão mais ampla do conceito de energia, indo além da questão dos combustíveis fósseis, mas dela como um todo, incluindo as relações anaeróbicas dos seres vivos e sua importância para o metabolismo humano através do consumo de alimentos. A pesquisa vê um reflexo disso, ao não estar mais tão focada na questão do petróleo, mas agora considerando outros aspectos da geopolítica energética. Outras ideias, contudo, permanecem latentes e devem ser continuamente investigadas. Nisto, inclui-se o papel estratégico da Petrobras para o setor de óleo e gás brasileiro, suas ambições no cenário internacional, o incentivo a maior concorrência no mercado nacional e como isto afetará a balança de poder dentro do Atlântico Sul, área pivô para a geopolítica brasileira, ainda mais com os ativos energéticos ali presentes.

## Agradecimentos

Gostaria de registrar o apoio dado pela CAPES através de bolsa de estudos, essenciais para o prosseguimento da pesquisa. Agradeço também a todos os professores e colegas do IEE e demais institutos da USP por todo apoio e contribuições.

## Referências

COSTA, Wanderley Messias - Projeção do Brasil no Atlântico Sul: geopolítica e estratégia, **Revue Confins** [En ligne], 22 | 2014, mis en ligne le 29 novembre 2014, consulté le 12 janvier 2017. URL : <http://confins.revues.org/9839> ; DOI : 10.4000/confins.9839

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) – **Plano Nacional de Energia: PNE 2050**. Ministério de Minas e Energia, Brasília: MME/EPE, 2020

ESCRIBANO, Gonzalo. Beyond energy independence: the geopolitical externalities of renewables. In: **Handbook of Energy Economics and Policy**. Academic Press, 2021. p. 549-576.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Osvaldo. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3 ed. rev e ampli, 2 reimpr. – São Paulo: Edusp, 2012

FUSER, Igor; ALMEIDA FERREIRA ABRÃO, Rafael. A América Latina e a nova geopolítica da energia: os casos de Argentina, Bolívia, Brasil, Equador, Guiana, México e Venezuela. **OIKOS (Rio de Janeiro)**, v. 19, n. 1, 2020.

MACHADO, M. S. - Considerações sobre o Brasil e a Petrobras na Integração Sul-americana em tempos de Globalização. In: Susana Mara Miranda Pacheco; Mônica Sampaio Machado. (Org.). **Globalização, Políticas Públicas e Reestruturação Territorial**. 1ed. Rio de Janeiro: 7Letras, 2012, v. 1, p. 158-184.

MIYAMOTO, Shinguenoli. Geopolítica do Brasil: Algumas considerações. In: **Geopolítica e Relações Internacionais**, CARVALHO, Leonardo Arquimino (org.), Ed. Juruá, 2011

PINHEIRO MACHADO, Marco Antônio. **Pré-Sal: a saga – A história de uma das maiores descobertas mundiais do petróleo**. 1 ed. – Porto Alegre: L&PM, 2018

PEYERL, Drielli; MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson – The Incredible Transforming History of a Former Oil Refiner Into a Major Deepwater Offshore Operator: Blending Audacity, Technology, Policy and Luck from the 1970s Oil Crisis up to the 2000s Pre-Salt Discoveries. In: S. F. Figueiroa et. al. eds., **History, Exploration & Exploitation of Oil and Gas, Historical Geography and Geosciences**, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-13880-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-13880-6_8). Springer Nature Switzerland, 2019

PEREIRA, André dos Santos Alonso; PEYERL, Drielli; DOS SANTOS, Edmilson Moutinho. Os leilões do Pré-Sal (2017-2019) e os objetivos dos atores geopolíticos em disputa no Atlântico Sul. **Revista de Geopolítica**, v. 12, n. 1, p. 103-117, 2021.

PICKL, Matthias J. The renewable energy strategies of oil majors–From oil to energy?. **Energy Strategy Reviews**, v. 26, p. 100370, 2019.

SAUER, Ildo L.; RODRIGUES, Larissa – Pré-Sal e Petrobras além dos discursos e mitos: disputas, riscos e desafios. *Rev. Estudos Avançados*. Ed. 30 (88), 45p. 2016

SÉBILLE-LOPEZ, Phillipe. **Géopolitique du Pétrole**. Instituto Piaget. Editora Armand Colin, Paris, 2006

VAKULCHUK, Roman; OVERLAND, Indra; SCHOLTEN, Daniel. Renewable energy and geopolitics: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 122, p. 109547, 2020.

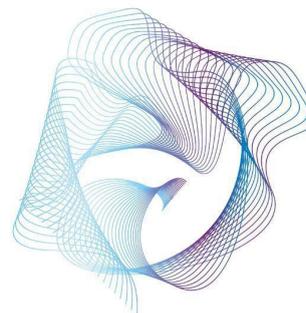
SOVACOOOL, Benjamin. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, 13: 202-2015

VAN DER GRAAF, Thijs. Is OPEC dead? Oil exporters, the Paris agreement and the transition to a post-carbon world. **Energy Res Soc Sci** (2016)

YERGIN, Daniel. **The Quest: Energy, Security, and the Remaking of the Modern World**. Ed. Intrínseca Ltda, 2011

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## **Expectativas sobre o Novo Mercado de Gás no Brasil**

Érica Machado da Silva Guerreiro<sup>1,\*</sup>, Marina de Santana Souza<sup>2</sup>

1 Doutoranda em Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP.

\*Autora para correspondência, E-mail: ericaguerreiro@usp.br

2 Mestranda em Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP.

### **Resumo:**

Os esforços regulatórios de expansão do mercado de gás no Brasil contribuíram com avanços importantes, entretanto, não causaram impactos expressivos ao desenvolvimento da indústria. O novo marco de gás, sancionado em 2021, visa possibilitar um mercado mais aberto, dinâmico e competitivo. O presente trabalho tem por objetivo estudar as principais diretrizes estabelecidas no Programa Novo Mercado de Gás, de maneira a analisar a estrutura de mercado e os efeitos das tentativas de abertura do setor no Brasil. Foram identificadas as principais medidas regulatórias do mercado de gás e as barreiras ao seu desenvolvimento. Os resultados mostraram que o poder de mercado da Petrobras configura o principal impedimento à formação de um mercado livre de gás natural, assim como a falta de investimentos em malhas de transporte e o desalinhamento entre as regulações em níveis estadual e federal.

**Palavras chave:** gás, malha de distribuição, infraestrutura, regulação, nova lei do gás.

### **Abstract:**

*Regulatory efforts to expand the gas market in Brazil have contributed with important advances, however, they have not had a significant impact on the development of the industry. The new gas mark sanctioned in 2021 aims to enable a more open, dynamic and competitive market. This research aims to study the main guidelines established in the New Gas Market Program, in order to analyze the market structure and the effects of previous attempts to open the sector in the country. The main regulatory measures of the gas market and the barriers to its development were identified. The results showed that the market power of Petrobras is the main impediment to the formation of a free market for natural gas, as well as the lack of investment in transportation grids and the misalignment between state and federal regulations.*

**Keywords:** gas, distribution grid, infrastructure, regulation, new gas law.

## **1. Introdução**

Em 09 de abril de 2021 foi sancionado o novo marco regulatório de gás através da Lei

14.134/2021 (BRASIL, 2021), também conhecida por Nova Lei do Gás. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2021), o programa tem como objetivo permitir um mercado de gás mais aberto, dinâmico e competitivo no Brasil.

De acordo com MME (2021), o novo marco regulatório de gás tem como principais pilares:

- Promoção da ampla concorrência;
- Harmonização entre as regulações estaduais e Federal;
- Integração entre os setores de gás, elétrico e industrial;
- Remoção de barreiras tributárias.

Sob a ótica da oferta, segundo o MME, com a implementação das novas medidas propostas são esperados como resultados: melhorias de aproveitamento do gás extraído dos reservatórios do pré sal e de outras bacias (como a de SE/AL), ampliação de investimentos de infraestrutura e aumento de competição na geração de termelétricas a gás e em outros segmentos da indústria.

## **2. Metodologia**

O presente estudo é uma abordagem qualitativa a partir de uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, baseada em referências teóricas e em dados de mercado. Os dados foram obtidos majoritariamente a partir de estudos de agências de energia e órgãos da administração pública. Foi também realizado um levantamento de dados secundários relacionados aos investimentos em redes e infraestrutura de gás com base na Lei nº 12.527/2011 (BRASIL, 2011), conhecida como Lei de Acesso à Informação, que regulamenta a qualquer cidadão o direito constitucional de acesso a informações públicas.

A primeira etapa da pesquisa envolveu a identificação das principais medidas regulatórias do mercado de gás sancionadas no país e posteriormente, foi realizada uma análise das principais barreiras ao desenvolvimento do setor de gás no Brasil.

## **3. Resultados e discussões**

Os esforços regulatórios de expansão do mercado de gás contribuíram com avanços importantes, entretanto, não causaram impactos expressivos no desenvolvimento da indústria, em especial nas atividades de transporte e de distribuição. A Figura 1 mostra os principais atos e normas pertinentes à evolução do processo de regulação de gás no Brasil. A Petrobras deteve o domínio exclusivo das atividades de petróleo e gás natural no Brasil até 1995, quando houve a flexibilização do monopólio através da aprovação da Emenda Constitucional (EC) nº 9/95 (BRASIL, 1988). Destarte, a primeira iniciativa de abertura do mercado de gás no país aconteceu a partir da aprovação da EC nº 9/95, cuja regulamentação aconteceu através da Lei do Petróleo (BRASIL, 1997). Entretanto, tal medida regulatória não atingiu as mudanças esperadas no mercado de gás e com isso, era estabelecido em 2009 o regime de concessão para o transporte de gás natural pela Lei nº 11.909/2009 (BRASIL, 2009), denominada Lei do Gás.

Posteriormente, em 2015, houve um processo de venda de ativos e mudanças estratégicas de negócios da Petrobras, reduzindo sua participação no setor de gás. Em seguida, foram estabelecidas novas diretrizes pela Resolução nº 10/2016 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) através da iniciativa Gás Para Crescer. Por fim, com o intuito de promover boas práticas regulatórias voltadas à competitividade no mercado de gás natural, foi instituído por meio da Resolução CNPE nº 4/2019 o Comitê de Promoção da Concorrência no Mercado de Gás Natural no Brasil, cujo resultado foi o Programa Novo

Mercado de Gás através da Resolução nº 16/2019 publicada pelo CNPE.



Figura 1 – Evolução cronológica das medidas regulatórias do mercado de gás no Brasil.

Fonte: Elaboração própria (2021)

Dentre os principais impedimentos à expansão do mercado de gás no Brasil, podem ser destacados:

- Falta de investimentos na ampliação das malhas de gasodutos de transporte, enquanto as malhas de gasodutos de distribuição tiveram um crescimento significativo (CAMPOS et al., 2020);
- Redução na relação R/P entre reservas e a produção de gás (de quase 15 anos em 2014 para 9 anos em 2018) (CAMPOS et al., 2020);
- O grande poder de mercado da Petrobras em todos os segmentos da cadeia produtiva (exploração, produção, escoamento, tratamento, processamento, transporte e distribuição) (MME, 2019);
- A falta de sinergia entre as regulações estaduais e federal configuram um impedimento à formação de um mercado livre de gás (CAMPOS et al., 2020).

Esses desafios estruturais do mercado de gás proviam incentivos a comportamentos anticompetitivos por parte dos agentes econômicos detentores de maior poder de mercado, especialmente a Petrobras, que outrora atuava sob o regime de monopólio, em boa parte das atividades dessa cadeia produtiva.

A efetividade do aumento da competitividade no setor encontra desafios também no modelo de concessão mais usual, que apresenta obstáculos significativos à viabilização de novos projetos de gasodutos de transporte no Brasil, sendo este um dos motivos de não haver novos gasodutos de transporte desde 2010. O histórico de investimentos entre os anos 2009 e 2020 em redes e infraestrutura (gasodutos e de distribuição) praticados pelas companhias distribuidoras de gás natural integrantes da *holding* Petrobras Gás S.A. (Gaspetro) é mostrado na Figura 2.

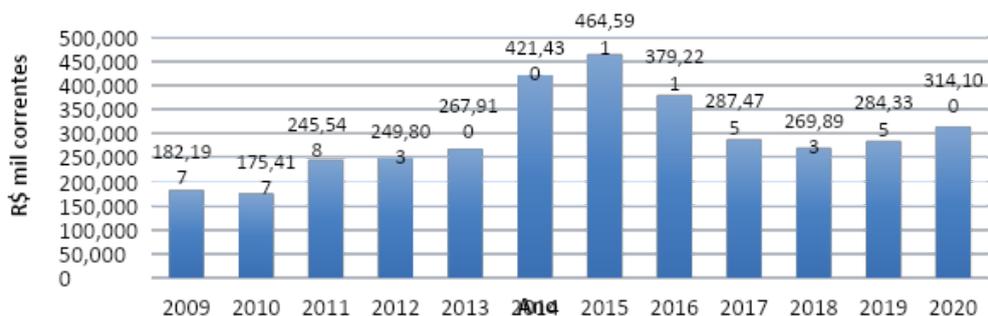


Figura 2 – Investimento em redes e infraestrutura das Companhias Distribuidoras Locais de gás natural que integram a Gaspetro.

Fonte: Adaptado, dados públicos fornecidos pela Petrobras Gás S.A. (2021).

Do ponto de vista estrutural, os maiores desafios à ampliação do consumo de gás no Brasil estão nas limitações físicas da infraestrutura de escoamento do gás até a entrega aos consumidores finais. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2020), prevê um incremento de apenas 11 quilômetros em gasodutos de transporte até 2029, o que fica muito aquém do que seria necessário para suprir a crescente demanda projetada em todo o território nacional.

Os constantes reajustes no preço de GLP (gás liquefeito de petróleo), em função do aumento do preço do petróleo, inflação e da taxa de câmbio, em especial, ao longo da pandemia, fizeram com que grande parte da população brasileira enfrentasse dificuldades em continuar a consumir gás de cozinha. Por essa razão, foi observado um aumento considerável pela procura por fogão à lenha a partir de 2020. A Figura 3 mostra a evolução do preço final (R\$/botijão de 13 kg) de GLP ao consumidor no período de 2009 - 2021 no país, em que é possível observar o aumento expressivo equivalente a R\$69,74 de janeiro/2020 para R\$76,86 em janeiro/2021.



Figura 3 – Evolução do preço final de GLP ao consumidor no Brasil de 2009 – 2021.

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da ANP (2021).

As concessões relacionadas à distribuição de gás costumam ser objeto de contratos celebrados na esfera estadual. Assim, apesar da impossibilidade de que tais contratos sejam contrários às disposições da legislação federal aplicável, há um elevado grau de discricionariedade, por parte das autoridades estaduais concedentes, para definir o modelo de concessão que melhor se ajuste à realidade regional do mercado de gás. O descasamento entre as escolhas políticas federais e as estaduais, tanto de curto quanto de longo prazo, podem ter impactos indesejáveis às estruturas de oferta e demanda no mercado de gás.

Por fim, não há clareza sobre quais seriam as expectativas da Administração Pública Federal no que concerne aos investimentos que teriam de ser feitos em infraestrutura para viabilizar o crescimento esperado. Em um contexto em que parecem faltar recursos para políticas públicas essenciais, parece pouco provável que o Estado possa ter a capacidade, ou mesmo o ímpeto político, de promover esses investimentos em gasodutos com recursos públicos.

#### 4. Conclusões

De maneira geral, a presente pesquisa mostrou que a estrutura de mercado de gás no Brasil apresenta um desalinhamento entre a regulação em níveis Estadual e federal, configurando uma barreira à formação de um mercado livre de gás. Os esforços regulatórios realizados para abertura do setor de gás contribuíram com avanços importantes, entretanto, não atingiram impactos significativos para o desenvolvimento da indústria. O poder de mercado da Petrobras em todos os segmentos do setor de gás configura o principal impedimento à abertura do mercado a agentes privados, além da falta de investimentos em malhas de transporte e em descoberta de novas reservas provadas.

O processo de abertura do mercado de gás é complexo, tanto do ponto de vista normativo, quanto do ponto de vista fático e econômico. O conjunto de medidas tomadas até julho de 2021 sinalizam o que se espera para uma nova dinâmica de econômica, mais competitiva e eficiente, mas a consolidação bem-sucedida da estrutura proposta depende de atos que se prolongam no tempo, e que prescindem de um alinhamento das autoridades da Administração Pública nas esferas federal, estadual e municipal.

#### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

#### Referências

BRASIL. Lei nº 14.134, de 08 de abril de 2021. Nova Lei do Gás. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 abr 2021.

\_\_\_\_\_. Lei de Acesso à Informação. Lei no 12.527, de 18 de novembro de 2011. Regula o acesso a informações prevista na Constituição Federal; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 nov 2011.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 mar 2009.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 ago 1997.

\_\_\_\_\_. Constituição (1988). Emenda Constitucional nº 9/ 95. Dá nova redação ao art. 177 da Constituição Federal, alterando e inserindo parágrafos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 nov 1995.

CAMPOS, A. F.; JÚNIOR, A. O. P. e FELIPE, E. S. Reflexões Sobre o Programa Novo Mercado de Gás: Abertura de Mercado, Transição e Expansão do setor de Gás Natural no Brasil. Vol 26, n. 2, (2020): 51-62. Minas Gerais: Revista Brasileira de Energia, 2020.

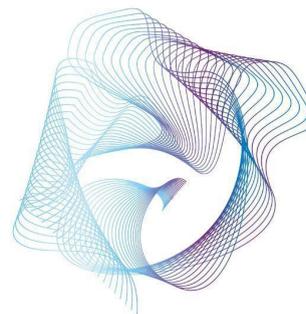
EPE - Empresa De Pesquisa Energética. Plano decenal de expansão de energia 2030. Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética: MME/EPE. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030\\_RevisaoPosCP\\_rv2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf)>. Acesso em: 16 de julho de 2021.

MME – Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2021. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cmgn/novo-mercado-de-gas>. Acesso em: 07 de mai de 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Economia (ME). Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE)/ Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis - ANP/ Empresa De Pesquisa Energética – EPE. Brasília, 2019. Comitê de Promoção da Concorrência no Mercado de Gás Natural no Brasil. Propostas para o Mercado Brasileiro de Gás Natural. Nota Técnica. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/novo-mercado-de-gas/documentos-relacionados/1/2.RelatrioComitdePromoodaConcorrnciavfinal10jun19.pdf>>. Acesso em: 22 de mai de 2021.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## **Células Combustíveis Microbianas: Uma solução para o tratamento sustentável de águas residuais e chorume com geração de energia elétrica**

Gabriel Santiago de Arruda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Energia no Instituto de Energia e Ambiente – Universidade de São Paulo

\*Gabriel Santiago de Arruda, E-mail: gsarruda@usp.br

**Resumo:** As células combustíveis microbianas (CCM's) são dispositivos que geram eletricidade a partir da oxidação de matéria orgânica. Um problema que a tecnologia enfrenta é o alto custo de seus componentes. Esse e outros fatores dificultam a implementação em larga escala das CCM's, mas motivam pesquisas nesta área. Uma das aplicações mais valiosas desta tecnologia é o tratamento de águas residuais e de lixiviados de aterros sanitários. Tais efluentes se não forem adequadamente tratados e destinados provocam problemas ambientais severos. Este trabalho propõe a investigação da aplicação das células combustíveis microbianas, com materiais de baixo custo e sustentáveis, para geração de energia elétrica e tratamento dos efluentes.

**Palavras-chave:** células combustíveis microbianas, tratamento de efluentes, materiais de baixo custo, sustentabilidade.

**Abstract:** *Microbial fuel cells (MFC's) are devices that generate electricity from the oxidation of organic matter. One problem the technology faces is the high cost of its components. This and other factors hamper the large-scale implementation of MFC's but motivate research in this area. One of the most valuable applications of this technology is the treatment of wastewater and landfill leachate. Such effluents, if not properly treated and disposed of, cause severe environmental problems. This work proposes the investigation of the application of microbial fuel cells, with low-cost and sustainable materials, for electricity generation and effluent treatment.*

**Keywords:** *microbial fuel cells, wastewater treatment, low-cost materials, sustainability.*

## **1. Introdução**

A prestação do serviço público de manejo dos resíduos sólidos e do tratamento de águas residuais (esgoto), no Brasil e no mundo, é uma questão bastante polêmica. O aumento das descargas de águas residuais e a geração de resíduos sólidos urbanos têm resultado em efeitos prejudiciais ao meio ambiente, causando eutrofização e poluição dos corpos d'água (HERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2019).

Os resíduos sólidos quando decompostos geram um líquido chamado de chorume (também conhecido como lixiviado de aterro sanitário). Os tratamentos dos lixiviados de aterros sanitários, são de custo elevado e consomem energia (ELMAADAWY et al., 2020). As águas residuais têm problemas de destinação (SNIS, 2018), análogos aos resíduos sólidos (SELURB, 2019), e tem altas despesas com energia elétrica. Um dos estudos aponta que o

tratamento de águas residuais exige cerca de 0,5-2 KWh/m<sup>3</sup> (dependendo do processo e da composição do esgoto) (GUDE, 2016).

Nesse mesmo esgoto se armazena de 3-10 vezes mais a quantidade de energia que é necessária para tratá-lo. Uma parcela razoável desta está na forma de matéria orgânica (energia química) (~1,79 kWh/m<sup>3</sup>) (GUDE, 2016) fato que também ocorre no chorume (ELMAADAWY et al., 2020).

Células combustíveis microbianas (CCMs) são aplicadas para o tratamento desses resíduos e ainda geram energia elétrica (ABOURACHED; LESNIK; LIU, 2014; WANG et al., 2016). As CCMs são uma tecnologia que converte a energia química da matéria orgânica diretamente em energia elétrica através dos processos metabólicos de microrganismos específicos. Alguns estudos promissores estudaram sua aplicação nos lixiviados de aterros sanitários (DAMIANO; JAMBECK; RINGELBERG, 2014; ELMAADAWY et al., 2020; GANESH; JAMBECK, 2013) e no esgoto (CAPODAGLIO et al., 2013; RACHINSKI et al., 2010).

Os fatores limitantes para a aplicação das CCMs são os altos custos de capital inicial (construção de eletrodos e membranas) e a densidade de potência limitada (CAPODAGLIO et al., 2013). Além disso, a sustentabilidade dos materiais utilizados em sua construção também é um fator relevante, tendo em foco uma abordagem holística da utilização dessa tecnologia (TOMMASI; LOMBARDELLI, 2017). Visto isso, a utilização de materiais alternativos em sua construção vem sendo explorada e pode possibilitar a expansão da aplicação deste tipo de tecnologia (GAJDA; GREENMAN; IEROPOULOS, 2018). Este trabalho apresentará a utilização das células combustíveis microbianas como um método sustentável de tratar os resíduos abordados, visto a não utilização de uma fonte externa de energia e de produtos químicos (TOCZYŁOWSKA-MAMIŃSKA, 2017), e gerar eletricidade concomitante, mostrando também algumas soluções para as limitações citadas.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Avaliação do potencial de geração de energia elétrica das CCMs**

A comparação dos dados na literatura foi feita de maneira qualitativa, comparando os tipos de CCMs e os efluentes utilizados nelas, destacando a carga orgânica e a “idade” no caso do chorume, objetivando encontrar uma estrutura e as condições ótimas para aplicação de testes e desenvolvimento da tecnologia; e de maneira quantitativa em relação a produção de eletricidade nas CCM's para avaliar seu potencial energético.

### **2.2 Análise do tratamento dos efluentes utilizando as CCMs**

O parâmetro utilizado para comparação do tratamento dos efluentes foi a diminuição da carga orgânica (DQO) dos efluentes. A análise da literatura será feita de maneira quantitativa em relação a remoção de DQO e qualitativamente em relação à origem dos efluentes e o tipo de CCM.

### **2.3 Investigação da sustentabilidade na utilização dos materiais das CCMs**

A sustentabilidade no uso das células combustíveis microbianas depende fortemente dos materiais utilizados em sua construção (TOMMASI; LOMBARDELLI, 2017), levando em conta não só o gasto energético para os produzir, mas também devido ao seu elevado custo (MUNOZ-CUPA et al., 2021). Desta maneira, serão investigados os materiais alternativos que podem ser utilizados nas CCMs visando viabilizar a aplicação deste tipo de tecnologia.

### 3. Resultados e discussões

#### 3.1 Geração de energia elétrica nas CCMs

##### 3.1.1 Alimentação com o lixiviado de aterro sanitário

Os trabalhos já realizados sobre as CCMs, alimentadas com o lixiviado de aterro sanitário, envolvem diferentes configurações, a exemplo do trabalho de Zhang e He (2013), que uniu duas CCMs tubulares em série e obteve valores mais significativos. As características do lixiviado também interferem nos resultados obtidos. Avaliando a Tabela 1 percebe-se que as células combustíveis microbianas de câmara dupla tendem a gerar mais eletricidade. As justificativas apresentadas por Wu et al. (2015) abordam a maior resistência interna e a maior susceptibilidade a difusão do oxigênio na câmara anódica de CCMs de câmara única, fatores que reduzem a eficiência do processo. Não fica explícito como a carga orgânica do efluente, que alimenta as CCMs, influencia na eficácia de geração de eletricidade visto que as configurações das CCMs também se alteram e não ficam estabelecidos parâmetros para comparação.

Tecnologia	Lixiviado	Densidade de Potência Máxima	Densidade de Corrente Máxima	Ref.
CCM de Câmara Dupla (Cúbica)	Idade - Intermediário DQO - 4000-7020 mg/l (pré-tratado)	158 mW/m <sup>2</sup>	712 mA/m <sup>2</sup>	(TUGTAS; CAVDAR; CALLI, 2013)
CCM de Câmara Dupla (Tubular e combinada)	Idade - Novo DQO - ~11400 mg/l	333,3 mW/m <sup>2</sup>	1854,67 mA/m <sup>2</sup>	(ZHANG; HE, 2013)
Processo de oxidação de Amônio + CCM de Câmara Dupla	Idade - Novo DQO - 18,435 mg/l	8 mW/m <sup>2</sup>	-	(LEE et al., 2013)
CCM de Câmara Dupla + Processo Anammox	Idade - Novo DQO - 18,435 mg/l	12 mW/m <sup>2</sup>	-	(LEE et al., 2013)
CCM de Câmara Única (Circular)	Idade - Antigo DQO - 2,130 ± 907 mg/l	31 mW/m <sup>2</sup>	101 mA/m <sup>2</sup>	(DAMIANO; JAMBECK; RINGELBERG, 2014)
CCM de Câmara Única (Circular escala maior)	Idade - Antigo DQO - 2,386 ± 907 mg/l	24 mW/m <sup>2</sup>	83 mA/m <sup>2</sup>	(DAMIANO; JAMBECK; RINGELBERG, 2014)

Tabela 1 – Geração de eletricidade com base no tipo de CCM e de lixiviado.

Fonte: do Autor.

##### 3.1.2 Alimentação com águas residuais

Os artigos que abordam o tratamento de águas residuais, de maneira análoga aos de lixiviado, também falam sobre CCMs de diversos tipos e configurações. Analisando a Tabela

2 percebe-se que nas águas residuais existe diferença no comportamento das CCMs, em comparação ao chorume, visto que o trabalho de Zhuang et al. (2012 apud MUNOZ-CUPA et al., 2021) apresenta o maior valor de densidade de potência entre os outros trabalhos utilizando uma CCM de câmara única. Ainda assim, da mesma maneira que o chorume, o tipo de água residual deve ter relevância nesses valores.

MFC configuration	Wastewater	Power	References
Dual	Hospital	14 W/m <sup>2</sup>	(Aelteman et al., 2006)
Single	Sludge	17.8 W/m <sup>3</sup>	(Ahn and Logan, 2010)
Dual	Combined industrial	769 mV	(Abbasi et al., 2016)
2 dual in parallel	Agro-food	27.3 W/m <sup>2</sup>	(Cecconet et al., 2018)
Dual	Brewery	8.001 µW/cm <sup>2</sup>	(Getinkaya et al., 2015)
MBR-Dual	Paper	56.1 mW/m <sup>2</sup>	(Chen et al., 2020)
2 dual in series	Brewery	26.4 kW h	(Dannys et al., 2016)
CW-MFC	Azo dye	61.9 mW/m <sup>3</sup>	(Fang et al., 2015)
Dual	Spent caustic	82.1 mV	(Fazli et al., 2018)
Dual	Vegetable oil	5839 mV	(Firdous et al., 2018)
3 chambers	Synthetic	111 mW/m <sup>2</sup>	(Gao et al., 2017)
96 tubular duals	Municipal	200 mW	(Ge and He, 2016)
Stacked MFC	Daily	290 mW/m <sup>2</sup>	(He et al., 2016)
4 single	Municipal	82 mW/m <sup>2</sup>	(Hiegemann et al., 2016)
Single	Seafood	570 mW/m <sup>2</sup>	(Jamal et al., 2020)
Up-flow	Retting	254 mW/m <sup>2</sup>	(Jayashree et al., 2015)
Up-flow	Seafood	105 mW/m <sup>2</sup>	(Jayashree et al., 2016)
4 single	Domestic	300 mW/m <sup>2</sup>	(Kim et al., 2015)
Single	Wood hydrothermal	178 mW/m <sup>2</sup>	(Kloch and Toczyłowska-Maminska, 2020)
MBR-dual	Synthetic	1358 mW/m <sup>3</sup>	(Li et al., 2015)
50 stacked triple chambers	Municipal	125 W/m <sup>3</sup>	(Liang et al., 2018)
Anaerobic baffled reactor-MFC	Fecal	450 mV	(Liu et al., 2017)
Single	Yogurt	1040 mW/m <sup>2</sup>	(Luo et al., 2017)
Dual	Swine	13 mW/m <sup>2</sup>	(D. Ma et al., 2016)
Up-flow single	Dairy	3.5 W/m <sup>3</sup>	(Marassi et al., 2020)
3 dual stacked	Biological treatment	822 mW/m <sup>2</sup>	(Mehranfar et al., 2019)
Single	Petroleum refinery	132 mW/m <sup>2</sup>	(Mohanakrishna et al., 2018)
Dual - photosynthetic cathode	Kitchen	41.5 mW/m <sup>2</sup>	(Naina Mohamed et al., 2020)
Dual	Landfill leachate	300 mV	(Nguyen et al., 2017)
Up-flow CW-MFC	Synthetic	93 mW/m <sup>2</sup>	(Nguyen et al., 2017)
Flat panel	Domestic	6.3 W/m <sup>3</sup>	(Park et al., 2017b)
Dual	Rice mill	656.1 mW/m <sup>3</sup>	(Raychaudhuri and Behera, 2020)
Dual	Distillery	63.8 mW/m <sup>2</sup>	(Samsudeen et al., 2015)
Single	Synthetic	14.41 mW/m <sup>2</sup>	(Sangcharoen et al., 2015)
Single	Tannery	7 mW/m <sup>2</sup>	(Sawadee and Pnutpaisal, 2016)
Up-flow MBR-MFC	Synthetic	44.4 mW/m <sup>2</sup>	(Thung et al., 2015)
MBR-MFC	Synthetic	2.18 W/m <sup>3</sup>	(Tian et al., 2015)
Dual	Industrial acid mine + municipal	1188 mW/m <sup>2</sup>	(Vélez-Pérez et al., 2020)
Dual	Yeast	6.1 mW	(Włodarczyk and Włodarczyk, 2018)
5 stacked MFC	Synthetic	50.9 W/m <sup>3</sup>	(Wu et al., 2016)
Dual	Organic acid fermentation	543.75 mW/m <sup>2</sup>	(Xia et al., 2019)
Single	Domestic	3.2 W/m <sup>3</sup>	(Ayyanu and Dharmalingam, 2011)
Dual	Starch	1.7 mA	(Gil et al., 2003)
Photosynthetic dual	Fruit juice	42.98 mW/m <sup>2</sup>	(Gonzalez del Campo et al., 2014)
Dual + fluidized bed	Alcohol distillery	93.33 mW/m <sup>2</sup>	(J. Huang et al., 2011)
Single	Paper recycling	144 mW/m <sup>2</sup>	(Huang and Logan, 2008)
Single	Swine	2.3 mW/m <sup>2</sup>	(Ichihashi and Hirooka, 2012)
Dual	Cassava mill	1771 mW/m <sup>2</sup>	(Kaewkamnetra et al., 2011)
Dual	Municipal	7.7 mW/m <sup>2</sup>	(Koök et al., 2016)
Dual	Food processing	230 mW/m <sup>2</sup>	(Mansoorian et al., 2013)
Cassette electrode	Synthetic	150 mW/m <sup>2</sup>	(Miyahara et al., 2013)
Single	Distillery	124.35 mW/m <sup>2</sup>	(Mohanakrishna et al., 2010)
Single	Sugar refinery	373 mW/m <sup>2</sup>	(Sun et al., 2009)
Single	Swine	175.7 W/m <sup>2</sup>	(Zhuang et al., 2012)

ND: not determined.

Tabela 2 - Geração de eletricidade com base no tipo de CCM e de água residual  
Fonte: (MUNOZ-CUPA et al., 2021)(adaptado)

### 3.2 Tratamento dos efluentes

Avaliando as Tabelas 3, 4 e 5 pode-se concluir que a remoção da carga orgânica dos efluentes é mais efetiva nas águas residuais do que nos lixiviados de aterro sanitário. Novamente, o tipo de efluente e suas características devem interferir diretamente no processo de tratamento. Além disso, outra afirmação possível é que as células combustíveis microbianas de câmara dupla realizam um tratamento mais eficaz visto que essas possuem maiores taxas de remoção da DQO, a exemplo dos trabalhos de Fazli et al. (2018 apud MUNOZ-CUPA et al., 2021) e Nguyen et al. (2017 apud MUNOZ-CUPA et al., 2021) com as CCMs alimentadas com as águas residuais, e Hassan et al. (2018 apud ELMAADAWY et al.,

2020) e Kumar et al. (2017 apud ELMAADAWY et al., 2020) com as CCMs alimentadas com o chorume. Outro ponto interessante de notar nas tabelas 4 e 5 é o fato de que são inúmeras as variáveis que influenciam no processo, como os materiais do ânodo e do cátodo, o modo de operação da célula combustível microbiana (modo contínuo ou batelada), o tipo de inóculo (micro-organismo) ou o tipo da membrana trocadora de íons.

MFC configuration	Wastewater	COD removal (%)	References
Dual	Hospital	60	(Aelteman et al., 2006)
Single	Sludge	25.8	(Ahn and Logan, 2010)
Dual	Combined industrial	77.4	(Abasi et al., 2016)
2 dual in parallel	Agro-food	80	(Ceconet et al., 2018)
Dual	Brewery	82	(Çetinkaya et al., 2015)
MBR-Dual	Paper	51.3	(Chen et al., 2020)
2 dual in series	Brewery	91.8	(Dannys et al., 2016)
CW-MFC	Azo dye	85.66	(Fang et al., 2015)
Dual	Spent caustic	98	(Fazli et al., 2018)
Dual	Vegetable oil	80	(Firdous et al., 2018)
3 chambers	Synthetic	97	(Gao et al., 2017)
96 tubular duals	Municipal	75	(Ge and He, 2016)
Stacked MFC	Daily	52	(He et al., 2016)
4 single	Municipal	40	(Hiegemann et al., 2016)
Single	Seafood	90	(Jamal et al., 2020)
Up-flow	Retting	70	(Jayashree et al., 2015)
Up-flow	Seafood	83	(Jayashree et al., 2016)
4 single	Domestic	54.2	(Kim et al., 2015)
Single	Wood hydrothermal	94	(Kloch and Toczyłowska-Maminska, 2020)
MBR-dual	Synthetic	90	(Li et al., 2015)
50 stacked triple chambers	Municipal	70	(Liang et al., 2018)
Anaerobic baffled reactor-MFC	Fecal	93	(Liu et al., 2017)
Single	Yogurt	87	(Luo et al., 2017)
Dual	Swine	83	(D. Ma et al., 2016)
Up-flow single	Dairy	94	(Marassi et al., 2020)
3 dual stacked	Biological treatment	84	(Mehranfar et al., 2019)
Single	Petroleum refinery	47	(Mohanakrishna et al., 2018)
Dual - photosynthetic cathode	Kitchen	73.5	(Naina Mohamed et al., 2020)
Dual	Landfill leachate	97	(Nguyen et al., 2017)
Up-flow CW-MFC	Synthetic	99	(Nguyen et al., 2017)
Flat panel	Domestic	85	(Park et al., 2017b)
Dual	Rice mill	85.22	(Raychaudhuri and Behera, 2020)
Dual	Distillery	63.5	(Samsudeen et al., 2015)
Single	Synthetic	57	(Sangcharoen et al., 2015)
Single	Tannery	88	(Sawadee and Pitsutpaisal, 2016)
Up-flow MBR-MFC	Synthetic	85	(Thung et al., 2015)
MBR-MFC	Synthetic	87.8	(Tian et al., 2015)
Dual	Industrial acid mine + municipal	15	(Vélez-Pérez et al., 2020)
Dual	Yeast	90	(Włodarczyk and Włodarczyk, 2018)
5 stacked MFC	Synthetic	97	(Wu et al., 2016)
Dual	Organic acid fermentation	75.59	(Xia et al., 2019)
Single	Domestic	80	(Ayyan and Dharmalingam, 2011)
Dual	Starch	ND	(Gü et al., 2003)
Photosynthetic dual	Fruit juice	75	(Gonzalez del Campo et al., 2014)
Dual + fluidized bed	Alcohol distillery	88.38	(J. Huang et al., 2011)
Single	Paper recycling	73	(Huang and Logan, 2008)
Single	Swine	91	(Ichihashi and Hirooka, 2012)
Dual	Cassava mill	72	(Kaewkametra et al., 2011)
Dual	Municipal	94.8	(Koók et al., 2016)
Dual	Food processing	86	(Mansoorian et al., 2013)
Cassette electrode	Synthetic	80	(Miyahara et al., 2013)
Single	Distillery	72.84	(Mohanakrishna et al., 2010)
Single	Sugar refinery	92	(Sun et al., 2009)
Single	Swine	77.1	(Zhuang et al., 2012)

ND: not determined.

Tabela 3 – Remoção de carga orgânica com base no tipo de CCM e de água residual  
Fonte: (MUNOZ-CUPA et al., 2021) (adaptado)

SCMFC		Anode/cathode material		Process variable	Max. Removal %	Ref.
Leachate	Mode				COD	
M	Real	Cont.	Carbon veil	Electrode surface area	79.4	(Galvez et al., 2009)
Y	Real	Batch	G. graphite/ Ru <sub>x</sub> Mo <sub>y</sub> Se <sub>z</sub>	Electrode type	70	(Vazquez-Larios et al., 2014)
			G. graphite / Pt		85	
Y	Real	Batch	Granular graphite / Ru <sub>x</sub> Mo <sub>y</sub> Se <sub>z</sub>	Inoculum type	71	(Vazquez-Larios et al., 2015)
O	Real	Cont.	Granular graphite/ Carbon cloth	Organic loading rate	37	(Puig et al., 2011)
O	Real	Batch	Activated carbon/ Carbon cloth	Electrode type and operation mode	74.7	(Ganesh and Jambeck, 2013)
		Semi-cont.	Graphite rods/ Carbon cloth		21.7	
Y	Real	Batch	Graphite flakes/ Carbon Cloth	Membrane type	39.3	(Hernandez-Flores et al., 2015)
Y	Real	Batch	Graphite sheet / carbon paper	Electrode surface area	-	(Sonawane et al., 2017)
-	MWW	Batch	Graphite flakes / Carbon cloth	Influent Substrate type	80	(Hernandez-Flores, 2017a)
-	MWW/LFL				86	
Y	Real				53	
Y	Real	Batch	Graphite flakes / Carbon cloth	Inoculum ratio	7.4	(Hernandez-Flores et al., 2017b)
O	Real	Batch	Graphite plate / woven carbon cloth	Reactor configure	16	(Darniano et al., 2014)
Y	Real	Batch	Carbon paper / carbon cloth	Reactor configure	69.5	(You et al., 2006)
Y	Real	Cont.	Carbon cloth	Reactor configure	89.4	(Zhang et al., 2008)

Y: young landfill leachate; M: intermediate landfill leachate; O: Old landfill leachate; LFL: landfill leachate; MWW: municipal wastewater; SCMFC: single chamber microbial fuel cell; COD: chemical oxygen demand; BOD<sub>5</sub>: biological oxygen demand; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: ammonia nitrogen.

Tabela 4 – Remoção de carga orgânica a partir de CCMs de câmara única com base no tipo de chorume, de material do ânodo/cátodo e na variável do processo  
Fonte: (ELMAADAWY et al., 2020)(adaptado)

DCMFC		Anode/cathode material		Process variable	Max. Removal %	Ref.
Substrate	Mode				COD	
Y	Real	Cont.	Carbon veil	Organic load	56	(Greenman et al., 2009)
O	Synthetic	Batch	Carbon felt	Aeration mode	65.1	(Huang et al., 2018)
-	FW-LFL	Batch	Carbon felt	Substrate type	80	(Li et al., 2013)
-	Real	Cont.	Carbon black	Electrode	-	(Alabiad et al., 2017)
			Active carbon	type	-	
			Zinc		-	
Y	Simulated	Batch	Carbon cloth	Leachate type	90	(Li and Chen, 2018a)
Y	Simulated	Batch	Carbon rods	Recirculation mode	72.2	(Moharir and Tembhurkar, 2018)
Y	Real	Batch	Carbon felt	Leachate	90	(Hassan et al., 2018)
Y	Real	Cont.		type	55.5	
O	Real	Batch			-	
Y	Real	Batch	Mixed metal oxide titanium (Ti-TiO <sub>2</sub> )	Organic load	45	(Ozkaya et al., 2013)
M	Real	Batch	Activated carbon	Reactor configure	-	(You et al., 2006)
-	Real		Graphite sheets	Microbial community	100	(Kumar et al., 2017)

Y: young landfill leachate; M: intermediate landfill leachate; O: mature landfill leachate; LFL: landfill leachate; DCMFC: Dual chamber microbial fuel cell; COD: chemical oxygen demand; BOD<sub>5</sub>: biological oxygen demand; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: ammonia nitrogen; FW: food waste.

Tabela 5 – Remoção de carga orgânica a partir CCMs de câmara dupla com base no tipo de chorume, de material do ânodo/cátodo e da variável do processo  
Fonte: (ELMAADAWY et al., 2020)(adaptado)

### 3.3 Sustentabilidade dos materiais das CCMs

Na investigação dos possíveis materiais sustentáveis na construção das células combustíveis microbianas, foi dado também enfoque aos materiais de baixo custo visando viabilizar a utilização da tecnologia. Um dos fatores que envolvem os elevados custos é a utilização de platina como material catalisador no cátodo. Uma proposta para sua substituição foi a aplicação do espinafre carbonizado como elemento catalisador alternativo (LIU et al., 2020). Outro componente que tem materiais de alto custo e de origem fóssil é a membrana de troca de íons, que geralmente é feita de um copolímero de Teflon chamada Nafion. Uma alternativa promissora, principalmente no caso das CCMs, é a membrana de celulose bacteriana, que além de ser de origem sustentável, possui a característica de ser biocompatível visto que também foi produzida a partir de micro-organismos (VILELA et al., 2019). Por fim, tendo como objetivo a sustentabilidade na estrutura de construção das CCMs, um material biodegradável e de baixo custo é o ácido polilático (PLA) que foi relatado como possível constituinte dessa tecnologia (SERRA; ESPÍRITO-SANTO; MAGRINHO, 2020).

## 4. Conclusões

O crescimento populacional é uma realidade intrínseca à humanidade e a produção de resíduos é inevitável e proporcional até que se conscientize a população sobre as consequências desse contexto. A disposição desses resíduos nos aterros sanitários será massiva e a produção de lixo de aterro sanitário tenderá a aumentar. O mesmo ocorre para o serviço de saneamento básico que sobrecarregado tende a ser sucateado e não atenderá toda população. Gerar energia a partir desses resíduos é uma maneira efetiva de reduzir a dependência de fontes não renováveis e tratar esses resíduos evitando a poluição do meio ambiente e problemas na saúde pública.

As CCM's não são uma realidade do Brasil, mas no mundo estão se desenvolvendo inúmeras pesquisas, explicitando o crescimento dessa tecnologia, principalmente devido a produção direta de eletricidade. Além disso, nesse trabalho foram apresentados materiais alternativos que viabilizam economicamente e ambientalmente a tecnologia além de mostrar possível uma abordagem holística na utilização das CCMs.

É necessário um amadurecimento da tecnologia, mas já estão sendo realizadas pesquisas projetando CCM's de larga escala. Uma tendência futura geral é a redução no tamanho das CCM's e a multiplicidade do número total de unidades, pelo uso da modularidade, como uma forma de superar as limitações de transporte e perdas ôhmicas em vez de aumentar uma única unidade (GAJDA; GREENMAN; IEROPOULOS, 2018) (LEE et al., 2013).

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Referências

- ABOURACHED, Carole; LESNIK, Keaton Larson; LIU, Hong. Enhanced power generation and energy conversion of sewage sludge by CEA-microbial fuel cells. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 166, p. 229–234, 2014. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.05.027. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.027>.
- CAPODAGLIO, A. G.; MOLOGNONI, D.; DALLAGO, E.; LIBERALE, A.; CELLA, R.; LONGONI, P.; PANTALEONI, L. Microbial Fuel Cells for Direct Electrical Energy Recovery from Urban Wastewaters. **The Scientific World Journal**, [S. l.], v. 2013, p. 634738, 2013. DOI: 10.1155/2013/634738. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2013/634738>.
- DAMIANO, Lisa; JAMBECK, Jenna R.; RINGELBERG, David B. Municipal solid waste landfill leachate treatment and electricity production using microbial fuel cells. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, [S. l.], v. 173, n. 2, p. 472–485, 2014. DOI: 10.1007/s12010-014-0854-x.
- ELMAADAWY, Khaled; LIU, Bingchuan; HU, Jingping; HOU, Huijie; YANG, Jiakuan. Performance evaluation of microbial fuel cell for landfill leachate treatment: Research updates and synergistic effects of hybrid systems. **Journal of Environmental Sciences (China)**, [S. l.], v. 96, p. 1–20, 2020. DOI: 10.1016/j.jes.2020.05.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.05.005>.
- GAJDA, Iwona; GREENMAN, John; IEROPOULOS, Ioannis A. Recent advancements in real-world microbial fuel cell applications. **Current Opinion in Electrochemistry**, [S. l.], v. 11, p. 78–83, 2018. DOI: 10.1016/j.coelec.2018.09.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2018.09.006>.

GANESH, Krishnadas; JAMBECK, Jenna R. Treatment of landfill leachate using microbial fuel cells: Alternative anodes and semi-continuous operation. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 139, p. 383–387, 2013. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.04.013.

GUDE, Veera Gnaneswar. Wastewater treatment in microbial fuel cells - An overview. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 122, n. December 2016, p. 287–307, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.022.

HERNÁNDEZ-GARCÍA, Andrea; VELÁSQUEZ-ORTA, Sharon B.; NOVELO, Eberto; YÁÑEZ-NOGUEZ, Isaura; MONJE-RAMÍREZ, Ignacio; ORTA LEDESMA, María T. Wastewater-leachate treatment by microalgae: Biomass, carbohydrate and lipid production. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 174, n. August 2018, p. 435–444, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.02.052. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.052>.

LEE, Yongwoo et al. Power generation and nitrogen removal of landfill leachate using microbial fuel cell technology. [S. l.], v. 3330, n. May, 2013. DOI: 10.1080/09593330.2013.788040.

LIU, Xiaojun; CULHANE, Casey; LI, Wenyue; ZOU, Shouzhong. Spinach-Derived Porous Carbon Nanosheets as High-Performance Catalysts for Oxygen Reduction Reaction. **ACS Omega**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1021/acsomega.0c02673.

MUNOZ-CUPA, Carlos; HU, Yulin; XU, Chunbao; BASSI, Amarjeet. An overview of microbial fuel cell usage in wastewater treatment, resource recovery and energy production. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 754, p. 142429, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142429. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142429>.

RACHINSKI, Silvio; CARUBELLI, Ademir; MANGONI, Ana Paula; MANGRICH, Antonio S. Pilhas de combustíveis microbianas utilizadas na produção de eletricidade a partir de rejeitos orgânicos: uma perspectiva de futuro. **Química Nova**, [S. l.], v. 33, n. 8, p. 1773–1778, 2010. DOI: 10.1590/s0100-40422010000800026.

SELURB. **Índice De Sustentabilidade Da Limpeza Urbana**. [s.l.: s.n.].

SERRA, P. M. D.; ESPÍRITO-SANTO, A.; MAGRINHO, M. An Experimental Setup for Microbial Fuel Cells Construction, Evaluation, and Study. **Instruments and Experimental Techniques**, [S. l.], v. 63, n. 4, p. 567–576, 2020. DOI: 10.1134/S0020441220040326.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. [s.l.: s.n.].

TOCZYŁOWSKA-MAMIŃSKA, Renata. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 78, p. 764–772, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117306561>.

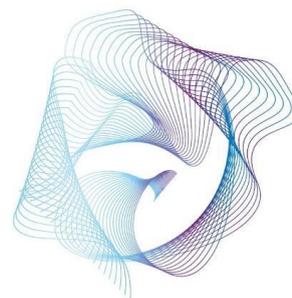
TOMMASI, Tonia; LOMBARDELLI, Giorgia. Energy sustainability of Microbial Fuel Cell (MFC): A case study. **Journal of Power Sources**, [S. l.], v. 356, p. 438–447, 2017. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.03.122. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.122>.

VILELA, Carla; SILVESTRE, Armando J. D.; FIGUEIREDO, Filipe M. L.; FREIRE, Carmen S. R. Nanocellulose-based materials as components of polymer electrolyte fuel cells. **Journal of Materials Chemistry A**, [S. l.], v. 7, n. 35, p. 20045–20074, 2019. DOI: 10.1039/c9ta07466j.

WANG, Jie; BI, Fanghua; NGO, Huu Hao; GUO, Wenshan; JIA, Hui; ZHANG, Hongwei; ZHANG, Xinbo. Evaluation of energy-distribution of a hybrid microbial fuel cell-membrane bioreactor (MFC-MBR) for cost-effective wastewater treatment. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 200, p. 420–425, 2016. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.10.042.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## **Edifícios residenciais e conforto térmico por condicionadores de ar: Estudo de caso no Norte do Brasil, Belém/PA.**

Isabella de Fátima Santos Miranda\*

\*Programa de Pós-Graduação em Energia. Instituto de Energia e Ambiente – Universidade de São Paulo.  
E- mail: ifsmiranda@usp.br

### **Resumo:**

O aquecimento global tem aumentado a temperatura da superfície terrestre, fazendo com que a busca por ambientes termicamente confortáveis também aumente. Regiões do globo normalmente quentes, são mais atingidas pelo desconforto térmico, refletindo em um maior uso de condicionadores de ar. O estudo foi realizado na cidade de Belém do Pará, a qual está inserida na zona bioclimática 8, em um clima quente úmido de temperaturas elevadas. Cinco residências em edifícios foram pesquisadas, explorando o fator de temperatura ambiental, o qual foi relacionando aos posicionamentos geográficos das moradias e a frequência do uso de AC (ar-condicionado). Os resultados obtidos mostram que moradores de unidades localizadas no poente utilizam mais o AC, visto o aumento de temperatura no turno vespertino e a necessidade em atenuar o calor, o que torna suas contas de energia mais caras.

**Palavras-chave:** Residências, Conforto, Temperatura, Norte.

***Abstract:** Global warming has increased the temperature of the Earth's surface, making the search for more thermally comfortable environments increase. Regions of the globe that are normally hot are more affected by thermal discomfort and with this, the use of air conditioners has increased. The study was carried out in the city of Belém do Pará, which is located in bioclimatic zone 8 in a hot humid climate and high temperatures. Five residences in buildings were surveyed, exploring the environmental temperature factor, relating it to the geographic positioning of houses and the frequency of AC use (air conditioning). The results obtained show that residents of units located in the west position consume more, given the increase in the afternoon temperature and the need for them to attenuate the heat, which makes their energy bills more expensive*

***Keywords:** Houses, Comfort, Temperature, North.*

## **1. Introdução.**

O avanço do aquecimento global tem trazido consequências climáticas e térmicas em todo o globo. Tal realidade, está aumentando a busca por ambientes termicamente agradáveis para moradia e consequentemente a demanda por energia.

A densidade populacional em centros urbanos apresenta uma tendência de crescimento ao longo dos anos, gerando maior necessidade por ambientes internos confortáveis supridos

por sistemas artificiais. Segundo o World Bank (2021), 55% da população mundial vive em áreas urbanas atualmente e até 2045, o número de pessoas morando em cidades será de 2 bilhões a mais.

Mundialmente, o setor de edificações e construção de edifícios, são responsáveis por 1/3 do consumo global final de energia e quase 40% de emissões diretas e indiretas de  $CO_2$  (IEA, 2021). Esta realidade tende a aumentar em consequência do acesso cada vez maior a energia em países em desenvolvimento, ao acréscimo na posse e uso de eletrodomésticos, e ao número de edificações.

O conforto térmico é uma condição que expressa satisfação com a temperatura ambiente, contribuindo positivamente para a realização de atividades humanas (ASHRAE, 2004). As condições para conforto térmico podem variar entre pessoas, visto diferenças fisiológicas e psicológicas.

Atualmente, a adoção de aparelhos de Ar- condicionado (AC) tem crescido como forma de melhorar o conforto térmico em prédios residenciais. O AC configura-se como principal aparelho para aumento da demanda de eletricidade em prédios, onde unidades residenciais totalizam cerca de 68% do uso de Ar- condicionados (IEA, 2021).

A necessidade por ambientes artificialmente regulados, influenciam de modo geral na demanda e distribuição de eletricidade principalmente em períodos mais quentes como o verão. Cidades localizadas em regiões com temperaturas elevadas, como em países em desenvolvimento no hemisfério sul do planeta, são mais atingidas pelos efeitos do aquecimento global, o que impulsiona o uso de condicionadores de ar para obtenção de conforto térmico nestas localidades.

Arelado a isto, existe o aumento no consumo de energia elétrica, tornando a conta de energia final do consumidor cada vez maior. A demanda por ambientes termicamente agradáveis e maior adesão de AC, tem estimulado a opção por tecnologias mais eficientes como forma de diminuir o consumo final.

### **1.1. Justificativa.**

Atualmente a questão energética brasileira é tópico de importante discussão, frente a possíveis problemas relacionados a gestão de energia. Parte de toda energia consumida no Brasil pertence às edificações residenciais, fazendo necessária a busca por soluções para reduzir a demanda de energia.

Em regiões mais quentes, o posicionamento espacial de imóveis pode influenciar nos hábitos de consumidores residenciais em busca de conforto térmico. Portanto, o presente trabalho busca relacionar o maior uso de condicionadores de ar ao posicionamento de residências verticais, bem como contribuir na discussão sobre o tema na cidade de Belém do Pará.

### **1.2. Objetivos.**

Pretende-se investigar:

- 1) Se residências com direção poente apresentam maior desconforto térmico do que unidades nascentes.
- 2) A participação do AC para manutenção do conforto térmico, bem como seu impacto no aumento de energia elétrica.

## 2. Metodologia.

O estudo foi realizado na cidade de Belém do Pará, em cinco prédios residenciais por diferentes bairros da capital (Figura 1). Belém é uma cidade do Norte brasileiro, com clima tropical quente e úmido, inserida na zona bioclimática 8 (ABNT, 2003), apresentando temperaturas dominantes entre 25° e 30 °C e sensação térmica entre 29° e 37° (INMET, 2021).

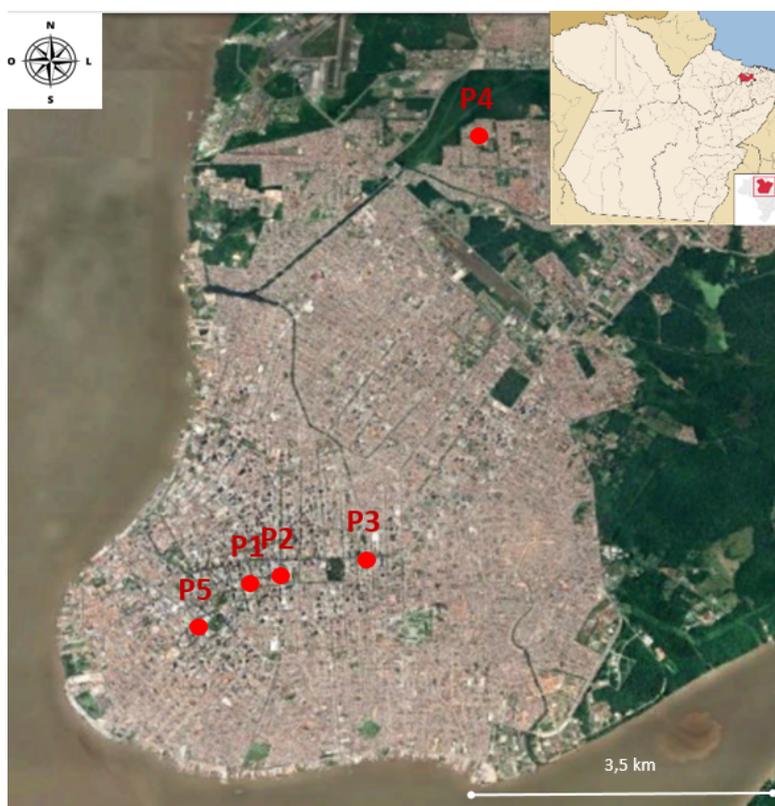


Figura 1: Mapa de localização de pontos estudados na cidade de Belém/PA.  
Fontes: GOOGLE EARTH, 2021. IBGE, 2021.

A metodologia foi baseada em um momento inicial com revisão bibliográfica da temática de conforto térmico e AC. Após, foi realizada pesquisa de campo para medir a temperatura ambiente das residências selecionadas, utilizando bússola (Nautika) para posicionar geograficamente os pontos no mapa. As direções de localização dos imóveis foram plotadas no programa OpenStereo® com a finalidade de gerar uma roseta contendo informações sobre as disposições espaciais.

As medições de temperatura ambiente foram realizadas nos turnos matutino (8:00 – 11:00 hrs) e vespertino (14 – 16:00 hrs), utilizando o termômetro Richmeters 550 PRO (*Standarts* EN61326-1, EN608225-1). Ainda, assumiu-se para este trabalho o intervalo de conforto térmico entre 25° C e 28° C (ASHRAE, 2004) e tarifa de R\$ 0,70 o Kwh (Equatorial Energia).

Os hábitos dos ocupantes em relação ao conforto térmico também foram analisados através de um questionário. A partir destas informações, foi realizado um estudo a respeito do uso e impacto no consumo de energia por condicionadores de ar, relacionando as moradias com seus respectivos posicionamentos (nascente ou poente).

### 3. Resultados e discussões.

Vários são os fatores que influenciam nas condições de conforto termal: Taxa metabólica, vestuário, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade (ASHRAE, 2004). Neste trabalho foi explorado o fator relacionado a temperatura do ar. Em Belém, o clima quente e úmido perdura durante todo o ano, com temperaturas mais amenas pela noite e manhã, elevando-se no período da tarde.

A Figura 2 mostra as condições climáticas durante o dia em Belém. Observa-se que a sensação térmica supera os valores de temperatura, estando relacionado com a umidade alta da região. As temperaturas são muito maiores no período vespertino, onde a irradiação solar é maior, fazendo com que moradores busquem por alternativas para obter conforto térmico.

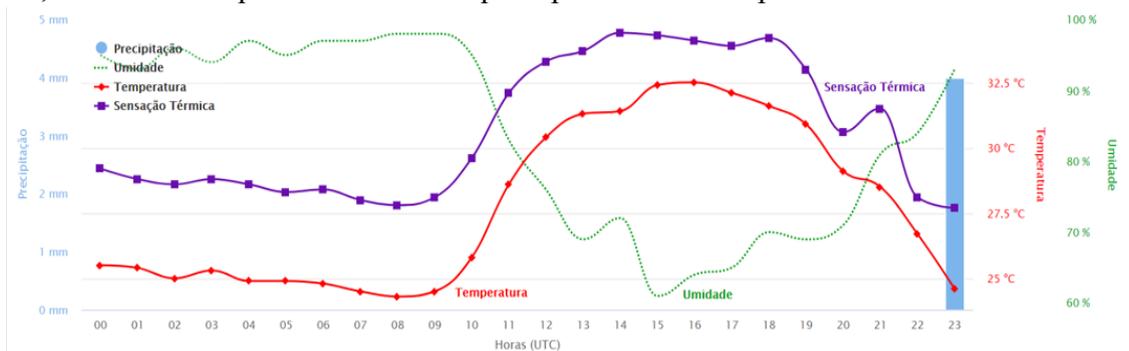


Figura 2: Condições climáticas diárias em Belém.  
Fonte: INMET, 2021.

As 5 residências pesquisadas apresentam localizações preferenciais para o leste (nascente) e oeste (poente). Os dados obtidos revelaram que a média de temperatura pela manhã nas unidades é de 28,1°C (poente e nascente apresentaram medições parecidas), sendo ainda termicamente confortável e de acordo com o padrão de conforto de ASHRAE (2004). Porém a média de temperatura das residências no turno vespertino do poente, são de 35,9 °C, enquanto que nas unidades nascente são de 30,1°C, sendo uma diferença considerável de 5,8 °C (Figura 3).

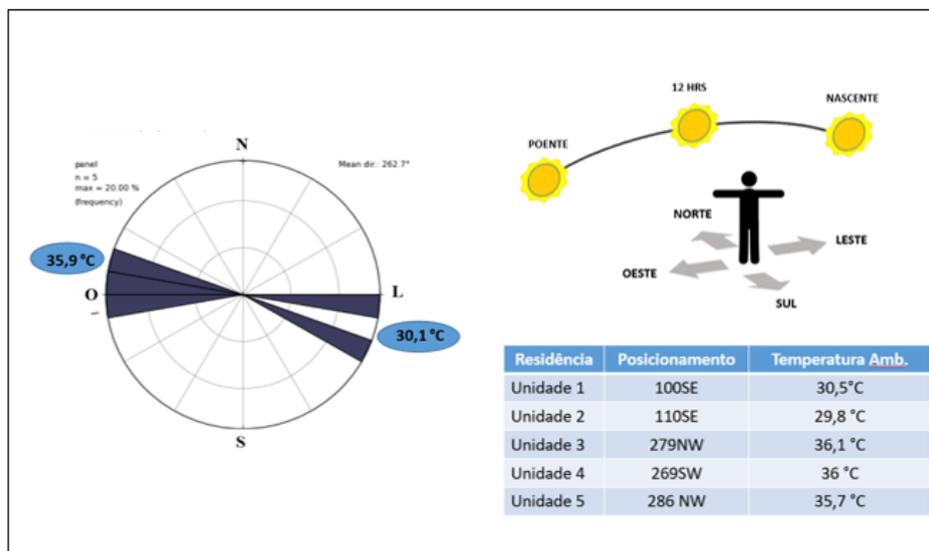


Figura 3: Diagrama de roseta com as direções geográficas das residências. As unidades do nascente apresentam média de conforto térmico maior em relação as unidades poente.

Fonte: Do Autor, 2021.

Para atenuar o desconforto térmico ambiental em residências, a maioria dos moradores pesquisados preferem abrir janelas e/ou mudar suas vestimentas antes de optar pelo uso de aparelhos como ventiladores e AC. Ainda, ao decidir pelo uso de eletrodomésticos, a maioria dos entrevistados preferem inicialmente o ventilador e em último caso o AC em função da economia de eletricidade.

Desta forma, as unidades no nascente fazem menor uso de AC pela tarde, podendo manter o conforto pelo uso de ventilador e ocasionalmente AC, sendo seu posicionamento geográfico termicamente mais aceitável e conseqüentemente mais econômico. As contas de energia elétrica mostram que o consumo de AC em unidades situadas ao poente cooperam com 19,2% a mais no consumo e AC (Figura 4). É interessante salientar que o fluxo principal de ventos na cidade vêm do leste (Figura 5) , fazendo com que as unidades da nascente possuam melhor circulação de ar e portanto temperaturas mais confortáveis.

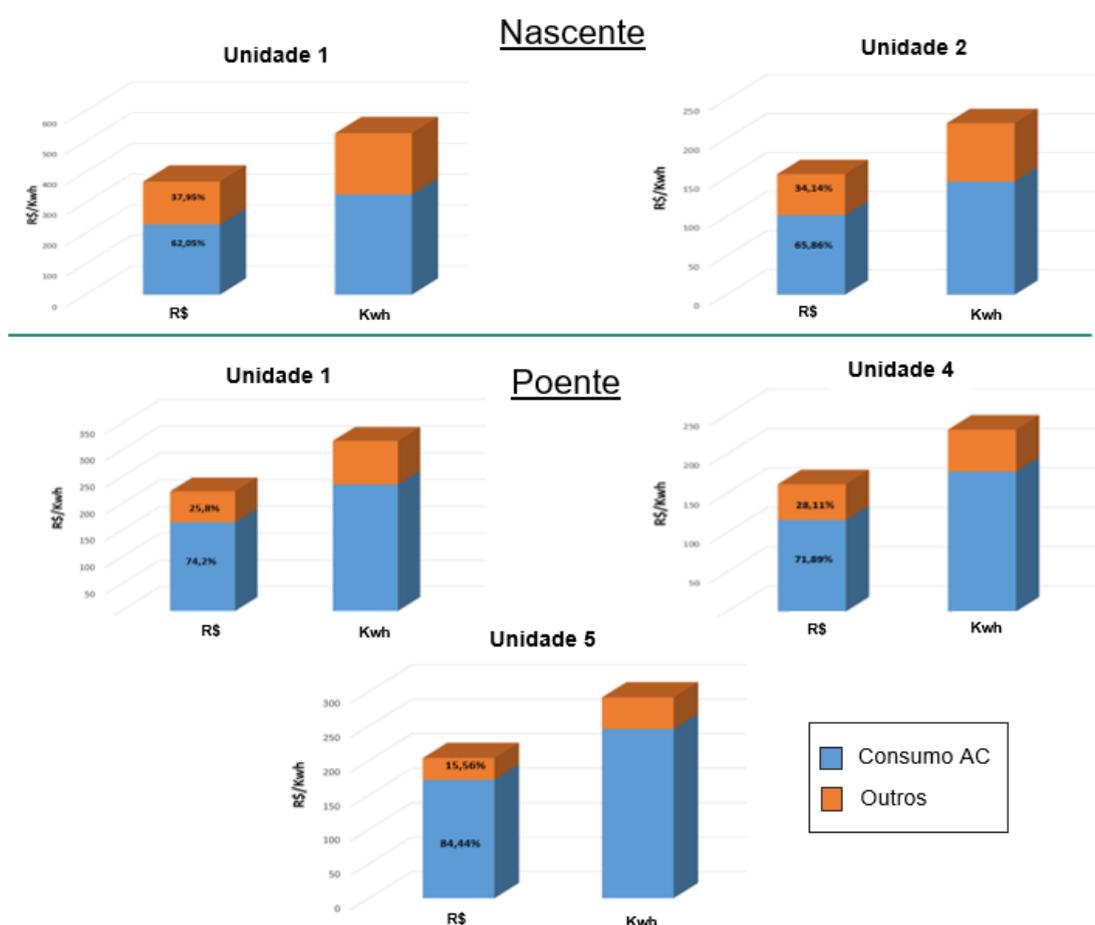


Figura 4: Participação do consumo de AC na conta de energia das unidades pesquisadas. O consumo de unidades direcionadas para o poente são maiores.

Fonte: Do Autor, 2021.

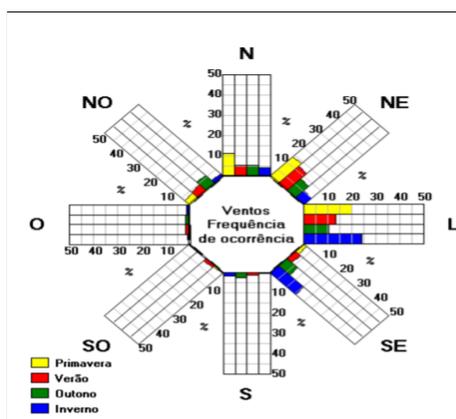


Figura 5: Direção preferencial dos ventos em Belém ocorre em especial para o leste e nordeste. Fonte: CADERNAL, 2017.

O uso de condicionador em Belém contrasta com a média do Brasil, sendo o quinto equipamento mais eletrointensivo, com participação de 5,35% no consumo residencial (PROCEL, 2021). Na cidade de Belém, os dados obtidos evidenciam que este é o aparelho com maior consumo na energia final, correspondendo a uma média de 76,76%.

Os moradores relataram ainda que a manutenção de AC do tipo *inverter* são frequentes e caras em relação aos normais, sendo um equipamento com menor custo-benefício. Talvez estes aparelhos sejam mais sensíveis ao clima quente e úmido da cidade paraense, porém é um tópico que demanda de mais estudos.

#### 4. Conclusões

Cidades localizadas em zonas mais quentes (zona bioclimática 8) tendem a sofrer cada vez mais com a elevação da temperatura na superfície da Terra. A busca por ambientes termicamente agradáveis é questão de saúde pública, a qual deverá aumentar a demanda e consumo de eletricidade.

O estudo mostrou que o posicionamento geográfico para leste contribui de forma positiva para economia de energia, uma vez que reduz a necessidade do uso de eletrodomésticos eletrointensivos. Para unidades já localizadas no poente, o uso de ventilação cruzada é uma alternativa interessante, juntamente com a adoção de AC com melhor eficiência.

Ainda, a pandemia de COVID-19 intensificou o consumo de energia por AC, visto que os moradores tiveram que fazer suas atividades em casa. É interessante salientar que famílias humildes sofrem mais com o desconforto térmico e seus malefícios, uma vez que a adoção de AC depende de certo poder aquisitivo (DAVIS et al, 2021).

Muitas residências sofrerão com o aumento de calor e diminuição de conforto térmico impulsionado pelo aquecimento global, fazendo com que consumidores adotem hábitos mais eficientes, desde a escolha do posicionamento da moradia, até o momento de uso de AC.

#### Agradecimentos

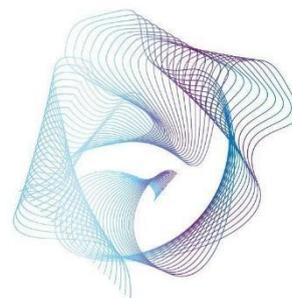
O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES).

## Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 2003.
- ASHRAE. Standard 55-2017. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta USA, 2004.
- CARDENAL, M.E.C. Metodologia para avaliação do desempenho térmico em edificações: Estudo de Caso aplicado a Edifício Habitacional na cidade de Belém do Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém/ PA. 138p.2017.
- DAVIS,L., GERTLER, P., JARVIS, S., WOLFRAM,C. Air conditioning and global inequality. **Global Environmental Change**. 60. 2021.
- GOOGLE EARTH. Programa Google Earth Pro. Maxer Technologies. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso 10/08/2021.
- IEA. International Energy Agency. Disponível em <https://www.iea.org/topics/buildings>. Acesso 20/09/2021.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso 17/10/2021.
- PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNmE3YjY2ZjctM2NkMi00MTYwLWE1OTktYWVmNTNkNDI1YWwkaWwidCI6IjhhMGZmYjU0LTk3MTYtNGE5My05MTU4LTIIM2E3MjA2ZjE4ZSJ9>. Acesso 20/09/2021.
- WORLDBANK. Disponível em <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment>. Acesso 15/09/2021.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Estrutura de Mercado de Veículos Elétricos no Brasil

Érica Machado da Silva Guerreiro\*.

\*Doutoranda em Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP.  
E-mail: ericaguerreiro@usp.br

**Resumo:** Os veículos elétricos desempenham um importante papel no cenário de transição energética em razão da redução e/ou ausência de emissão de gases poluentes. O presente trabalho tem por objetivo analisar a estrutura de mercado e penetração de veículos elétricos no Brasil, de maneira a estudar a dinâmica tecnológica e de consumo, identificando as principais barreiras e esforços à sua expansão. Foram apresentados os dados de participação no mercado e da frota em circulação. Foi observado que o sistema de recarga é considerado um dos maiores desafios, já que ainda não há dados suficientes na literatura sobre o comportamento dos usuários e de suportabilidade das redes de distribuição. Os resultados demonstraram que o setor de veículos elétricos apresenta potencial, mas que precisa ser aprimorado através de investimentos em ampliação da malha de recarga, incentivos fiscais e estudos de planejamento no país.

**Palavras chave:** veículos elétricos, eletromobilidade, baterias, íons lítio, energia.

**Abstract:** *Electric vehicles have an important role in the energy transition scenario due to the reduction and/or absence of pollutant gas emissions. This paper aims to analyze the market structure and penetration of electric vehicles in Brazil in order to study the technological and consumption dynamics, identifying the main barriers and efforts to their expansion. It was presented informations related to the market share and vehicles fleet in circulation. It was observed that the recharging system is considered one of the biggest challenges to the sector, since there is no enough data in the literature about the users' behavior and the supportability of distribution grid. The results showed that the electric vehicle sector presents potential although it needs to be developed through investments in recharging infrastructure expansion, subsidies and planning studies in the country.*

**Keywords:** *electric vehicles, electromobility, batteries, lithium ion, energy.*

### 1. Introdução

O setor de transportes é um dos maiores responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) do país e por essa razão, os carros elétricos se apresentam com importante papel em um cenário de transição energética (SOUZA e HIROI, 2021). Os veículos elétricos (VEs) são aqueles que utilizam um ou mais motores alimentados por eletricidade, cujo armazenamento é feito em baterias químicas (FGV, 2017).

Os principais tipos de veículos elétricos segundo FGV (2017), são:

- I. Veículos Elétricos à Bateria (BEVs, do inglês *Battery Electric Vehicles*) – o motor elétrico é alimentado pela eletricidade, que é armazenada em uma bateria interna e é responsável pela propulsão;
- II. Veículos Elétricos Híbridos – possuem um motor elétrico e um motor à combustão interna para propulsão. Os VEs híbridos podem ser: híbrido puro, híbrido *plug-in* e híbrido de longo alcance.
  - a) Híbrido Puro (HEV, do inglês *Hybrid Electric Vehicle*) - O motor principal à combustão interna é responsável pela propulsão do veículo, enquanto o motor elétrico tem eletricidade obtida pela frenagem regenerativa do veículo;
  - b) Híbrido *Plug-in* (PHEV, do inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) – o motor à combustão é o principal para mover o veículo, com auxílio de um pequeno motor elétrico. O veículo utiliza combustíveis tradicionais (fósseis ou biocombustíveis).
  - c) Híbrido de Longo Alcance ou Veículo Elétrico com Autonomia Estendida (E-REV, do inglês *Extended Range Electric Vehicle*) – o motor elétrico é o principal para mover o veículo, com o motor à combustão interna gerando eletricidade para o elétrico.

A maioria dos carros elétricos tem a bateria feita de íons de lítio (*li-ion*) em razão do melhor desempenho e menor custo quando comparados às baterias de hidreto metálico de níquel (Ni-MH) ou às de cloreto de sódio e níquel (Na-NiCl<sub>2</sub>). A autonomia, distância total percorrida por recarga da bateria, pode variar em função de cada modelo. O desejado é que as baterias de veículos elétricos tenham maior duração, menor tempo de recarga, maior densidade energética, sejam mais leves e baratas, além de seguras e recicláveis (SOUZA e HIROI, 2021).

## 2. Metodologia

O presente estudo é uma abordagem qualitativa a partir de uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, baseada em referências teóricas e em dados de mercado. Os dados foram obtidos majoritariamente a partir de estudos de agências de energia.

A primeira etapa da pesquisa envolveu o levantamento das características tecnológicas dos veículos elétricos. Em seguida, foi feita uma análise da estrutura de mercado (informações da frota de veículos e participação no mercado) e identificação das principais barreiras à penetração de VEs no Brasil.

## 3. Resultados e discussões

A frota de veículos elétricos vendidos no Brasil de janeiro de 2012 a abril de 2021 corresponde a 49.559 veículos, cujo melhor desempenho na história da eletromobilidade no país foi obtido em abril de 2021 com um total de 2.708 veículos emplacados, representando 1,6% da fatia de mercado interno (ABVE, 2021). Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE, 2021), foram emplacados 7.290 veículos elétricos híbridos (HEV), híbridos *plug-in* (PHEV) e elétricos a bateria (BEV) - no período de janeiro a abril de 2021, sendo desse total 53% híbridos (3.869 veículos), 41% híbridos *plug-in* (2.993 veículos) e 6% veículos elétricos 100% a bateria (428 veículos), como mostrado na Figura 1.

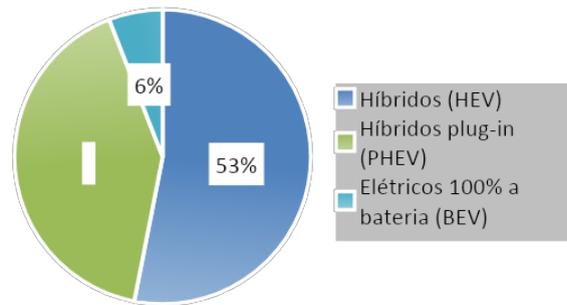


Figura 1 – Distribuição de emplacamentos de VEs no Brasil por tecnologia de janeiro a abril de 2021.  
Fonte: A autora, a partir de dados da ABVE (2021)

A Figura 2 apresenta um gráfico com a série histórica 2012-2020 com os dados equivalentes às vendas totais anuais de VEs no Brasil, em que pode ser observado um crescimento significativo passando de 117 veículos vendidos em 2012 para 19.745 veículos vendidos em 2020.

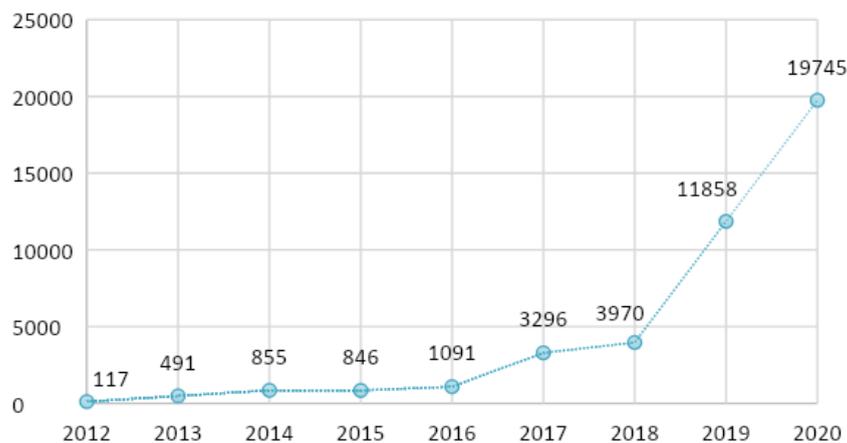


Figura 2 – Emplacamentos anuais de VEs no Brasil 2012-2020.  
Fonte: A autora, a partir de dados da ABVE (2021)

\*São considerados os emplacamentos anuais apenas de carros elétricos de modelos: híbridos (HEV), híbridos *plug-in* (PHEV) e elétricos 100% a bateria (BEV). Dados de agosto de 2021.

A Neocharge, empresa de serviços e infraestrutura para mobilidade elétrica, desenvolveu um portal virtual de acesso às informações da frota de carros elétricos no Brasil obtidos a partir do banco de dados do Departamento Nacional de Trânsito (Denatran). A frota de 54.340 veículos elétricos em circulação no Brasil era composta em agosto de 2021 por 39.799 veículos híbridos (HEV), 11.798 veículos híbridos *plug-in* (PHEV) e 2.743 veículos elétricos 100% a bateria (BEV) (NEOCHARGE, 2021).

A Tabela 1 mostra a frota de veículos elétricos (híbridos, híbridos *plug-in* e elétricos 100% a bateria) no Brasil, a qual corresponde a um total de 54.340 veículos, cuja maior participação é a do estado de São Paulo (33,86%), equivalente a 18.402 VEs.

Frota de Veículos Elétricos (HEV, PHEV e BEV) por Estado			
Posição	Estado	Quantidade	% QTD
1º	São Paulo	18.402	33,86%
2º	Minas Gerais	4.010	7,38%

3°	Santa Catarina	3.678	6,77%
4°	Paraná	3.614	6,65%
5°	Rio de Janeiro	3.599	6,62%
6°	Rio Grande do Sul	3.104	5,71%
7°	Distrito Federal	2.487	4,58%
8°	Bahia	2.152	3,96%
9°	Goiás	1.530	2,82%
10°	Espírito Santo	1.481	2,73%
11°	Não Informado	1.381	2,54%
12°	Pernambuco	1.347	2,48%
13°	Mato Grosso	1.097	2,02%
14°	Ceará	1.076	1,98%
15°	Mato Grosso do Sul	813	1,50%
16°	Pará	709	1,30%
17°	Maranhão	604	1,11%
18°	Paraíba	536	0,99%
19°	Piauí	463	0,85%
20°	Amazonas	456	0,84%
21°	Rio Grande do Norte	432	0,79%
22°	Alagoas	338	0,62%
23°	Sergipe	334	0,61%
24°	Rondônia	244	0,45%
25°	Tocantins	195	0,36%
26°	Acre	115	0,21%
27°	Amapá	90	0,17%
28°	Roraima	53	0,10%
<b>TOTAL</b>		<b>54.340</b>	<b>100%</b>

Tabela 1 – *Ranking* de veículos elétricos (híbridos, híbridos plug-in e elétricos 100% a bateria) por estado. Fonte: Adaptado de NEOCHARGE (2021)

\*Acesso em agosto de 2021.

A Tabela 2 apresenta o *ranking* da frota de VEs (híbridos, híbridos *plug-in* e elétricos 100% a bateria) por modelo e fabricante no Brasil referente ao acumulado 2015-2021. O modelo Corolla híbrido fabricado pela Toyota corresponde a 30,17% da frota elétrica nacional, totalizando 16.395 veículos.

<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo de Veículo</b>	<b>QTD</b>	<b>% QTD</b>
Toyota	Corolla	Híbrido	16.395	30,17%
Toyota	Prius	Híbrido	6.936	12,76%
Toyota	RAV4	Híbrido	6.788	12,49%
Volvo	XC60 T8	Híbrido Plug-in	4.000	7,36%
Ford	Fusion	Híbrido	2.617	4,82%
Toyota	Cross	Híbrido	2.409	4,43%
Volvo	XC40 T5	Híbrido Plug-in	2.113	3,89%
Volvo	XC90 T8	Híbrido	1.408	2,59%
Land Rover	Evoque	Híbrido	1.107	2,04%
Lexus	NX300H	Híbrido	1.054	1,94%
Lexus	UX250H	Híbrido	929	1,71%
Porsche	Cayenne PHEV	Híbrido Plug-in	836	1,54%
BMW	X5	Híbrido Plug-in	641	1,18%
Lexus	CT200H	Híbrido	621	1,14%
BMW	X3	Híbrido Plug-in	499	0,92%
BMW	I3	Elétrico	452	0,83%
Porsche	Panamera	Híbrido	417	0,77%
Volvo	S60 T8	Híbrido Plug-in	341	0,63%
Mini	Countryman	Híbrido Plug-in	339	0,62%
BMW	530E	Híbrido Plug-in	324	0,60%
BMW	330E	Híbrido Plug-in	310	0,57%
Land Rover	Range Rover	Híbrido Plug-in	276	0,51%
Audi	E-Tron	Elétrico	236	0,43%

Renault	Zoe	Eléctrico	227	0,42%
Jaguar	Ipace	Eléctrico	217	0,40%
Porsche	Taycan	Eléctrico	217	0,40%
Nissan	Leaf	Eléctrico	216	0,40%
Volvo	S90 T8	Híbrido Plug-in	198	0,36%
Chevrolet	Bolt Premier	Eléctrico	196	0,36%
Lexus	ES300H	Híbrido	195	0,36%
BMW	745LE	Híbrido Plug-in	177	0,33%
BYD	ET3	Eléctrico	154	0,28%
Caoachery	Arrizo 5E	Eléctrico	130	0,24%
JAC	IEV40	Eléctrico	130	0,24%
VW	Golf GTE	Híbrido Plug-in	116	0,21%
Gurgel	Gurgel	Eléctrico	109	0,20%
Land Rover	Velar	Híbrido	102	0,19%
Lexus	RX450H	Híbrido	66	0,12%
Mitsubishi	Outlander	Híbrido Plug-in	62	0,11%
BMW	750 LI	Híbrido	61	0,11%
HYBRID				
BMW	I8	Híbrido Plug-in	57	0,10%
BYD	E5	Eléctrico	55	0,10%
Fiat	Palio Weekend	Eléctrico	54	0,10%
JAC	IEV 20	Eléctrico	50	0,09%
Mercedes-Benz	S 400	Híbrido	45	0,08%
Chrysler/FCA	Pacifica	Híbrido Plug-in	44	0,08%
Mercedes-Benz	EQC	Eléctrico	42	0,08%
Porsche	Panamera	Híbrido Plug-in	40	0,07%
Tesla	Model 3	Eléctrico	38	0,07%
BYD	E6	Eléctrico	30	0,06%
Renault	Kangoo ZE	Eléctrico	25	0,05%
Tesla	Model Y	Eléctrico	25	0,05%

Renault	Fluence ZE	Eléctrico	24	0,04%
Fiat	500E	Eléctrico	18	0,03%
Tesla	Model X	Eléctrico	17	0,03%
Tesla	Model S	Eléctrico	14	0,03%
JAC	IEV 330P	Eléctrico	10	0,02%
Audi	Q5	Híbrido	9	0,02%
Porsche	918	Híbrido Plug-in	8	0,01%
REVA	LHD	Eléctrico	8	0,01%
Mitsubishi	I-MIEV	Eléctrico	7	0,01%
Daimler	Smart	Eléctrico	7	0,01%
Chevrolet	Volt	Híbrido Plug-in	6	0,01%
Porsche	Cayenne Híbrido	Híbrido	5	0,01%
Jiayuan	City Spirit	Eléctrico	5	0,01%
Peugeot	E-GT	Eléctrico	5	0,01%
Kia	Optima	Híbrido	5	0,01%
Chevrolet	Bolt	Eléctrico	4	0,01%
Toyota	Camry	Híbrido	4	0,01%
JAC	IEV 6E	Eléctrico	4	0,01%
Lexus	RX400H	Híbrido	4	0,01%
VW	TOUAREG	Híbrido	4	0,01%
DONGFENG	ER 30	Eléctrico	3	0,01%
Lexus	GS450H	Híbrido	3	0,01%
Lexus	LS500H	Híbrido	3	0,01%
Audi	Q7 S-Line	Híbrido	3	0,01%
Ferrari	SF90	Híbrido Plug-in	3	0,01%
BMW	Activ Hybrid 7	Híbrido	2	0,00%
Lincoln	Aviator	Híbrido	2	0,00%
Bentley	Bentayga	Híbrido	2	0,00%
Jiayuan	JY7252 ZQR	Eléctrico	2	0,00%

Lexus	LS600H	Híbrido	2	0,00%
Sunshine	Mini	Elétrico	2	0,00%
Mini	Mini Cooper	Elétrico	2	0,00%
Honda	Acura NSX	Híbrido	1	0,00%
Honda	Civic	Híbrido	1	0,00%
Ford	C-Max	Híbrido	1	0,00%
Reva	Electric CHI	Elétrico	1	0,00%
Ford	Escape	Híbrido	1	0,00%
VW	GOL 4GVE	Elétrico	1	0,00%
Toyota	Highlander	Híbrido	1	0,00%
Lexus	HS250H	Híbrido	1	0,00%
JAC	IEV 60	Elétrico	1	0,00%
JAC	J3 IEV	Elétrico	1	0,00%
JAD	JAD	Elétrico	1	0,00%
JIANGXI/NEO N	JMEVE 200N	Elétrico	1	0,00%
Kia	Niro	Híbrido	1	0,00%
Dodge	Omni	Elétrico	1	0,00%
Infiniti	Q50	Híbrido	1	0,00%
Hyundai	Sonata	Híbrido	1	0,00%
Kia	Soul EV	Elétrico	1	0,00%
<b>TOTAL</b>			<b>54.340</b>	<b>100%</b>

Tabela 2 – Ranking de veículos elétricos por modelo no Brasil no acumulado de 2015-2021.  
Fonte: Adaptado de NEOCHARGE (2021)

\*Os dados são referentes ao acumulado de 2015-2021 e foram tratados pela NeoCharge após serem obtidos no site do DENATRAN. Dados de agosto de 2021.

A infraestrutura de recarga é considerada um dos maiores desafios para a expansão de veículos elétricos no Brasil. Existem cerca de 349 eletropostos no Brasil (PLUG SHARE, 2021), em que há uma grande desarmonia de infraestrutura de recarga entre as regiões do país, onde sul e sudeste são mais densamente estruturadas do que às demais áreas. Além disso, o imposto sobre produtos industrializados (IPI) ainda é alto, podendo variar de 7 a 9% para os veículos elétricos, e entre 7 e 20% para os veículos híbridos.

O uso de veículos elétricos pode implicar em eventuais impactos aos sistemas elétricos (como problemas de queda de tensão, perdas e sobrecarregamento de rede), os quais podem

não suportar a demanda de energia exigida pelo setor. À medida que a penetração de VEs na frota de veículos nacional alcance um patamar significativo, será necessária uma adequação das distribuidoras de energia a um novo tipo de carga, a fim de atender às características de alto consumo energético durante os períodos de pico do sistema elétrico (entre 18h e 21h), em razão da tendência de aumento de recarga residencial de veículos (SIMON, 2013). Uma nova tecnologia, mesmo após se tornar competitiva, não tem sua disseminação no mercado de maneira imediata, mas sim, dispersa de forma progressiva e temporalmente, em razão de características socioeconômicas e comportamentais, as quais acabam por impactar tal difusão tecnológica (EPE, 2018).

De acordo com Souza e Hiroi (2021), o Brasil apresenta potencial de desenvolvimento no setor de veículos elétricos, mas que precisa ser melhor explorado, já que embora os veículos elétricos apresentem vantagens competitivas, ainda existem barreiras à expansão do setor, como:

- Preço mais elevado de VEs em relação aos veículos de combustão interna;
- Desigualdade de renda;
- Problemas de infraestrutura de carregamento;
- Necessidade de baterias com maior capacidade de autonomia;
- Falta de um padrão de receptores/entradas dificultando a ampliação de postos de recarga.

Assim, são necessários investimentos em pesquisas e tecnologias através de parcerias público-privadas, em razão da consolidada cadeia de biocombustíveis, grande extensão territorial, crise fiscal, concentração de renda e desequilíbrio entre os mercados de pequenas e grandes cidades. Algumas medidas podem ser implementadas a fim de ultrapassar tais barreiras, como a adoção de incentivos fiscais, implementação de políticas de apoio estaduais e/ou federais, investimentos na ampliação de postos de recarga, metas governamentais de descarbonização, desenvolvimento de baterias com maior autonomia e menores custos.

#### **4. Conclusões**

De maneira geral, a presente pesquisa mostrou que o Brasil é um país que, embora apresente longa extensão territorial, forte concentração de renda e desarmonia entre os mercados de pequenas e grandes cidades, possui potencial de expansão do setor de veículos elétricos, mas que, para ser desenvolvido, são necessários investimentos em inovação tecnológica e pesquisas através de parcerias público privadas.

A infraestrutura de recarga é considerada um dos maiores desafios para a expansão de veículos elétricos no país e ainda não há dados suficientes na literatura sobre os padrões de comportamento de recarga de VEs. Assim, são necessários estudos de planejamento a respeito do comportamento dos usuários de veículos elétricos e das redes de distribuição em relação à recarga rápida, com o intuito de testar a suportabilidade da rede a diferentes níveis de penetração e garantir em melhores condições de mobilidade urbana.

São muitas as barreiras à expansão do setor de veículos elétricos no país, dentre elas: a falta de infraestrutura de carregamento, elevado preço de compra, longo tempo de carregamento e curta autonomia de bateria. Para ultrapassar tais entraves, algumas medidas podem ser adotadas como o fornecimento de incentivos fiscais mais favoráveis para aquisição de VEs, implementação de políticas de apoio estaduais e/ou federais, investimentos e ampliação em infraestrutura de recarga, fabricação de baterias com maior autonomia, além de metas governamentais de descarbonização.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

## Referências

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico. São Paulo, 2020. Disponível em: < <http://www.abve.org.br/abril-bate-recorde-abve-preve-28-mil-ves-em-2021/>>. Acesso em: 16 de ago de 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia (MME). Eletromobilidade e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: 2018.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. Cadernos de Carros Elétricos. Vol. 9, Ed. 1, (2021): 1-19. Disponível em: < [https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno\\_carros\\_eletricos-fgv-book.pdf](https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf)>. Acesso em: 09 de ago de 2021. Rio de Janeiro: Cadernos FGV Energia, 2017.

NEOCHARGE. São Paulo, 2021. Disponível em: < <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>>. Acesso em: 17 de ago de 2021.

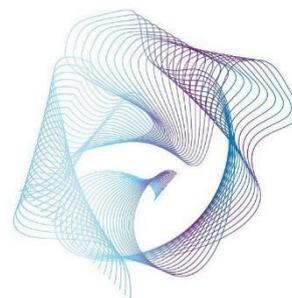
PLUG SHARE. Disponível em: < <https://www.plugshare.com/br>>. Acesso em: 11 de ago de 2021.

SIMON, E. C. **Avaliação de impactos de recarga de veículos elétricos em sistemas de distribuição**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, C. C. R.; HIROI, J. O mercado de carros elétricos no Brasil: Análise de entraves e sugestões para expansão. Vol.9: 1 – 19. São Paulo: Práticas em Contabilidade e Gestão, 2021.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## O Efeito das Descargas Atmosféricas nos Sistemas de Geração Solar Fotovoltaica e Eólica

Sergio Roberto Santos\*

1 Sergio Roberto Silva dos Santos, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

\*Autor para correspondência, E-mail: sersantos1963@usp.br

### Resumo:

As descargas atmosféricas são fenômenos naturais incontroláveis pela humanidade, que transferem grande quantidade de energia para edificações, estruturas ou instalações eletroeletrônicas. Devido à algumas características, diversas atividades, como as gerações solar fotovoltaica e eólica, podem ocorrer sem que sejam protegidas inicialmente contra descargas atmosféricas, mas tal procedimento trará custos que muitas vezes não são percebidos e por isso computados. O objetivo desse trabalho é proporcionar aos profissionais envolvidos na geração de energia solar fotovoltaica e eólica, o conhecimento básico sobre a proteção contra descargas atmosféricas, e como aplicar esse conhecimento em seus projetos, para que os custos envolvidos na proteção contra descargas sejam avaliados para que a viabilidade técnica e econômica desses sistemas de geração de energia sejam obtidos.

**Palavras chave:** Descargas Atmosféricas, Solar Fotovoltaica, Eólica.

**Abstract:** *Lightning are natural phenomena without control by human being. Lightning transfer substantial amounts of energy to buildings, structures in general or electrical and electronic installations. Due to lightning characteristics, several activities, such as solar photovoltaic and wind power generation, can occur without lightning protection. This procedure could bring extra costs that are often not perceived and therefore computed. The objective of this work is to provide to professionals involved with the generation of solar photovoltaic or wind power energy the basic knowledge about lightning protection and how to apply this knowledge in their projects, so that the costs involved in lightning protection are taken and the technical and economic feasibility of these power generation systems are obtained.*

**Keywords:** *Lightning, Photovoltaic, Wind Power.*

## 1. Introdução

A proteção contra descargas atmosféricas de sistemas de geração eólica ou solar fotovoltaica envolve a perda de eficiência, diminuição da vida útil e redução da viabilidade econômica desses sistemas. Sem conhecer os efeitos dos raios nos sistemas de geração solar fotovoltaica ou eólica não é possível estimar a vida útil desses sistemas, elevando a incerteza e o risco sobre o investimento em geração através dessas formas de energia (NDIAYE et al.,

2013). Embora os raios sejam reconhecidos como os maiores responsáveis por falhas em sistemas fotovoltaicos (JIANG, 2014; AHMAD et al., 2018; COETZER; WIID; RIX, 2019), eles não estão relacionados entre os principais causadores de degradação em módulos fotovoltaicos. Neste contexto é necessário conhecer os efeitos das descargas atmosféricas diretas ou indiretas na operação e vida útil dos sistemas de geração eólica ou solar fotovoltaica.

## **2. Descargas Atmosféricas**

Descargas atmosféricas são fenômenos naturais, originados normalmente na atmosfera, devido ao acúmulo de cargas elétricas, que produzem correntes elétricas de milhares de amperes, mas de curtíssima duração (RAKOV; UMAN, 2003; ROMERO, 2007). Conhecidas como raios, as descargas atmosféricas alcançam milhares de metros a partir da sua origem, induzindo tensões e correntes até quilômetros de distância do seu ponto de impacto, devido ao impulso eletromagnético da descarga atmosférica (Lightning Electromagnetic Impulse (LEMP)) (HASSE; WIESINGER, 1993; HERNÁNDEZ; VIDAL; JURADO, 2008; COORAY, 2010). A cada segundo ocorrem no mundo entre 30 e 100 descargas atmosféricas, correspondendo a 9 milhões de descargas atmosféricas diárias, equivalente a uma densidade de descargas atmosféricas para a terra (NG) de 6 descargas atmosféricas ( $1/\text{km}^2 \times \text{ano}$ ) sobre a superfície total do planeta (DWYER; UMAN, 2014).

As descargas atmosféricas mais comuns ocorrem no interior da nuvem (intranuvens), representando 80% do total (PINTO Jr.; PINTO, 2000). Apesar de proporcionalmente menos frequentes, aproximadamente 25% do total, as descargas atmosféricas entre uma nuvem e o solo (nuvem-solo), são mais interessantes para a engenharia, porque são as que mais prejuízos causam a sociedade, ocasionando mortes, incêndios e falhas em sistemas eletroeletrônicos (PINTO Jr.; PINTO, 2000; COORAY, 2010). Como exemplo, as descargas atmosféricas causam mais perdas de vidas nos Estados Unidos, quando comparadas a outros fenômenos naturais (SEIDL, 2006), além de graves prejuízos econômicos. Além dos riscos para a vida, descargas atmosféricas nuvem solo geram campos eletromagnéticos variando no tempo, que podem induzir sobretensões transitórias em condutores, causando inúmeros prejuízos, por danos em equipamentos, ou pela interrupção de processo ou serviços. (RAHIM; BAHARUDIN; OTHMAN, 2013).

A proteção contra os raios deve levar em conta as descargas atmosféricas diretas e indiretas. Enquanto um objeto atingido diretamente por uma descarga atmosférica sofrerá efeitos térmicos e mecânicos provocados pela energia da descarga, aquele que for atingido indiretamente será submetido a tensões e correntes induzidas, devido ao acoplamento entre a corrente da descarga e os condutores, funcionais ou não, alcançados pelo LEMP (HERNÁNDEZ, VIDAL; JURADO, 2008; RAHIM; BAHARUDIN; OTHMAN, 2013).

## **3. Descargas Atmosféricas em Sistemas de Geração Eólica ou Solar Fotovoltaico**

Sistemas de geração solar fotovoltaica ou eólica necessitam ser instalados em ambientes abertos, existindo relação direta entre suas dimensões, a área coberta pelos módulos em sistemas fotovoltaicos, ou o comprimento das pás em torres eólicas, e a potência máxima gerada por eles. Por este motivo, esses sistemas são muito vulneráveis às descargas atmosféricas, que podem atingi-los direta ou indiretamente.

Seja por danificar seus componentes, ou pela interrupção intempestiva de seu funcionamento, a proteção de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica ou eólica, contra as descargas atmosféricas, deve ser avaliada ainda na análise de viabilidade econômica do empreendimento, para que os custos causados por interrupções ou manutenções corretivas sejam previstos pelos seus investidores.

Surtos de tensão ou corrente além de provocarem falhas em sistemas eletroeletrônicos reduzem a vida útil de seus componentes, o que também deve ser levado em consideração em estimativas de Custo de Ciclo de Vida, já que a eficiência de sistemas de geração de energia pode ser reduzida pela ocorrência frequente de sobretensões transitórias.

A necessidade de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA) de sistemas de geração eólica ou solar fotovoltaica se baseia em métodos de gerenciamento de risco, existentes em normas técnicas nacionais e internacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). O gerenciamento de risco utiliza critérios bem definidos para calcular a probabilidade de ocorrência das seguintes perdas causadas por uma descarga atmosférica:

L: Perda (Loss) / R: Risco.

L1/R1: Vidas humanas;  
L2/R2: Serviços ao público;  
L3/R3 Patrimônio cultural;  
L4/R4: Valor econômico.

Para cada uma dessas perdas é calculado o Risco (R) que ela ocorra e comparado com o Risco Tolerável (RT), devendo o risco existente ser menor ou igual ao risco tolerável. Ao contrário do que ocorre em edificações convencionais, em sistemas de geração solar fotovoltaica ou eólica, o valor de R1 é muito baixo, não se aplicando R3, sendo os riscos mais significativos para determinação da necessidade da PDA e como ela será constituída, os valores de R2 e R4.

As consequências dos raios na confiabilidade do fornecimento de energia e em seus custos operacionais é o fator determinante da necessidade da PDA em sistemas de geração eólica ou solar fotovoltaica, além de terminar quais serão as suas características. Nesse caso, mais significativo do que o custo de substituição de máquinas e equipamentos, os custos associados às paradas intempestivas deverão ser avaliados na tomada de decisões sobre a PDA.

Os princípios básicos aplicados à PDA de sistemas de geração solar fotovoltaica ou eólica são os mesmos utilizados na PDA de edificações convencionais, como prédios, indústrias, hospitais, etc., adaptados às seguintes condições específicas.

- 1) Grau de exposição (São localizados necessariamente em áreas abertas);
- 2) Dimensões (Altura da torre eólica ou área dos módulos fotovoltaicos) ;
- 3) Desenho dos cabos (Existência de laços de indução com área significativa);
- 4) Uso intensivo de equipamentos eletrônicos sensíveis (inversores solares e dispositivos de automação e controle).

Em sistemas de geração eólica, o topo da pá de uma turbina eólica com capacidade de alguns MW alcança alturas superiores a cem metros de altura. Geralmente as descargas atmosféricas atingem as partes mais altas da estrutura, o que torna as torres eólicas especialmente vulneráveis aos raios, já que suas correntes possuem alta intensidade, transferindo muita energia, suficiente para danificar as instalações eletroeletrônicas dos sistemas de geração eólica.

As descargas atmosféricas representam um fator importante nas falhas e interrupções de parques eólicos, correspondendo em 2012 a 23,4% das falhas de turbinas eólicas. Para proteger geradores eólicos contra descargas atmosféricas é necessário que a PDA desses sistemas leve em consideração suas condições específicas, como a geometria de suas lâminas e os componentes eletrônicos em sua caixa de naceles:

- 1) Lâminas: Descargas atmosféricas podem danificar a estrutura das lâminas, com graves consequências e interrupções de longa duração;
- 2) Caixa da nacela: Centelhamentos e surtos de corrente podem danificar a infraestrutura da Nacela;
- 3) Componentes eletrônicos da nacela: Dispositivos eletroeletrônicos no interior da nacela podem ser danificados por correntes de impulso e sobretensões de modo comum, ou por correntes de surto induzidas pelo LEMP;
- 4) Rolamentos: Centelhamentos e correntes de impulso podem causar danos à superfície dos rolamentos, levando à degradação a longo prazo com a redução da sua vida útil.

Em sistemas de geração solar fotovoltaica, a área ocupada pelos módulos de uma usina fotovoltaica chega a milhares de metros quadrados, correspondendo à área de exposição da usina à uma descarga atmosférica direta, ou à área passível de receber o fluxo magnético criado pela corrente do raio. Os sistemas de geração solar fotovoltaica são mais vulneráveis aos efeitos das descargas atmosféricas porque a conversão de energia acontece em células fotovoltaicas, que são normalmente constituídas de semicondutores, elementos que possuem relativamente baixa suportabilidade às tensões impulsivas.

A proteção contra descargas atmosféricas e sobretensões em sistemas de geração fotovoltaicas vem sendo investigados, com o objetivo de viabilizar técnica e economicamente a geração solar fotovoltaica, direcionando os princípios gerais da PDA com recomendações que levem em conta as especificidades de um arranjo fotovoltaico.

As descargas atmosféricas respondem por inúmeros desligamentos de linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. Segundo números do INPE aproximadamente 70% dos desligamentos em linhas de transmissão e 40% em redes de distribuição são provocados por descargas atmosféricas (PINTO Jr.; PINTO, 2000).

#### **4. Descargas Atmosféricas em Linhas de Transmissão ou Redes de Distribuição**

O desligamento de linhas de transmissão ou redes de distribuição por um raio pode ocorrer pelo seu impacto direto ou indireto sobre elas (PIANTINI, 2008). Para reduzir esses desligamentos se investe em pesquisas sobre os raios, seus efeitos em sistemas de transmissão

e distribuição e sobre como protegê-las contra os raios. Estes estudos são o ponto de partida para geração de conhecimento sobre a PDA para outros sistemas ou tecnologias.

## 5. Conclusão

Com crescimento da participação da geração eólica e solar fotovoltaica na geração de energia, o papel da PDA na redução de falhas e interrupções nesses sistemas se torna mais crítico. Além da proteção da vida de operadores, o desenvolvimento de turbinas eólicas e arranjos fotovoltaicos menos vulneráveis aos raios, tornará mais eficiente e economicamente viável a geração de energia através de usinas eólicas ou solares.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-2:2015 Versão Corrigida:2018**. Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015. 104 p.
- AHMAD, N. I. *et al.* Lightning protection on photovoltaic systems: A review on current and recommended practices. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 82, p. 1. P. 1611–1619, 2018.
- COETZER, K. M.; WIID, P. G. ; RIX, A. J. Investigating Lightning Induced Currents in Photovoltaic Modules. In. International Symposium on Electromagnetic Compatibility. **Proceedings**. Barcelona. 2019.
- COOREY, V. (Ed). **Lightning Protection**. The Institution of Engineering and Technology. Londres. 2010.
- DWYER, J. D.; UMAN, M. A.; The physics of lightning. **Physics Reports**. Volume 534. 30 de Janeiro de 2014. p. 147-241.
- HASSE. P.; WIESINGER. J. **EMV Blitz-Schutzzonen-Konzept**. Munique. Alemanha. Pflaum Verlag. 1993.
- HERNÁNDEZ, J. C.; VIDAL, P. G.; JURADO, F. Lightning and Surge Protection in Photovoltaic Installations. **IEEE Transactions on power delivery**, Vol. 23, Nº. 4, Outubro de 2008.
- JIANG, T. **Electrical properties degradation of Photovoltaic modules caused by lightning induced voltage**. Mississippi, 2014, 105 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade da Universidade do Estado de Mississippi. Mississippi. 2014.
- NDIAYE, A.; KÉBE, C. M. F.; KOBİ, A. Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review. **Solar Energy**. n. 96, Oct. 2013, pp. 14-151.

PIANTINI, A. "Lightning protection of overhead power distribution lines," In. International Conference on Lightning Protection, 2008. **Proceedings. 29<sup>th</sup> ICLP**. Uppsala, 2008 (invited lecture).

PINTO Jr.; PINTO, I. R. A. C. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: INPE, 194p., 2000.

RAHIM, N. H. A.; BAHARUDIN, Z. A.; OTHMAN, M. N. Investigation of Wave Propagation to PV-Solar Panel Due to Induced Overvoltage Generated by Lightning Impulse Generator. **Advanced Science and Technology Letters**. V. 38. 15-22. 2013.

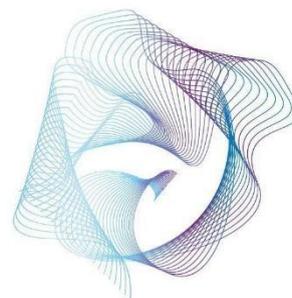
RAKOV, V. A.; UMAN, M. A. **Lightning: physics and effects**. Cambridge University press, 2003.

ROMERO, F. **Avaliação do Comportamento dos Campos Eletromagnéticos Gerados por Descargas Atmosféricas Nuvem-Terra**. São Paulo, 2007, 155p. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física), Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

SEIDL, S. Pathological Features of Death From Lightning Strike. In: Tsokos M. (Ed). **Forensic Pathology Reviews**, v. 4. C. 1 Humana Press, 2006. p. 3- 23.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Sistema de Recomendação para Conscientização Energética

Victor Hayashi<sup>1,\*</sup>, Reginaldo Arakaki<sup>2</sup>, Romeo Bulla Jr<sup>3</sup>

1 Victor Takashi Hayashi, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)

2 Reginaldo Arakaki, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)

3 Romeo Bulla Jr, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)

\*Autor para correspondência, E-mail: victor.hayashi@usp.br

**Resumo:** A conscientização energética ganha destaque em tempos de crise energética na mídia e no interesse geral da população como uma resposta ao aumento dos preços (e.g., bandeira vermelha). No entanto, mesmo que mecanismos de economia de energia e resposta à demanda possam ser implementados, há dúvidas sobre sua eficácia e conhecimento da população. Como alternativa às recomendações gerais com engajamento limitado, este artigo propõe um sistema de recomendações energéticas com a construção de uma base de conhecimento com recomendações de diversos agentes, como empresas e consumidores residenciais. Resultados de previsão de notas usando filtragem colaborativa suportam a proposta.

**Palavras chave:** sistema de recomendação, inteligência artificial, aprendizado de máquina, energia, conscientização.

**Abstract:** Energy awareness gets highlighted in times of energy crisis in the media and in the general interest of the population as a response to the rising prices (e.g., considering highest energy cost red flag in Brazil). However, even if energy-saving and demand-response mechanisms can be implemented, there is still doubt about their effectiveness and knowledge of the population. As an alternative to general recommendations that are not very engaging, this paper proposes an energy awareness recommendation system considering the construction of a knowledge base with recommendations from several agents such as enterprises and residential consumers. Results of score prediction using collaborative filtering support the proposal.

**Keywords:** recommendation system, artificial intelligence, machine learning, energy, awareness.

### 1. Introdução

Quão essencial é o fornecimento de energia elétrica em uma cidade para os negócios, saúde e bem-estar da população?

Ainda que a energia seja parte integral e necessária para a vida dos habitantes das cidades, há dúvidas sobre a efetividade das bandeiras como um sinal econômico para economia de energia para os usuários leigos. Para uma grande maioria, o crescente custo da energia impacta cada vez mais seu orçamento doméstico. O desconhecimento das evoluções dos aspectos regulatórios e das tecnologias, como equipamentos no consumo de energia, limitam as ações possíveis da grande população para economizar energia.

Este contexto motiva o uso de informações e dados para subsidiar o conhecimento, a

conscientização e as ações para mudar hábitos de forma efetiva, que tragam resultados individuais e para coletividade para as atuais e futuras gerações. Este artigo apresenta um sistema de recomendação para a conscientização energética, com o objetivo de personalizar sugestões de economia de energia de forma automatizada como alternativa às recomendações gerais veiculadas em meios de divulgação em massa como a televisão.

Uma revisão sistemática sobre sistemas de recomendação e personalização energética apresenta algumas iniciativas para recomendação de atividades, políticas e planos de tarifação a partir de dados de consumo final coletados em medidores inteligentes. Os autores deste artigo também propõem uma arquitetura de sistema de recomendação que processa dados de dispositivos de Internet das Coisas e se integra a uma aplicação móvel. Contudo, mesmo apresentando a possibilidade de identificação de perfis de usuários para motivar recomendações, não apresenta maiores detalhes de como uma filtragem colaborativa poderia ocorrer (ALSALEMI et al., 2019).

No artigo seguinte dos mesmos autores, os autores apresentam um protótipo de interface móvel, resultados promissores de classificação de micromomentos a partir de dados de dispositivos de Internet das Coisas (IoT), e um fluxograma que indica como recomendações energéticas baseadas em contexto poderiam ocorrer, considerando condições climáticas externas e internas do local onde o usuário está, micromomento atual energético, além da realimentação da interação do usuário com o sistema. Contudo, os mecanismos de recomendação somente são baseados em contexto, e a interação implícita é fortemente dependente da presença de dispositivos IoT instalados, como medidores (ALSALEMI et al., 2020).

Considerando a aparente inexistência de outras propostas de sistemas de recomendação para conscientização energética na literatura, este artigo propõe um sistema de recomendação energética que possui como diferencial ser independente de dispositivos de IoT. Além disso, um requisito relevante é que deve ser uma solução voltada para o público brasileiro.

## 2. Metodologia

A proposta de sistema de recomendação energética considera que as recomendações estão baseadas em regiões ou estados. Desta forma, se o usuário fornecer seus dados de localização, o sistema pode sugerir dicas de economia de energia que pessoas da mesma região praticam com maior frequência.

Na solução proposta, é considerada a construção de uma base de conhecimento por meio de recomendações de diversos agentes, e uma curadoria de conteúdo que atuam como pilares para a o sistema de recomendação, cujo objetivo é ampliar o engajamento com uma linguagem inteligível para os consumidores residenciais. O requisito fundamental considerado é o de entender o contexto de cada usuário. Ao invés de uma classificação de contexto unidirecional, a interação é baseada em "conversas" por mensagens, possibilitando a identificação do contexto com mais precisão, aumentando a assertividade das informações a serem aplicadas nas recomendações. O sistema proposto (vide Figura 1) considera os seguintes agentes, que elaboram e divulgam recomendações:

- **Empresas:** empresas sobretudo do setor energético tem todo o interesse em promover sugestões de economia de energia, como por exemplo nas páginas da distribuidora ENEL<sup>1</sup> e EDP<sup>2</sup>;
- **Governo:** outro agente que possui grande interesse em promover ações de economia de energia é o próprio governo, como por exemplo a partir do Programa Nacional de

---

<sup>1</sup> [https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para\\_Voce/Dicas\\_e\\_Orientacoes.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para_Voce/Dicas_e_Orientacoes.html)

<sup>2</sup> <https://www.edp.com.br/distribuicao-es/saiba-mais/informativos/economia-de-energia>

Conservação de Energia Elétrica (Procel);

- **Pessoas:** pessoas físicas também podem atuar de forma mais ativa em relação ao consumo de energia.

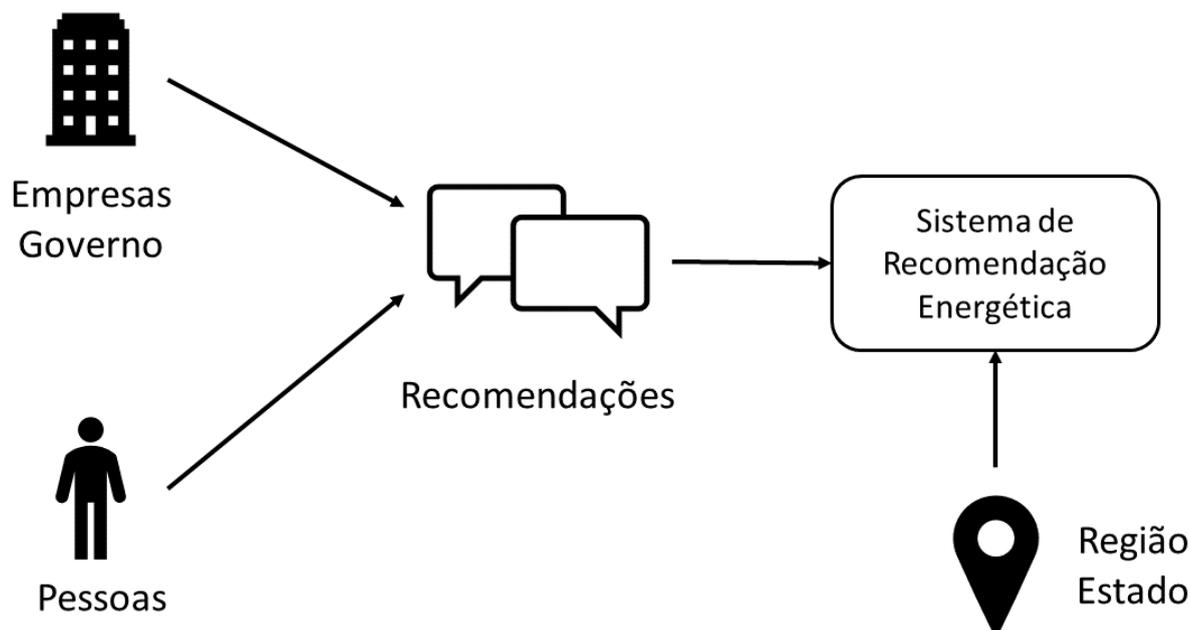


Figura 1 – Arquitetura da Solução Proposta  
Fonte: Autor(es).

Para o desenvolvimento deste trabalho, o seguinte método composto por 4 passos foi utilizado, com implementação no ambiente Jupyter Notebook<sup>3</sup> com execução local em computador processador Intel i3 com sistema operacional Windows 10 e 8GB de memória.

- **Coleta de Dados:** foram utilizados dados coletados pelo Procel<sup>4</sup> com 20 perguntas sobre a frequência de realização de hábitos de economia de energia elétrica. Os resultados são agrupados por unidades federativas, de onde se obtém um percentual de pessoas que praticam cada determinado hábito de economia por unidade federativa (cada um possui cerca de 400 respostas).
- **Tratamento de Dados:** foram considerados os estados (e distrito federal) como os usuários, recomendações e respectivos identificadores conforme a Figura 2. Foi aplicado um processo de normalização da frequência de uso “sempre” por estado ou distrito federal, originalmente em intervalo de 0 a 100%, para um número inteiro de 0 a 10 (e.g., o número 0 representa a faixa de 0% a 4,9%, o número 1 de 5,0% a 10,4%). Desta forma, temos 20 recomendações e 27 unidades federativas, resultando em 540 registros na base (vide Tabela 1).
- **Seleção de Hiperparâmetros:** uso de validação cruzada com 3 folds para explorar algumas combinações de hiperparâmetros para os algoritmos considerando a separação da base original de treinamento em bases de treinamento e validação. A biblioteca Python Case Recommender (DA COSTA et al., 2018) foi utilizada para a avaliação de três tipos de algoritmos de filtragem colaborativa (baseada em itens, baseada em usuários e método baseline). Detalhes sobre os algoritmos clássicos de recomendação colaborativa estão disponíveis na literatura (JANNACH et al., 2010; AGGARWAL et al., 2016).

<sup>3</sup> <https://jupyter.org/>

<sup>4</sup> <http://www.procelinfo.com.br>

- **Treino e Validação:** uso de validação cruzada com 5 folds em bases de treinamento (70%) e validação (30%). Estas etapas são realizadas com as configurações escolhidas de na etapa anterior.
- **Avaliação:** comparação do desempenho dos algoritmos é realizada com o *Root Mean Squared Error* (RMSE).

IDu	UF	IDr	Recomendação
1	AC	1	Acúmulo de peças de roupa para passar
2	AL	2	Preferência por lâmpadas e eletrodomésticos com maior eficiência energética
3	AM	3	Manter portas e janelas fechados enquanto uso ar condicionado
4	AP	4	Apagar lâmpadas dos ambientes desocupados
5	BA	5	Desligar TV enquanto ninguém está assistindo
6	CE	6	Desligar ferro de passar quando interrompo o serviço
7	DF	7	Preferência a lâmpadas LED ou fluorescentes
8	ES	8	Eliminar fios ou cabos com isolamento comprometido
9	GO	9	Evitar acender lâmpadas durante o dia
10	MA	10	Evitar banhos demorados no chuveiro elétrico
11	MG	11	Evitar deixar aparelhos em stand by;
12	MS	12	Manter a borracha de vedação da geladeira em bom estado
13	MT	13	Manter ar condicionado desligado quando está fora do ambiente por muito tempo
14	PA	14	Não deixar porta da geladeira ou freezer aberta e evitar abrir e fechar muitas vezes
15	PB	15	Não guardar alimentos quentes e sem tampa na geladeira
16	PE	16	Nunca usar a parte traseira da geladeira para secar panos ou roupas
17	PI	17	Só utilizar a máquina de lavar na capacidade máxima
18	PR	18	Regular termostato da geladeira em função das estações
19	RJ	19	Usar o chuveiro elétrico na posição verão na maior parte do tempo
20	RN	20	Usar a temperatura do ferro de passar indicada para cada tipo de tecido e começar a passar pelas mais leves
21	RO		
22	RR		
23	RS		
24	SC		
25	SE		
26	SP		
27	TO		

Tabela 1 – Usuários e recomendações consideradas na proposta.  
Fonte: Autor(es).

### 3. Resultados e discussões

Os resultados preliminares da predição de notas das recomendações energéticas por estado são apresentados na Tabela 2.

Os algoritmos baseados em memória (vizinhança de usuários e itens) obtiveram resultados razoáveis. O método Baseline apresentou os melhores resultados em termos de RMSE, porém com maior tempo de processamento.

De forma geral, os algoritmos de filtragem colaborativa não precisaram de conhecimento

especializado, porém necessitaram do histórico de interações da comunidade, o que leva ao problema de *cold start* deste tipo de algoritmo (e.g., a falta de uma grande base de interações de usuários com itens na concepção do sistema para ser usado diretamente em algoritmos baseados na similaridade entre usuários).

Algoritmo	Configuração	RMSE
Item KNN	K = 2	1,564
Item KNN	K = 3	1,473
Item KNN	K = 4	1,481
User KNN	K = 2	1,580
User KNN	K = 3	1,651
User KNN	K = 4	1,559
Baseline	Factors = 5	<b>1,256</b>
Baseline	Factors = 10	1,348
Baseline	Factors = 15	1,292
Baseline	Factors = 20	1,293

Tabela 2 – Resultados de predição de avaliações de recomendações energéticas.  
Fonte: Autor(es).

#### 4. Conclusões

Pelo melhor conhecimento dos autores, esta é uma iniciativa inédita de proposta de um sistema de recomendação baseado em dados próprios da realidade brasileira. Considerando a crise energética, a modernização e abertura do mercado de energia, a conscientização energética pode auxiliar em medidas de economia de energia para benefícios econômicos e relacionados à sustentabilidade. A proposta foi avaliada de forma preliminar com dados obtidos da plataforma do Procel em termos de predição de notas considerando os estados como usuários.

Trabalhos futuros consideram a implantação do sistema proposto para obter mais dados que suportem uma avaliação online das recomendações, e considerar os aspectos sociais presentes na plataforma do Procel.

#### Agradecimentos

O(s) autor(es) agradece(m) a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro, e ao Procel pelos dados disponibilizados.

#### Referências

AGGARWAL, Charu C. et al. Recommender systems. Cham: Springer International Publishing, 2016.

ALSALEMI, Abdullah et al. Achieving domestic energy efficiency using micro-moments and intelligent recommendations. IEEE Access, v. 8, p. 15047-15055, 2020.

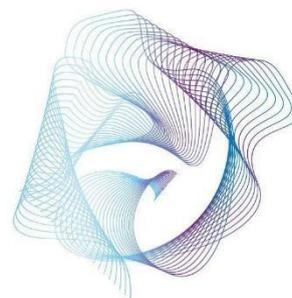
ALSALEMI, Abdullah et al. The role of micro-moments: A survey of habitual behavior change and recommender systems for energy saving. IEEE Systems Journal, v. 13, n. 3, p. 3376-3387, 2019.

DA COSTA, Arthur et al. Case recommender: a flexible and extensible python framework for recommender systems. In: Proceedings of the 12th ACM Conference on Recommender Systems. 2018. p. 494-495.

JANNACH, Dietmar et al. Recommender systems: an introduction. Cambridge University Press, 2010.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## A regulação dos títulos verdes para projetos de geração renovável de energia elétrica no Brasil

Rodrigo Mota Rodi\*

\*Rodrigo Mota Rodi, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo – IEE/USP e pesquisador bolsista do CIBiogás-ER<sup>5</sup>

E-mail: rodrigo.rodi@usp.br / rodrigo.rodi@cibiogas.org

**Resumo:** Os títulos verdes (“green bonds”) são importantes instrumentos de captação privada de recursos financeiros para projetos sustentáveis do ponto de vista ambiental ou social (chamados de “social bonds”). O amplo conceito de títulos verdes comporta uma variedade de instrumentos, juridicamente delineados ou não. Este artigo apresenta o estado da arte da regulamentação do tema no contexto brasileiro, com enfoque no segmento de geração de energia renovável. Pretende-se investigar o estágio atual da regulamentação dos títulos verdes no Brasil, especialmente voltados ao financiamento de projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Para abordar essa problemática, emprega-se (i) análise empírico-normativa da regulamentação vigente; (ii) revisão da literatura sobre o tema; (iii) benchmarking da experiência internacional visando a identificar aspectos passíveis de absorção pela regulamentação brasileira. O artigo, ao final, faz um prognóstico da possível evolução normativa sobre o tema atualmente em curso no âmbito do Poder Legislativo.

**Palavras chave:** regulação, títulos verdes, geração, energia renovável.

**Abstract:** Green bonds are important instruments for private financial funding for environmentally or even socially sustainable projects (in which case they are called "social bonds"). The broad concept of green bonds holds a variety of instruments, legally delineated or not. This article presents the current state of the art of the regulation of the theme in the Brazilian context, focusing on the segment of renewable energy generation. It is intended to investigate the current stage of regulation of green bonds in Brazil, especially aimed at financing projects for generating electricity from renewable sources. To address this problem will be used (i) empirical-normative analysis of current regulations; (ii) review of the literature on the subject; (iii) benchmarking of international experience in order to identify aspects that can be absorbed by Brazilian regulations. At the end, this article makes a prognosis of the possible normative evolution on the subject currently underway within the legislative branch.

**Keywords:** regulation, green bonds, generation, renewable energy.

---

<sup>5</sup> Agradeço ao Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás-ER) e à Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE-D) pelo apoio financeiro a esta pesquisa no âmbito do projeto de P&D ANEEL nº 5000003925 intitulado “Valoração dos impactos da geração distribuída no equilíbrio econômico-financeiro da distribuidora com proposição de novos modelos de negócio e mudança regulatório nacional”.

## 1. Introdução

Projetos de infraestrutura demandam vultosos investimentos para serem levados a cabo e os setores de energia não fogem à regra, principalmente quando se trata de projetos com viés sustentável como geração de energia a partir de fontes renováveis.<sup>6</sup> Comumente, uma forma de obter recurso para tanto se dá mediante a emissão de títulos de dívida no mercado de valores mobiliários.

Nesse contexto, os títulos verdes (do inglês “*green bonds*”) são importantes instrumentos de captação privada de recursos financeiros para projetos sustentáveis do ponto de vista ambiental (quando são chamados de “*climate bonds*”) ou, mesmo, social (“*social bonds*”). Instrumentos como esses podem, inclusive, contribuir para movimentos globais de transição energética, combate a mudanças climáticas e atingimento de compromissos e metas internacionais de descarbonização.<sup>7</sup>

O conceito de títulos verdes é amplo e comporta uma variedade de instrumentos<sup>8</sup>, que podem ser juridicamente delineados ou não. Este artigo visa a apresentar o atual estado da arte da regulamentação do tema no contexto brasileiro, com enfoque no segmento de geração de energia renovável.

Importa notar que os títulos verdes são eminentemente uma espécie de *instrumentos financeiros* destinados a veicular políticas energética que promovam, dentre outras finalidades, o uso crescente de fontes renováveis de energia. Eles se amoldam aos termos apontados por Goldemberg e Lucon quando tratam de “*soft loans*”<sup>9</sup>, entendidos como incentivos e empréstimos comerciais que contemplam alguma forma de subsídio. Subsídio este comumente introduzido mediante incentivos de ordem fiscal.

Estudos já foram feitos, ouvindo o mercado, quanto a novos possíveis incentivos e simplificações, como é o caso do estudo “*O Mercado Emergente de Finanças Verdes no Brasil*” publicado pelo Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. O estudo destaca que surgiram ações integradas entre instituições governamentais, mercado financeiro e sociedade civil para promover as finanças sustentáveis no país e criar soluções inovadoras de financiamento para alavancar recursos privados para projetos verdes.

---

<sup>6</sup> Projetos dessa natureza usualmente apresentam custos mais elevados do que aqueles baseados em fontes mais tradicionais, mas as curvas de aprendizado tecnológico vêm sinalizando significativa queda de custos nos últimos anos. Nesse sentido, ver: ROSER, Max. *Why did renewables become so cheap so fast? And what can we do to use this global opportunity for green growth?* Our World in Data, dezembro 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>7</sup> Nesse sentido, ver: TOLLIVER, Clarence; KEELEY, Alexander Ryota; MANAGI, Shunsuke. Policy targets behind green bonds for renewable energy: do climate commitments matter? *Technological Forecasting & Social Change*, v. 157, maio 2020, 120051; MONK, Alexander; PERKINS, Richard. What explains the emergence and diffusion of green bonds? *Energy Policy*, v. 145, outubro 2020, 111641, p. 1-2; e TU, Chuc Anh; RASOULINEZHAD, Ehsan; SARKER, Tapan. Investigating solutions for the development of a green bond market: evidence from analytic hierarchy process. *Finance Research Letters*, v. 34, fevereiro 2020, 101457, p. 1-2.

<sup>8</sup> “*Green bonds differ from other types of bonds in two important ways: i) the proceeds of the bonds, after subtracting the costs related to their offering, are used to finance or refinance green projects, environmental projects, or projects with environmental benefits; and ii) they have different provisions on debt repayment, and recourse or non-recourse of issuing organizations.*” (TU, Chuc Anh; RASOULINEZHAD, Ehsan; SARKER, Tapan. Investigating solutions for the development of a green bond market: evidence from analytic hierarchy process. *Finance Research Letters*, v. 34, fevereiro 2020, 101457, p. 1-2).

<sup>9</sup> GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 3. Ed. rev. e ampl. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012, p. 307.

Neste contexto, destacam-se a Iniciativa Brasileira de Finanças Verdes<sup>10</sup> e a criação, em 2017, do Laboratório de Inovação Financeira (LAB), uma plataforma de diálogo sobre o tema no Brasil que elaborou estudos, em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV) e a Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN), para orientar a atuação do setor bancário em práticas de sustentabilidade, com destaque para o “Guia para emissão de títulos verdes no Brasil”.<sup>11</sup> Nessa linha, integrantes do LAB sustentam a necessidade de aprimorar o ambiente regulatório do país para atrair investidores privados para empreendimentos diversos, inclusive sustentáveis e de baixo carbono, uma vez que o capital público se mostra insuficiente para tal, considerando suas recorrentes dificuldades orçamentárias, alto índice de endividamento e consequente diminuição do poder de investimento.<sup>12</sup>

Posto esse breve cenário da articulação sobre o tema em âmbito nacional, passemos à apresentação da metodologia (item 1) por meio da qual analisou-se a regulamentação dos títulos verdes no Brasil (item 2) e sua aplicação específica no segmento de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis (item 2.1) com a qualificação do debate acerca da geração distribuída (item 2.2). Atentaremos para um importante movimento legislativo já em curso (item 2.3) e algumas lições fornecidas pela experiência internacional (item 3), para, então, sintetizarmos breves conclusões e possíveis próximos passos para a regulamentação do tema no país (item 4).

## 2. Metodologia

Pretende-se investigar o estágio atual da regulamentação dos títulos verdes no Brasil, especialmente voltados ao financiamento de projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Para abordar essa problemática, será empregada (i) análise empírico-normativa da regulamentação vigente; (ii) revisão da literatura sobre o tema; (iii) *benchmarking* da experiência internacional visando a identificar aspectos passíveis de absorção pela regulamentação brasileira.

## 3. Regulamentação dos títulos verdes no Brasil

A regulamentação dos títulos verdes no direito brasileiro tem como principal antecedente o incentivo a projetos de infraestrutura ou de produção econômica intensiva em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

A Lei nº 12.431/2011 regulamentou a emissão incentivada de alguns títulos (debêntures incentivadas, certificados de recebíveis imobiliários e cotas de emissão de fundo de investimento em direitos creditórios) com vistas a captar recursos para financiar projetos considerados como prioritários pelo Poder Executivo federal. O enquadramento de um dado projeto de infraestrutura como prioritário é um elemento-chave para a compreensão dos títulos verdes já regulamentados no ordenamento jurídico brasileiro.

---

<sup>10</sup> A iniciativa é coordenada pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento sustentável (CEBDS) e pela Climate Bonds Initiative: <<https://cebds.org/projetos/iniciativa-brasileira-de-financas-verdes/#.X-dutthKjcs>>. Acesso 17 out. 2021.

<sup>11</sup> GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, “O Mercado Emergente de Finanças Verdes no Brasil”. 2020. Disponível em: <[http://www.labinovacaofinanceira.com/wp-content/uploads/2020/07/mercado\\_financasverdes\\_brasil.pdf](http://www.labinovacaofinanceira.com/wp-content/uploads/2020/07/mercado_financasverdes_brasil.pdf)>. Acesso em 17 out. 2021, p. 16-17.

<sup>12</sup> MOTODA, Érika. “Título verde movimenta US\$ 8,1 bilhões no Brasil”. Estado de S. Paulo, 2020. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,o-que-falta-para-haver-mais-titulos-verdes-no-mercado,70003431791>>. Acesso em 17 out. 2021.

Como principal incentivo para emissão desses títulos, a Lei reduziu as alíquotas do imposto de renda a 0% para pessoas físicas e a 15% para pessoas jurídicas – uma forma de incentivo que os caracteriza como instrumentos financeiros promotores de uma política de fomento aos setores de infraestrutura, dentre os quais o setor energético.

A regulamentação inicial da lei ocorreu no mesmo ano de sua publicação, com o Decreto nº 7.603/2011, posteriormente revogado pelo Decreto nº 8.874/2016. Em sua redação original, este segundo decreto, atualmente em vigor, previa uma relação exemplificativa dos setores em que os projetos de investimento poderiam ser considerados prioritários para emitirem os títulos incentivados. Determinava, ainda, que poderiam ser prioritários apenas projetos (i) executados mediante concessão, permissão, arrendamento, autorização ou parceria público-privada, concessão, permissão ou autorização; ou, alternativamente, (ii) que fossem considerados como relevantes pelo ministério competente.<sup>13</sup> Este diploma de regência das debêntures incentivadas sofreu, em 2020, relevante alteração para o segmento das energias renováveis, como é apresentado no subitem a seguir.

### 3.1 Títulos verdes para projetos de energia renovável

Especificamente em relação aos projetos de energia, e ainda na vigência da redação original do Decreto nº 8.874/2016, o Ministério de Minas e Energia (MME) – como órgão central nas relações institucionais e da elaboração das políticas setoriais por meio de diretrizes e normatizando usualmente por meio de portarias – emitiu a Portaria nº 364/2017, trazendo os requisitos para enquadrar os projetos como prioritários. Nesses parâmetros, foram contemplados projetos de geração de energia, independentemente da fonte empregada, desde que tenham sido objeto de outorga por meio de concessão ou autorização.<sup>14</sup> Até 19 de novembro de 2021, o MME havia aprovado 1.322 projetos prioritários no setor de energia.<sup>15</sup>

Assim, por um lado, projetos de geração *centralizada* baseados em fontes renováveis já eram contemplados pela norma ministerial, fazendo a conexão direta entre títulos verdes e os

---

<sup>13</sup> Redação original do Decreto 8.874/2016: “Art. 2º São considerados prioritários os projetos de investimento na área de infraestrutura ou de produção econômica intensiva em pesquisa, desenvolvimento e inovação: I - objeto de processo de concessão, permissão, arrendamento, autorização ou parceria público-privada, nos termos da Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, e que integrem o Programa de Parcerias de Investimentos - PPI, de que trata a Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016, ou o programa que venha a sucedê-lo; ou II - não alcançados pelo disposto no inciso I do caput, mas aprovados pelo Ministério setorial responsável e realizados por concessionária, permissionária, autorizatária, arrendatária ou Sociedade de Propósito Específico - SPE.”

<sup>14</sup> Portaria MME nº 364/2017: “Art. 1º As Concessionárias de Transmissão de Energia Elétrica e as Concessionárias e Autorizatárias de Geração de Energia Elétrica, constituídas sob a forma de sociedade por ações, **poderão requerer à Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia a aprovação de Projeto de Infraestrutura de Energia Elétrica, como prioritário, para fins do art. 2º da Lei nº 12.431, de 24 de junho de 2011. § 1º O requerimento para aprovação, de que trata o caput, deverá obrigatoriamente referir-se a projeto de titularidade do requerente e compreender: (...) VI - Projeto de Investimento de Geração ou de Transmissão de Energia Elétrica objeto de outorga de concessão resultante de licitação de que tratam o art. 8º da Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, e o art. 1º do Decreto nº 9.271, de 25 de janeiro de 2018, considerando o disposto no art. 2º, § 3º, do Decreto nº 8.874, de 11 de outubro de 2016; (Redação dada pela PRT MME 405 de 24.09.2018) VII - Projeto de Investimento de Geração ou de Transmissão de Energia Elétrica objeto de processo de concessão, autorização ou parceria público-privada, nos termos da Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, e que integre o Programa de Parcerias de Investimentos - PPI, de que trata a Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016, ou o programa que venha a sucedê-lo, conforme o disposto no art. 2º, inciso I, do Decreto nº 8.874, de 11 de outubro de 2016, não enquadrado no disposto no § 1º, inciso I ou inciso II. (Incluído pela PRT MME 493, de 20.12.2017)”**

<sup>15</sup> Conforme dados disponíveis no portal do MME: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretaria-executiva/projetos-prioritarios>>. Acesso em 17 out. 2021.

incentivos previstos pela Lei nº 12.431/2011. Por outro, a necessidade de outorga (concessão, permissão ou autorização) afastaria, em princípio, projetos de geração distribuída (GD). Isso porque as unidades consumidoras (UC) que pretendem implantar sistemas de GD passam apenas por procedimento específico de acesso às redes das companhias locais de distribuição de energia (nos termos da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 e Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, Seção 3.7, dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – “PRODIST”<sup>16</sup>).

Recentemente, foi editado o Decreto nº 10.387/2020, que modificou o Decreto nº 8.874/2016, visando a expandir a abrangência do que se considera “projetos prioritários”, que passou a alcançar projetos “*que proporcionem benefícios ambientais ou sociais relevantes*”.<sup>17</sup> Consolidou-se, com essa alteração, o incentivo regulatório aos títulos verdes incentivados.

O Decreto de 2020 ainda explicitou o que se entende por projetos que proporcionam benefícios ambientais ou sociais relevantes, indicando expressamente como prioritários projetos de geração solar, eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e a partir de resíduos sólidos.<sup>18</sup>

### 3.2 A questão da geração distribuída

Especificamente quanto ao caso da geração distribuída, o quadro normativo atual ainda não é tão favorável. Cumpre tratarmos sinteticamente da GD e sua regulação no Brasil.

A Geração Distribuída, consiste em unidades consumidoras cativas de energia que promovem a instalação de equipamentos para a geração de energia elétrica conectada à rede de distribuição ou situada no próprio local de consumo. O crescimento exponencial desse fenômeno (atestado pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 – PDE 2029<sup>19</sup>) vem transformando o atual papel do consumidor final de energia, tornando-o um “prosumidor”, aquele que tanto produz, quanto consome energia elétrica.<sup>20</sup>

Conforme mencionado no item anterior, as unidades prosumidoras passam por

---

<sup>16</sup> A versão vigente da referida seção do PRODIST é a Revisão 7 aprovada pela Resolução Normativa ANEEL nº 724/2016.

<sup>17</sup> Redação atual do Decreto 8.874/2016: “Art. 2º (...) I - objeto de processo de concessão, permissão, arrendamento, autorização ou parceria público-privada, nos termos do disposto na Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, e que integrem o Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República - PPI, de que trata a Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016, ou o programa que venha a sucedê-lo; **II - que proporcionem benefícios ambientais ou sociais relevantes**; ou III - não alcançados pelo disposto nos incisos I e II do caput, mas aprovados pelo Ministério setorial responsável e realizados por concessionária, permissionária, autorizatária, arrendatária ou Sociedade de Propósito Específico - SPE.”.

<sup>18</sup> Decreto 8.874/2016: “Art. 2º (...). § 4º Para fins do disposto no inciso II do caput, consideram-se projetos que proporcionam benefícios ambientais ou sociais relevantes: (Incluído pelo Decreto nº 10.387, de 2020) (...) **II - no setor de energia, os projetos baseados em:** a) tecnologias renováveis de geração de energia solar, eólica, de resíduos; e b) pequenas centrais hidrelétricas com densidade de potência mínima de 4W/m<sup>2</sup> (quatro watts por metro quadrado) de área alagada;”.

<sup>19</sup> Conforme dados oficiais do PDE 2029, em discussão no âmbito da EPE, a GD movimentou mais de 2 bilhões de reais em investimentos em 2018, superando a capacidade de 1 GW em 2019. Além disso, em comparação, no ano de 2018 foram instalados cerca de 400 MW de GD, isto é, a mesma capacidade acrescentada ao segmento de térmicas a gás natural, o dobro do que foi instalado em térmicas a bagaço de cana ou o triplo da capacidade instalada de PCHs no mesmo ano (cf. PDE 2029, pp. 17 e 235).

<sup>20</sup> Na literatura, o prosumidor também é chamado de “consumidor-gerador”, com o mesmo significado da terminologia ora adotada: aquele agente que consome energia e também se responsabiliza por produzi-la (JUSTEN NETO, Marçal; COSTA, Camila Batista Rodrigues. A revisão da regulação da geração distribuída de pequeno porte. In. JUSTEN FILHO, Marçal; SILVA, Marco Aurélio de Barcelos (Coord.). *Direito da infraestrutura*: estudos de temas relevantes. 1. Ed. – Belo Horizonte: Fórum, 2019, p.225).

procedimento específico de acesso às redes das distribuidoras que detém o mercado do local onde se situam. As regras de acesso constam no Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, Seção 3.7, dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), cuja versão vigente é a Revisão 7 aprovada pela Resolução Normativa ANEEL nº 724/2016.<sup>21</sup>

Muitos consumidores (notadamente, residenciais e industriais) vêm aderindo ao modelo de GD e outros projetos de efficientização energética que conjugam economia e sustentabilidade vêm se proliferando. Projetos dessa natureza costumam requerer aporte financeiro a ser amortizado e gerar retorno aos investidores – o chamado *pay-back* do sistema de GD instalado – o que enseja a discussão acerca de meios para captação de recursos para viabilizar tais empreendimentos.

Com os acréscimos promovidos pelo decreto de 2020, houve certo avanço ao se definir critérios para projetos de energia serem enquadrados como prioritários. Entretanto, a modificação suscitou dúvidas sobre se, realmente, foi ampliado o universo de projetos de infraestrutura que poderiam se beneficiar da emissão de títulos incentivados para alcançar projetos que não estavam compreendidos pela antiga redação – a exemplo dos projetos de GD –, apesar de proporcionarem benefícios (ambientais e sociais) relevantes.

Persiste a dúvida sobre o enquadramento da GD em alguma das três hipóteses do art. 2º do Decreto nº 8.874/2016, pois projetos que não são objeto de outorga continuam dependentes da análise de seu enquadramento pelo ministério responsável e a portaria ministerial existente ainda permanece restrita a projetos objeto de outorga do poder público. Uma forma de sanar eventuais questionamentos nesse sentido seria a inserção de previsão em lei ou atualização da ainda restritiva portaria ministerial em vista de esclarecer o enquadramento de projetos de GD em alguma das hipóteses de projetos prioritários descritas pelo Decreto nº 8.874/2016.

### **3.3 Possível evolução em curso: o Projeto de Lei 2.646/2020 e as debêntures verdes incentivadas**

Além da regulamentação existente, há perspectiva de ampliação das modalidades de fomento aos títulos verdes, por meio do Projeto de Lei nº 2.646/2020 (sob relatoria do Deputado Federal Arnaldo Jardim), que tem por objeto criar novos instrumentos de investimento e aperfeiçoar outros já existentes (como fundos de investimento em infraestrutura) para incorporar mais incentivos para a captação de recursos privados para projetos de infraestrutura.

Dentre outros aspectos, a proposta trata da debênture verde de infraestrutura (arts. 2º e 6º).<sup>22</sup> Para isso, a proposição legislativa aperfeiçoa o incentivo tributário existente ao emissor

---

<sup>21</sup> A unidade consumidora que pretender conectar uma central geradora caracterizada como micro ou minigeração deve passar por uma série de etapas (v.g., consulta, solicitação e parecer de acesso), atender a critérios técnicos e operacionais (referentes ao ponto de conexão e à conexão em si), os projetos das instalações de conexão devem seguir os critérios do PRODIST e das Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica (Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010), além de seguir uma série de regras de implantação, vistoria, manutenção e segurança das instalações da conexão.

<sup>22</sup> Projeto de Lei nº 2.646/2020: “Art. 2º Fica permitido às concessionárias, às permissionárias, às autoritárias dos serviços públicos definidos nos incisos XI e XII do art. 21 da Constituição Federal e às arrendatárias, criadas com propósito específico e constituídas sob a forma de sociedade por ações, emitir debêntures de infraestrutura, objeto de distribuição pública, e destinar os recursos captados especificamente à implementação de projetos de investimento na área de infraestrutura ou de produção econômica intensiva em pesquisa, desenvolvimento e inovação considerados prioritários na forma do § 1º do art. 1º da Lei nº 11.478, de 29 de maio de 2007. (...) Art. 6º A pessoa jurídica emissora das debêntures de que trata o art. 2º desta Lei poderá: I – deduzir, para efeito de apuração do lucro líquido, o valor correspondente aos juros pagos ou

desses títulos (especificamente, a dedução, do valor de juros incorridos, do imposto de renda e da Contribuição Social sobre o Lucro – CSLL, além da redução da base de cálculo da CSLL.

Para projetos relacionados ao desenvolvimento sustentável, o incentivo é ainda maior (20% a mais na exclusão dos juros pagos da base de cálculo da CSLL) e o PL exige que o projeto em questão seja certificado nacional ou internacionalmente, caracterizando o título mobiliário como um título verde.

#### 4. Lições da experiência internacional

Aqui nos propomos a aprofundar o estudo da experiência internacional na regulamentação dos títulos verdes. Optou-se por estudar, a partir da literatura sobre o tema, o panorama atual da regulamentação dos Estados Unidos da América (EUA), China, Índia e os países membros da Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN).

De início, vale dizer que o principal sistema regulatório internacional<sup>23</sup> ao qual os emissores de títulos podem recorrer é o "*Green Bond Principles*" (GBP), publicado originalmente em 2014 pela International Capital Market Association (ICMA). A versão mais atual do documento é de 2018<sup>24</sup> e contém diretrizes voluntárias para o processo de emissão de títulos verdes.

Atentando para países e regiões do globo em específico, os EUA, conforme os achados de Wang (2018), têm como prática em seu mercado nacional de títulos verdes apenas a adoção voluntária de sistemas regulatórios como as diretrizes do GBP.<sup>25</sup> O país não dispõe de uma definição oficial para títulos verdes, tampouco uma regulamentação sobre títulos verdes, além da conformidade voluntária aos sistemas internacionais. Ocorre que há importantes desafios para a regulação de um mercado como esse, por exemplo, a ausência de padrões industriais do que seria, de fato, verde, a falta de transparência e o constante risco de "*greenwashing*" ("lavagem verde", que objetiva fazer com que produtos aparentem ser sustentáveis apenas para viabilizar sua comercialização, finalidade publicitária, tão somente) a ser mitigado pela regulação.

---

*incorridos, nos termos admitidos pela legislação do Imposto sobre a Renda e da Contribuição Social sobre o Lucro - CSLL; e II – excluir do lucro, sem prejuízo do disposto no inciso I, na determinação do lucro real e da base de cálculo da CSLL, valor equivalente a 30% da soma dos juros pagos no exercício. §1º A exclusão prevista no inciso II deste artigo será majorada para 50% (cinquenta por cento), caso os valores captados pelo emissor sejam utilizados em projetos de investimento de infraestrutura que sejam certificados por entidade nacional ou internacional como projetos relacionados ao desenvolvimento sustentável ("greenbonds"). §2º A certificação como projeto sustentável deverá seguir os padrões internacionais de certificação deste tipo de projeto. § 3º Consideram-se projetos relacionados ao desenvolvimento sustentável aqueles empreendimentos de: I - energia renovável, incluindo produção, transmissão, utensílios e produtos; II - eficiência energética; (...)"*

<sup>23</sup> Vale dizer que também há diretrizes internacionais específicas para títulos climáticos: o *Climate Bond Standard* (CBS), que estabeleceu recomendações para padrões setoriais específicos que os títulos climáticos devem cumprir antes de serem certificados. A versão mais atualizada do documento pode ser localizada em: <<https://www.climatebonds.net/climate-bonds-standard-v3>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>24</sup> Disponível em: <<https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Green-Bonds-Principles-June-2018-270520.pdf>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>25</sup> WANG, Echo Kaixi. Financing Green: Reforming Green Bond Regulation in the United States. In. *Brooklyn Journal of Corporate, Financial & Commercial Law*, v. 12, n. 2, 2018, p. 480-485. No sentido de combater movimentos escusos de lavagem verde, importa a aplicação e fortalecimento dos procedimentos de certificação, abordados em detalhe em: EHLERS, Torsten; PACKER, Frank. Green Bond Finance and Certification. *BIS Quarterly Review*, setembro 2017.

O fato é que os EUA têm um mercado de títulos verdes impulsionado principalmente por fundos de investimento sustentáveis, responsáveis e de impacto, enquanto os fundos de pensão estão apenas começando a se aventurar em investimentos em títulos verdes. Uma razão para tal é a falta de compreensão dos investidores para que possam se comprometer com projetos dessa natureza. O referido estudo aponta que é imperativo que os Estados Unidos estabeleçam sua própria regulamentação semelhante a de países como China e Índia, que abordaremos na sequência, a fim de elevar a confiança dos investidores, a confiabilidade do mercado e a segurança dos investimentos.

Já a **China** possui um mercado de títulos verdes muito ativo (representando 2% de todos os títulos emitidos pelas empresas e instituições chinesas).<sup>26</sup> O país tem demonstrado esforços para regulamentar esse mercado de modo a harmonizar e criar padrões para títulos desse gênero.

Em 2015, o Banco da China e a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reformas (NRDC) publicaram diretrizes (“*China Green Bond Endorsed Project Catalogue*”) para a emissão de títulos por instituições financeiras e empresas. As diretrizes definiram critérios e categorias para projetos aptos a serem financiados por títulos verdes, além de requisitos oficiais para que tais projetos se qualifiquem como verdes em setores como: preservação de energia, prevenção e controle de poluentes, conservação e reciclagem de recursos, transporte limpo, energia limpa, proteção ecológica e adaptação às mudanças climáticas.<sup>27</sup> Uma minuta de nova edição das diretrizes foi submetida a aprimoramentos pelo Banco da China.<sup>28</sup>

O Banco da China também publicou Diretrizes para o Estabelecimento do Sistema Financeiro Verde (“*Guidelines for Establishing the Green Financial System*”) em vista de mobilizar e incentivar o direcionamento de mais capital público e privado para investir em setores verdes, ao mesmo tempo em que restringe o investimento em setores poluentes. O sistema financeiro verde busca facilitar uma transformação verde para a economia chinesa, promover o progresso tecnológico na proteção ambiental, economia de energia e outros setores, acelerando o desenvolvimento econômico.<sup>29</sup>

De forma complementar, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reformas também publicou diretrizes para a emissão de títulos verdes (“*Guidelines on the Issuance of Green Bonds*”). As Diretrizes esclarecem quais projetos se qualificam como verdes e que podem ser apoiados por títulos corporativos verdes e políticas de incentivo para títulos verdes. Essas diretrizes alcançam setores como: urbanização verde, tecnologias de preservação energética e redução de emissões, uso eficiente e limpo de energia, energias renováveis, indústria de baixo carbono, economia de água, prevenção e controle de poluentes, entre outros.<sup>30</sup> Também se

---

<sup>26</sup> WANG, 2018, p. 478.

<sup>27</sup> As diretrizes “*China Green Bond Endorsed Project Catalogue (2015 Edition)*” estão disponíveis em: <<http://www.greenfinance.org.cn/displaynews.php?cid=79&id=468>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>28</sup> “*People's Bank of China Green Bond Endorsed Project Catalogue (2020 Edition)*”. Green Finance Platform. Disponível em: <<https://greenfinanceplatform.org/financial-measures-database/peoples-bank-china-green-bond-endorsed-project-catalogue-2020-edition>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>29</sup> “*The People's Bank of China issued the 'Guidelines for Establishing the Green Financial System'*”. United Nations – Partnership for Action on Green Economy. Disponível em: <<https://www.un-page.org/people%E2%80%99s-bank-china-issued-%E2%80%9Cguidelines-establishing-green-financial-system%E2%80%9D>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>30</sup> “*Green Bond Guidelines Issued by China's National Development and Reform Commission (NRDC)*”. Green Finance Platform. Disponível em: <<https://greenfinanceplatform.org/financial-measures-database/green-bond-guidelines-issued-chinas-national-development-and-reform>>. Acesso em 17 out. 2021.

identifica esforços da Comissão Reguladora de Valores Mobiliários da China (CSRC)<sup>31</sup> no sentido de direcionar o desenvolvimento do mercado de títulos verdes na China.

Em suma o que se extrai dessa experiência é que diversos órgãos e instituições financeiras de um Estado podem – e devem – se mobilizar de forma complementar em prol da regulamentação de um mercado tão relevante de títulos mobiliários como é o mercado de títulos verdes na China.

Também a **Índia** possui requisitos para a emissão de títulos verdes publicados pela Conselho de Valores Mobiliários da Índia (SEBI) em 2016, que em muito se assemelham aos GBP.<sup>32</sup> Os requisitos da instituição indiana visam a harmonizar as diretrizes nacionais e internacionais ao exigir que os emissores divulguem, por exemplo, (i) as razões para a elegibilidade dos projetos e (ii) os benefícios e impactos levantados pelos fundos. Além disso, a regulamentação do SEBI fornece uma lista categórica dos tipos de projetos elegíveis para a emissão de títulos verdes, assemelhando-se à lista enumerada na diretriz do GBP, porém contém disposição adicional que confere ao conselho do SEBI discricionariedade para aprovar outras categorias caso a caso.<sup>33</sup>

Entretanto, alguns aspectos da regulamentação indiana – assim como da Chinesa<sup>34</sup> – permanecem voluntários, como por exemplo o fato de ser opcional empregar apenas certificação de terceiros do título para autenticar suas credenciais verdes. Isso fortalece a percepção de que as práticas estabelecidas no mercado de títulos verdes permanecem totalmente voluntárias, especialmente se considerarmos que esse mercado tem sido amplamente autorregulado, com experiências recentes de regulação institucional em partes do globo, como abordado neste item.

Além desses três exemplos, pode-se mencionar um estudo que abordou o

---

<sup>31</sup> “*The Chinese Securities Regulatory Commission (CSRC) issued a guiding opinion in March 2017 to support the development of green bonds. What is particularly interesting is that the PBoC rule made disclosure a key component of the guideline. Under the guideline, Chinese banks are required to provide quarterly reports on how the green bond proceeds are used, while corporate issuers must provide annual or semi-annual reports. This reporting frequency is far greater than the current international standard, which merely requires annual reporting. Enforcing a mandatory and rigorous reporting requirement also encourages bond issuers to obtain third party verification prior to labeling a bond green, as well as increased post-issuance public disclosures; in fact, 80% of Chinese issuers publicly disclose post-issuance information, whereas in contrast, only 50% of U.S. issuers do so. Finally, the PBoC and CSRC guidelines encourage issuers to obtain external review for their green bonds. Over 93% of Chinese green bonds have obtained such external reviews, compared to an 85% global average. However, external verification by a third party is only optional, and not mandatory, under the Chinese regulations.*” (WANG, 2018, p. 478-479).

<sup>32</sup> O documento “*Disclosure requirements for issuance and listing Green Bonds*”, aprovado em 11 de janeiro de 2016 pelo SEBI, estão disponíveis em: <[https://www.sebi.gov.in/sebi\\_data/meetingfiles/1453349548574-a.pdf](https://www.sebi.gov.in/sebi_data/meetingfiles/1453349548574-a.pdf)>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>33</sup> Nesse sentido: WANG, 2018, p. 479; e “*India’s securities’ regulator finalises official green bond listing requirements*”. Climate Bonds Initiative, 2016. Disponível em: <<https://www.climatebonds.net/2016/01/india%E2%80%99s-securities%E2%80%99-regulator-finalises-official-green-bond-listing-requirements-says-green>>. Acesso em 17 out. 2021.

<sup>34</sup> De acordo com PUGSLEY, Justin “*Regulators starting to catch up with green bond boom*”. Global Risk Regulator, 2016. Disponível em: <<https://www.globalriskregulator.com/Subjects/Capital/Regulators-starting-to-catch-up-with-green-bond-boom>>. Acesso em 17 out. 2021. De todo modo, a Índia representa um foco de interesse para o futuro dos títulos verdes, impulsionado pela regulamentação mencionada neste estudo, como se depreende do seguinte excerto: “*The SEBI regulations are likely to open up new opportunities for financial companies and banks to raise funds through green bonds. For example in 2017, L&T Infrastructure Finance Company (L&T) issued the first green bonds approved under the new SEBI regulations, which were meant to help develop solar power projects. The IFC subsequently invested \$103 million into L&T’s green bonds,118 which may suggest that the SEBI requirements are sufficient to be recognized by a branch of the World Bank.*” (WANG, 2018, p. 480).

desenvolvimento de mecanismos financeiros inovadores em vista da promoção mais efetiva do investimento em energia renovável na região integrada pelas próprias China, Índia e os países **membros da ASEAN**, quais sejam, Vietnam, Tailândia, Filipinas, Singapura, Myanmar, Malásia, Indonésia, Camboja, Brunei e Laos.<sup>35</sup>

Trata-se de estudo desenvolvido no âmbito de um projeto de pesquisa para abordar as questões mais urgentes do investimento em energia renovável na região do Leste Asiático e explorar como as políticas devem ser escolhidas para trabalhar em conjunto de forma ideal visando à maior financiabilidade de projetos do gênero.

Destaca-se que a demanda energética na referida região objeto de estudo, setores energéticos – especialmente no que concerne à energia elétrica – está em sólido crescimento, muito em função dos acelerados processos de industrialização, urbanização, motorização e aumento da renda per capita das populações locais. Esse quadro de demanda em elevação acarreta a necessidade de atrair investimentos para o desenvolvimento de novos projetos de geração de energia elétrica – especialmente a partir de fontes limpas em competição com os demais combustíveis fósseis que dominam as matrizes energéticas locais. É justamente esse ponto que o artigo busca endereçar.

Dentre suas principais conclusões, o artigo aponta que um mercado de títulos verdes deve ser desenvolvido na região, como uma ferramenta de financiamento dedicada para investimento em energia renovável. De forma geral, o estudo acaba por destacar algumas possíveis políticas que abordam questões relativas à promoção mais efetiva do investimento em energia renovável na região, porém um importante recorte a ser feito se concentra nas seguintes: (i) desenvolver modelos de negócios viáveis e inovadores e mecanismos financeiros, especialmente voltados para geração distribuída (GD) a partir de fontes renováveis; (ii) facilitar o desenvolvimento de projetos através da implementação de mecanismos baseados em práticas do mercado (“*market-based*”); (iii) melhorar a disponibilidade de recursos financeiros na região por meio da criação de mercado e aprimoramento de instrumentos financeiros inovadores, como títulos verdes, que podem ser familiares e atraentes para os investidores asiáticos.

Vale destacar, por fim, que o artigo endereça a delicada questão dos projetos de GD, cuja financiabilidade é dificultada e muito peculiar por se tratarem – em geral – de empreendimentos de menor escala e com período de retorno (“*payback period*”) mais longos, o que demanda mais atenção dos formuladores de políticas energéticas, reguladores e criadores de mecanismos financeiros seja no caso dos países asiáticos, seja no caso do próprio Brasil.

Há ainda que se falar do caso específico do **Vietnam** – identificação da necessidade de expansão das políticas voltadas à integridade dos mercados de títulos verdes, o que se sustenta em dois principais fatores: arcabouço legal e política monetária. Consistindo em um país com grande ambiente promissor para o desenvolvimento de um mercado de títulos verdes, para que esse potencial se concretize, os resultados e conclusões de TU et al. (2020) apontam para a necessidade de: (i) coordenação entre organizações públicas e privadas, setores nacionais e estrangeiros, instituições financeiras, bancos e empresas e provedores de soluções tecnológicas; (ii) as autoridades vietnamitas pilotarem a emissão de títulos verdes e coordenarem-se para desenvolver um plano abrangente de implementação da emissão de títulos verdes, de acordo com as práticas internacionais; (iii) um documento legal como base para a implementação de um programa de títulos verdes; e (iv) complementariedade entre investimento público – comumente insuficiente para financiar projetos de baixo carbono – e

---

<sup>35</sup> KIMURA, Fukunari; KIMURA, Shigeru; CHANG, Youngho; LI, Yanfei. Financing renewable energy in the developing countries of the East Asia Summit region: Introduction. In. *Energy Policy*, v. 95, agosto 2016, p. 421-426.

capital financeiro privado.<sup>36</sup>

A partir da experiência internacional, portanto, pode-se identificar os seguintes aspectos passíveis de absorção pela regulamentação brasileira, resumidamente: (i) a conformação com os sistemas regulatórios e diretrizes internacionais, notadamente os GBPs; (ii) a possibilidade de diversos órgãos e instituições financeiras se mobilizarem de forma complementar para a regulamentação do mercado; (iii) desenvolvimento de modelos de negócios viáveis e inovadores e mecanismos financeiros voltados para GD a partir de fontes renováveis; (iv) implementação de mecanismos baseados no mercado (“*market-based*”); (v) coordenação entre os atores – públicos e privados – envolvidos no mercado e em sua regulamentação; e (vi) diplomas legais claros e transparentes sobre a matéria para propiciar a compreensão de emissores e investidores.

## 5. Considerações finais: próximos passos para a regulamentação

A regulamentação nacional já deu passos importantes no sentido de incentivar os títulos verdes, mas há, ainda, um vasto campo a ser explorado neste tema. Ainda pode ser cogitada a normatização de novos mecanismos de fomento (inclusive a outros títulos de captação de recursos privados), bem como a simplificação e aumento de transparência dos critérios e procedimentos para a emissão desses títulos.

A previsão legal expressa dos títulos verdes incentivados pode – e deve – ser complementada pelo movimento legislativo já em curso. A criação das debêntures verdes de infraestrutura (conforme previsto no Projeto de Lei nº 2.646/2020), sujeitas a regras e incentivos tributários próprios, pode ser mais um passo rumo a mecanismos de financiamento criativos e arrojados destinados à consolidação de uma economia baseada em projetos social, de baixo carbono e ambientalmente adequados.

Além disso, especificamente no que toca à questão da geração distribuída, identifica-se a necessidade de atualização da ainda restritiva portaria ministerial existente sobre o tema de modo a sanar a persistente dúvida sobre ao enquadramento da GD em alguma das hipóteses de projetos prioritários descritas pelo Decreto nº 8.874/2016.

Também no âmbito da regulação institucional, podem ser criados novos procedimentos que simplifiquem a emissão desses títulos – inclusive no âmbito da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), na esteira da regulamentação institucional identificada na experiência internacional sobre a matéria. Não se deve perder de vista a necessidade de bom enquadramento dos projetos elegíveis para se beneficiarem de recursos obtidos mediante títulos verdes. Isso implica afastar ou, ao menos, mitigar o risco de *lavagem verde*.

Diante dessa nova realidade dos imperativos de sustentabilidade e os parâmetros ambientais, sociais e de governança (parâmetros “ESG”, na sigla em inglês) que recaem, cada vez com mais ênfase, sobre as práticas atinentes ao investimento privado, a regulação deve ser aprimorada para que o mercado de títulos verdes, se desenvolva, convergindo interesses do capital privado com a busca por uma matriz energética mais limpa e sustentável.

## Referências

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029*. Brasília: MME/EPE, 2019.

---

<sup>36</sup> TU, Chuc Anh; RASOULINEZHAD, Ehsan; SARKER, Tapan. Investigating solutions for the development of a green bond market: evidence from analytic hierarchy process. *Finance Research Letters*, v. 34, fevereiro 2020, 101457, p. 4-5.

EHLERS, Torsten; PACKER, Frank. Green Bond Finance and Certification. *BIS Quarterly Review*, September 2017.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 3. Ed. rev. e ampl. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *O Mercado Emergente de Finanças Verdes no Brasil*. 2020. Disponível em: <[http://www.labinovacaofinanceira.com/wp-content/uploads/2020/07/mercado\\_financasverdes\\_brasil.pdf](http://www.labinovacaofinanceira.com/wp-content/uploads/2020/07/mercado_financasverdes_brasil.pdf)>. Acesso em 17 out. 2021

JUSTEN NETO, Marçal; COSTA, Camila Batista Rodrigues. A revisão da regulação da geração distribuída de pequeno porte. In. JUSTEN FILHO, Marçal; SILVA, Marco Aurélio de Barcelos (Coord.). *Direito da infraestrutura: estudos de temas relevantes*. 1. Ed. – Belo Horizonte: Fórum, 2019.

KIMURA, Fukunari; KIMURA, Shigeru; CHANG, Youngho; LI, Yanfei. Financing renewable energy in the developing countries of the East Asia Summit region: Introduction. In. *Energy Policy*, v. 95, agosto 2016.

MONK, Alexander; PERKINS, Richard. What explains the emergence and diffusion of green bonds? *Energy Policy*, v. 145, outubro 2020, 111641.

MOTODA, Érika. “Título verde movimentou US\$ 8,1 bilhões no Brasil”. Estado de S. Paulo, 2020. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,o-que-falta-para-haver-mais-titulos-verdes-no-mercado,70003431791>>. Acesso em 17 out. 2021.

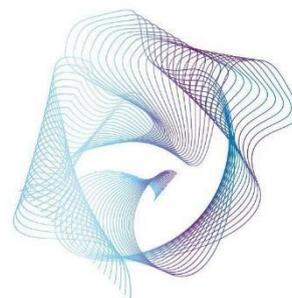
TOLLIVER, Clarence; KEELEY, Alexander Ryota; MANAGI, Shunsuke. Policy targets behind green bonds for renewable energy: do climate commitments matter? *Technological Forecasting & Social Change*, v. 157, maio 2020, 120051.

TU, Chuc Anh; RASOULINEZHAD, Ehsan; SARKER, Tapan. Investigating solutions for the development of a green bond market: evidence from analytic hierarchy process. *Finance Research Letters*, v. 34, fevereiro 2020, 101457.

WANG, Echo Kaixi. Financing Green: Reforming Green Bond Regulation in the United States. *Brooklyn Journal of Corporate, Financial & Commercial Law*, v. 12, n. 2, 2018, p. 467-491.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Potencial de otimização da produção de biogás a partir da codigestão de resíduos orgânicos com glicerina

Paola Mercadante Petry<sup>1</sup>, Ronan Cleber Contrera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Paola Mercadante Petry, Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP)

<sup>2</sup> Ronan Cleber Contrera, Escola Politécnica (USP)

\*Autor para correspondência, E-mail: paola.petry@usp.br

**Resumo:** A digestão anaeróbia consiste em um tratamento biológico que permite o aproveitamento energético de resíduos orgânicos por meio da obtenção do biogás, uma fonte de energia renovável que contribui para a descarbonização e diversificação da matriz energética brasileira. Esse trabalho foca na avaliação da codigestão de resíduos orgânicos com adição de glicerina, que é um produto oriundo da indústria de biodiesel e abundante no Brasil. A revisão da literatura apresentou evidências que a codigestão com glicerina é um tema novo e que vem ganhando atenção de pesquisadores no Brasil, principalmente por aumentar a produção de metano quando adicionada em pequenas quantidades, como em 1% em volume. Essa revisão busca embasar um trabalho experimental que será realizado a fim de testar o desempenho da reação de produção de biogás a partir de diferentes concentrações de glicerina, contribuindo, com isso, para o desenvolvimento tecnológico e otimização da geração de biogás no país.

**Palavras chave:** Digestão anaeróbia, metano, transição energética, CEAGESP.

**Abstract:** *Anaerobic digestion is a biological treatment that allows the energy use of organic waste by obtaining biogas, a renewable energy that contributes to the decarbonization and diversification of the Brazilian energy matrix. This study focuses on evaluating the co-digestion of organic waste with the addition of glycerin, which is a product from the biodiesel industry and abundant in Brazil. The literature review presented evidence that co-digestion with glycerin is a new topic that has been gaining attention from researchers in Brazil, mainly because it increases the production of methane when added in small amounts, such as 1% by volume. This review seeks to support an experimental work that will be carried to test the performance of the biogas production reaction from different concentrations of glycerin, contributing to the technological development and optimization of biogas generation in the country.*

**Keywords:** *Anaerobic digestion, methane, energy transition, CEAGESP.*

## 1. Introdução

A digestão anaeróbia de resíduos se enquadra como uma tecnologia no conceito de *Waste-to-Energy* que gera energia moderna e renovável, contribuindo para a transição energética e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (MUTZ *et al.*, 2017). O biogás é obtido por meio da digestão anaeróbia e pode ser utilizado para geração de calor ou eletricidade e para obtenção de biometano, um combustível com maior concentração de metano oriundo da purificação do biogás. Essa rota de produção de energia é uma das tecnologias indicadas para tratamento de resíduos orgânicos em países da América Latina devido à alta fração de orgânicos nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (SILVA-MARTÍNEZ *et al.*, 2020). Além de minimizar o volume de material que é destinado aos aterros ou depositados de forma inapropriada no meio ambiente, a recuperação energética dos resíduos reduz a demanda por recursos primários para produção de energia e contribui para promoção da segurança energética (VANHAMÄKI *et al.*, 2020).

O biogás é visto como um biocombustível avançado e estratégico para substituição do diesel no transporte, na forma de biometano, e para geração de eletricidade como uma fonte renovável, armazenável e despachável (EPE, 2018), podendo compor sistemas de geração descentralizada de energia. Em 2019, foram produzidos cerca de 1,3 bilhões de m<sup>3</sup> de biogás no Brasil, sendo 76% desse total oriundo do tratamento dos RSU e de lodo de esgoto (CIBIOGÁS, 2019).

A produção e o interesse pelo biometano vem crescendo nos últimos anos no Brasil, principalmente pela possibilidade de ser injetado nas redes de gasodutos e complementar à expansão do uso do gás natural no país (CIBIOGÁS, 2019). Além disso, o biometano oferece a possibilidade de uma nova rota de produção de hidrogênio verde (H2V) a partir da reforma do metano. A maior parte da produção de hidrogênio é proveniente da reforma do gás natural, conhecido como hidrogênio cinza. O biometano foi reconhecido pela ANP como equivalente ao gás natural, e com isso, poderia utilizar a infraestrutura existente da reforma do gás natural para produção de hidrogênio verde, o que reduziria os custos do processo e incorporaria os benefícios ambientais da cadeia de produção de biogás e biometano à essa rota de produção (EPE, 2021).

Essa revisão busca embasar um trabalho experimental que será realizado a fim de testar o desempenho da reação de produção de biogás a partir da codigestão de RSU com diferentes concentrações de glicerina. A codigestão consiste na mistura de mais de um tipo de substrato no processo de digestão anaeróbia, o que pode alterar as condições do meio e, portanto, o rendimento da geração de biogás. Sendo assim, foi realizado um levantamento na literatura científica dos resultados da codigestão de diferentes tipos de resíduos orgânicos com glicerina. A glicerina é um coproduto da reação de obtenção do biodiesel, que corresponde a aproximadamente 10% em massa do biocombustível produzido. Com o uso mandatório de biodiesel no país, a produção de glicerina é garantida, podendo ser utilizada para esse fim. Além disso, como foi explorado nesse trabalho, há indícios da otimização da produção de metano com a adição de baixas concentrações de glicerina no processo.

Entretanto, são necessários mais estudos experimentais para desenvolver essa estratégia, principalmente, quando aplicada à digestão anaeróbia da fração orgânica do RSU.

## **2. Metodologia**

As discussões desse trabalho estão fundamentadas, primeiramente, nos resultados da busca realizada na Plataforma Scopus por artigos relacionados ao uso de glicerina como substrato para codigestão de resíduos orgânicos. Posteriormente, foi realizada uma seleção e revisão do conteúdo dos artigos a fim de averiguar a relevância de uma pesquisa experimental nesse tema e o potencial de otimização da produção de biogás por esse processo.

## **3. Digestão e codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos**

A digestão anaeróbia é a degradação da matéria orgânica por micro-organismos em condições anaeróbias, ou seja, sem presença de oxigênio. A principal vantagem desse processo é a produção de gás metano pelas bactérias metanogênicas e do digestato, coproduto que tem valor agrônômico para ser utilizado como fertilizante orgânico em substituição ao fertilizante mineral (CULI, 2019).

O tipo de substrato e as condições do meio influenciam na composição final do biogás, pois, por ser um processo biológico, a reação depende da atividade metabólica dos micro-organismos e, conseqüentemente, isso altera os rendimentos do processo. As principais variáveis no processo da digestão anaeróbia são:

- Temperatura: relacionada à cinética da reação; geralmente os reatores anaeróbios operam em faixas de temperatura próximas a 35 °C ou 55 °C.
- pH: é um indicador de desequilíbrio no meio; a faixa de degradação da matéria orgânica é entre 6,0 e 8,0, sendo que os melhores resultados são obtidos em pH neutro.
- Disponibilidade de nutrientes: a relação mais importante entre os macronutrientes é a relação carbono/nitrogênio (C/N) que afeta a etapa fermentativa da produção de biogás; a faixa ideal é entre 20 e 30, sendo 25 o mais recomendado.
- Oxigênio (potencial redox): é considerado um composto inibidor que pode ser consumido no metabolismo oxidativo na acidogênese, uma das fases da digestão anaeróbia.

Na literatura foram encontradas evidências mostrando que a adição de glicerina altera a relação de C/N no meio, o que pode levar a desempenhos diferentes na produção de biogás.

#### 4. Resultados e discussões

A busca realizada na Plataforma Scopus, em agosto de 2020, pelas palavras chaves “biogás AND codigestion” resultou em 679 publicações. Nos últimos dez anos foram publicados 649 artigos que exploraram os resultados da codigestão de variados substratos. Adicionando as palavras “glycerin” ou “glycerol” à busca, apareceram 21 publicações: uma datada de 1999 referente a uma revisão sobre digestão anaeróbia de compostos orgânicos complexos e a maioria entre 2010 e 2019.

Em relação aos substratos mais analisados, 12 artigos testaram a codigestão de glicerol com dejetos animais e 6 com lodo de esgoto. Apenas um trabalho avaliou a codigestão de glicerina, lodo de esgoto e resíduos alimentares, enquanto outro artigo avaliou a codigestão de RSU e glicerina. Entre os trabalhos encontrados, quatro possuíam afiliação brasileira (UFRJ, UFGD, UEOP e UE Santa Cruz), com isso, é um tema de interesse nacional e com grande possibilidade de inovação.

A suplementação de glicerina na digestão anaeróbia de resíduos orgânicos foi atestada como uma estratégia para aumentar a produção de biogás. Esse efeito tem relação com o aumento do teor de carbono na mistura, pois a glicerina é uma fonte de C que equilibra a relação C/N; o excesso de N tem um efeito inibidor no processo (ZAHEDI *et al.*, 2017). Entretanto, estudos também mostram que a adição de glicerina em alta porcentagem pode afetar negativamente a digestão de dejetos suínos, (GONZÁLEZ *et al.*, 2019) e de RSU (VERONEZE *et al.*, 2019). O uso de 3% (v/v) de glicerina levou a instabilidades do processo (queda acentuada do pH e do rendimento de metano), que são possivelmente atribuídas ao acúmulo de produtos metabólicos formados durante a digestão anaeróbia. (SILVA *et al.*, 2018). A Tabela 1 reúne alguns efeitos do uso da glicerina na codigestão de lodo, RSU e dejetos animais.

Referência	Substratos	% glicerina	Resultados
VERONEZE et al. (2019)	Dejetos suínos e Glicerina	5, 10, 15 e 20% (v/v)	As taxas de produção de biogás foram prejudicadas pela adição de doses de glicerina superiores a 5%.
GONZÁLEZ R. et al. (2019)	Dejetos suínos e Glicerina	4, 8, 12 e 16% (v/v)	Melhores resultados foram obtidos com adição de 4% de glicerina.
SILVA et al. (2018)	Glicerina, RSU e lodo	1, 2 e 3% (v/v)	Atestou a viabilidade da glicerina para aumentar a eficiência de produção de H <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> ; Melhor resultado foi com 1%.
ZAHEDI S. et al. (2017)	RSU e Glicerina	1% (v/v)	A suplementação de glicerol aumentou a produção de biogás.

ROBRA et al. (2010).	Dejetos bovinos e Glicerina	5, 10 e 15% (m/m)	Melhores resultados foram obtidos com 5% de glicerina.
FOUNTOULAKIS et al. (2010)	Lodo de esgoto e Glicerina	1% (v/v)	A adição de glicerol não causou efeito negativo no desempenho do reator.

Tabela 1 - Efeitos da adição de glicerina na codigestão de resíduos.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da busca na Plataforma Scopus.

Tendo em vista que o trabalho experimental será conduzido com resíduos orgânicos da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGSP), utilizou-se como base os estudos com RSU; em SILVA et al, (2018), os testes mostraram um aumento de 39,5% no rendimento da produção de metano com 1% de glicerina em relação ao teste controle, sem adição deste substrato. No estudo de ZAHEDI S. et al, 2017, a produção de metano dobrou com a adição de 1% de glicerina e nas condições testadas.

## 5. Conclusões

A revisão da literatura realizada nesse trabalho apresentou evidências que a codigestão com glicerina é um tema novo e que vem ganhando atenção de pesquisadores no Brasil, principalmente por aumentar a produção de metano quando adicionada em pequenas quantidades, como em 1% em volume. A glicerina é um produto facilmente armazenado, co-produto da indústria de biodiesel e poderia ser aplicado para esse fim no Brasil, visto que há uma política nacional para uso do biodiesel no setor de transportes e um potencial de produção de biogás ainda grande a ser explorado no país. No entanto, os trabalhos consultados apontaram que é necessário ter cuidado com a alimentação de glicerina no reator para prevenir a sobrecarga do sistema. Vale ressaltar que além dos substratos utilizados, outras condições como o tipo de reator e a temperatura também interferem no rendimento da produção de metano. Sendo assim, é fundamental ampliar a base de dados experimentais com o uso da glicerina na codigestão a fim de desenvolver essa estratégia para otimizar a produção de metano.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Referências

CIBIOGÁS. Nota Técnica: Panorama do Biogás no Brasil em 2019. Foz do Iguaçu, 2020.

CULI, M. Biodigestão da fração orgânica de resíduos sólidos em um reator de duas fases operado em bateladas sequenciais com imobilização da biomassa. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019.

EPE. Empresa de pesquisa Energética. O Potencial do Biogás: Oportunidades e Desafios. 2018.

EPE. Empresa de pesquisa Energética. Nota Técnica: Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio, 2021.

FOUNTOULAKIS, M. S.; PETOUSHI, I.; MANIOS, T. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. *Waste Management*, v. 30, n. 10, p. 1849–1853, 2010.

GONZÁLEZ, R. *et al.* Application of thermal analysis for evaluating the effect of glycerine addition on the digestion of swine manure. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 135, n. 4, p. 2277–2286, 2019.

MUTZ, D. *et al.* Waste-to-energy options in municipal solid waste management. 2017.

ROBRA, S. *et al.* Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 9, p. 1330–1335, 2010.

SILVA, F. *et al.* Hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion system by co-digestion of food waste, sewage sludge and glycerol. *Waste Management*, v. 76, p. 339–349, 2018.

SILVA-MARTÍNEZ *et al.* The state-of-the-art of organic waste to energy in Latin America and the Caribbean: Challenges and opportunities. *Renewable Energy*, v. 156, p. 509–525, 2020.

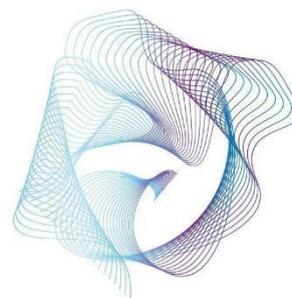
VANHAMÄKI, S. *et al.* Transition towards a circular economy at a regional level: A case study on closing biological loops. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 156, 104716, 2020.

VERONEZE, L. *et al.* Production of biogas and biofertilizer using anaerobic reactors with swine manure and glycerin doses. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 176–184, 2019.

ZAHEDI, S. *et al.* Bioenergy Generation from Municipal Solid Waste and Glycerin Waste: Population Dynamics. *Energy and Fuels*, v. 31, n. 9, p. 9550–9556, 2017.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## **Análise do Cbio como passo inicial ao desenvolvimento de BECCS no Brasil**

Brenda H.M. Silveira<sup>1</sup>; Hirdan K.M. Costa<sup>2</sup>; Edmilson M. Dos Santos<sup>3</sup>

1 Brenda Honório Mazzeu Silveira. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

2 Hirdan Katarina de Medeiros Costa. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

3 Edmilson Moutinho dos Santos. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

\* Autor para correspondência, E-mail: [brendasilveira@usp.br](mailto:brendasilveira@usp.br)

**RESUMO:** Este artigo discute de que modo a recente implantação dos Créditos de Descarbonização (CBio) no Brasil pode fornecer incentivos ao desenvolvimento de BECCS. Por meio de revisão da literatura, o presente estudo seleciona os principais pontos relevantes para a promoção da BECCS, com base em experiências internacionais, e os relaciona com os elementos que compõem o CBio. Conclui-se que o CBio fornece condições fundamentais para o desenvolvimento dessa tecnologia, mas não suficientes. A ausência de BECCS na cartilha de tecnologias necessárias para alcançar as metas do Brasil, somada à falta de políticas específicas à BECCS no país limitam a sua atuação.

**Palavras-Chave:** BECCS; políticas de mitigação de GEEs; Crédito de Descarbonização.

**ABSTRACT:** This article<sup>37</sup> discusses how the recent implementation of Decarbonization Credits (CBio) in Brazil can provide incentives for the development of BECCS. Through a literature review, this study selects the main points relevant to the promotion of BECCS, based on international experiences, and relates them to the elements that make up the CBio. It is concluded that CBio provides fundamental conditions for the development of this technology, but not sufficient. The absence of BECCS in the portfolio of technologies needed to achieve Brazil's goals, added to the lack of specific policies for BECCS in the country, limit its performance.

**Keywords:** BECCS; GHG mitigation policies; Decarbonization Credits.

### **1. INTRODUÇÃO:**

No contexto de mitigação de gases de efeito estufa (GEEs), é importante a implementação de diversas tecnologias de baixo carbono, dentre as quais destaca-se a tecnologia BECCS (*Bioenergy with carbon capture and storage*), que captura o CO<sub>2</sub> emitido em plantas de bioenergia, o transporta até o local de armazenamento, e o armazena em formações geológicas profundas (CONSOLI, 2019; IEA, 2017; RICCI, 2012; SCHENUIT et al., 2021). Nesse sentido, essa tecnologia é capaz de fornecer emissões líquidas negativas (CONSOLI, 2019; IEA, 2017; KETZER et al., 2016). O Brasil tem

---

<sup>37</sup> O presente artigo também foi apresentado no III Simpósio Interdisciplinar de Ciência Ambiental.

relevante potencial de BECCS devido à sua indústria de bioenergia, em especial à indústria de etanol (KETZER et al., 2016).

No entanto, o desenvolvimento de BECCS, tanto a nível internacional quanto nacional, não tem sido compatível com o seu potencial mitigatório. A própria natureza econômica da tecnologia dificulta que o serviço seja fornecido por agentes privados, devido à impossibilidade de excluir não-pagantes do serviço ofertado (IEA, 2012; RICCI, 2012). Uma das formas de contornar essa dificuldade é implementar instrumentos de mercado que visem valorar o meio ambiente, à exemplo dos sistemas *cap-and-trade* (ABDULLA et al., 2021; FRIDAHL, 2018; LYU; SHI; WANG, 2020; RICCI, 2012; SCHENUIT et al., 2021).

Alguns autores avaliaram o resultado de políticas em países específicos. Lyu, Shi e Wang (2020) verificaram o efeito do mercado de carbono chinês sobre a inovação de tecnologias de baixo carbono, com o estudo de caso do mercado-piloto estabelecido em algumas províncias e cidades da China desde 2013. Abdulla et al. (2021), Bellamy et al. (2021) e Fridahl et al. (2020) avaliaram a opinião dos stakeholders acerca das políticas implementadas no Reino Unido e na Suécia.

Nesse sentido, apesar de diferentes estudos já terem elencado as principais características das políticas que resultam em um cenário favorável à BECCS, há uma lacuna na literatura quanto ao confronto desses aspectos com a política brasileira. O presente artigo auxilia a preencher essa lacuna ao adotar o estudo de caso da política de Crédito de Descarbonização, CBio. Portanto, discute de que modo a recente implantação do CBio no Brasil pode fornecer incentivos ao desenvolvimento de BECCS.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo seleciona os principais pontos relevantes para a promoção da BECCS com base em documentos de instituições supranacionais, assim como em experiências internacionais.

### 1.1. Principais qualidades de políticas nacionais para o desenvolvimento de BECCS

Um dos pontos mais destacados é a necessidade de BECCS estar em consonância com as metas de mitigação de gases de efeito estufa do país (IEA, 2012, 2017; RICCI, 2012; SCHENUIT et al., 2021). É fundamental que BECCS seja explicitamente colocada como instrumento essencial para o país alcançar as metas do Acordo de Paris (national determined contributions – NDCs) a fim de promover os investimentos (FRIDAHL, 2018; IEA, 2012, 2017; RICCI, 2012; SCHENUIT et al., 2021). Por outro lado, tendo em vista quais projetos devem ser fomentados, a literatura aponta a importância de desenvolver os setores que demonstrem custos mais baixos para o desenvolvimento de BECCS (ABDULLA et al., 2021; IEA, 2012; SCHENUIT et al., 2021).

Em paralelo a essas condições, é importante lembrar que investimentos em BECCS são de longo prazo e, portanto, a estabilidade das políticas que embasam os incentivos é bastante relevante. No entanto, a forma de incentivar essa tecnologia varia conforme ela avança no mercado e enfrenta diferentes gargalos (IEA, 2017), mas também conforme os países encontram maior ou menor dificuldade em alcançar as metas de mitigação determinadas (SCHENUIT et al., 2021). Dado esse contexto, é importante a construção de políticas estáveis, porém flexíveis. Assim, tendo em vista que a rentabilidade desses projetos é inseparável do mercado de carbono ou de subsídio a partir de impostos de carbono, a estabilidade do preço do carbono ao longo prazo deve fazer parte do pacote de incentivo (ABDULLA et al., 2021; CHIU et al., 2015; LYU; SHI; WANG, 2020; MO et al., 2016).

Do ponto de vista mais técnico, a dificuldade em contabilizar as emissões do ciclo de vida da tecnologia BECCS pode ser um obstáculo para a construção das políticas mencionadas acima (IEA, 2012).

## 3. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Apesar de o Brasil não ter definido metas de emissões negativas no contexto do Acordo de Paris, e de não mencionar BECCS, o CBio está de acordo com os compromissos do país descritos pelo NDC (BRAZIL, 2015; PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017). Assim, o estabelecimento do

CBio auxilia no ganho de credibilidade dos compromissos afirmados pelo país acerca de redução de gases de efeito estufa.

Além disso, a revisão da literatura aponta que o etanol produzido no sudeste do Brasil, além de oferecer custos menores de captura do gás carbônico (KETZER et al., 2016; MOREIRA et al., 2016; ROCHEDO et al., 2016), se encontra em uma região com infraestrutura madura de gasodutos e próximo a bacias sedimentares com características favoráveis, podendo potencialmente servir de local de armazenamento (KETZER et al., 2016; SILVA et al., 2018). Nesse sentido, o estímulo à indústria de biocombustíveis, como feito pelo CBio (MATSUURA et al., 2018; PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017), é muito importante para desenvolver esse potencial nicho com custos mais baixos.

No contexto de políticas estáveis, mas flexíveis, conforme apontado pela Lei Nº 13.576 de 26 de dezembro de 2017, as metas compulsórias são definidas tendo em vista, dentre outros aspectos, disponibilidade de oferta de biocombustíveis, evolução do consumo nacional de biocombustíveis, os compromissos de redução de GEEs assumidos pelo Brasil e “o impacto de preços de combustíveis em índices de inflação” (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017, Art. 6º). Assim, por meio do controle da demanda por CBios, os entes públicos são capazes de ter maior controle do preço do carbono na economia brasileira, oferecendo, assim, certo nível de estabilidade (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017).

Por outro lado, a metodologia RenovaCalcMD, utilizada para o cálculo da Nota de Eficiência Energético-Ambiental (MATSUURA et al., 2018), contabiliza os gases emitidos ao longo do ciclo de vida do biocombustível avaliado (MATSUURA et al., 2018; PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017). Dessa forma, o método vigente já considera as dificuldades em contabilizar emissões provenientes da produção de bioenergia e opera para superá-las com mecanismos técnicos muito bem explicados e com informações disponíveis para consulta do público amplo (MATSUURA et al., 2018; PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017).

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

BECCS é um dos principais mecanismos para alcançar as metas de redução de emissão adotadas e, principalmente, metas mais restritivas que podem vir a ser necessárias. Em paralelo, diversas atitudes têm sido implementadas para incentivar tecnologias menos poluentes, dentre as quais se encontra o Crédito de Descarbonização (CBio) no Brasil. Este artigo discutiu de que modo a recente implantação dos Créditos de Descarbonização (CBio) no Brasil pode fornecer incentivos ao desenvolvimento de BECCS. Esse objetivo foi alcançado a partir de revisão da literatura.

Ao analisar de que forma os elementos do CBios fornecem as bases e o contexto necessários ao desenvolvimento de BECCS, observou-se que o CBio fornece condições importantes, mas não suficientes. Especificamente para BECCS, por um lado, observa-se a tradução das metas de mitigação de GEEs em políticas efetivas, a contabilidade adequada das emissões do setor de biocombustíveis e mecanismos de estabilidade de preços. Por outro lado, o Brasil ainda não incluiu BECCS na cartilha de tecnologias necessárias para alcançar as metas colocadas e não possui políticas explicitamente voltadas para BECCS.

## **REFERÊNCIAS**

- ABDULLA, A. et al. Explaining successful and failed investments in U.S. carbon capture and storage using empirical and expert assessments. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 1, 2021.
- BELLAMY, R. et al. Incentivising bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) responsibly: Comparing stakeholder policy preferences in the United Kingdom and Sweden. *Environmental Science and Policy*, v. 116, n. April 2020, p. 47–55, 2021.

BRAZIL. Intended Nationally Determined Contribution: Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Intended Nationally Determined Contribution, v. 9, p. 6, 2015.

CHIU, F. P. et al. The energy price equivalence of carbon taxes and emissions trading-Theory and evidence. *Applied Energy*, v. 160, p. 164–171, 2015.

CONSOLI, C. Bioenergy and Carbon Capture and Storage. Global CCS Institute publications. Global CCS Institute, p. 1–14, 2019.

FRIDAHL, M. Bioenergy with carbon capture and storage - From global potentials to domestic realities. European Liberal Forum, 2018.

FRIDAHL, M. et al. Mapping Multi-Level Policy Incentives for Bioenergy With Carbon Capture and Storage in Sweden. *Frontiers in Climate*, v. 2, n. December, 2020.

IEA. A policy strategy for carbon capture and storage. OECD/IEA, p. 52, 2012.

IEA. Five keys to unlock CCS investment. IEA, 2017.

KETZER, J. M. M. et al. Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016.

LYU, X.; SHI, A.; WANG, X. Research on the impact of carbon emission trading system on low-carbon technology innovation. *Carbon Management*, v. 11, n. 2, p. 183–193, 2020.

MATSUURA, M. I. S. F. et al. RenovaCalcMD: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio. ANP, 2018.

MO, J. L. et al. The impact of Chinese carbon emission trading scheme (ETS) on low carbon energy (LCE) investment. *Energy Policy*, v. 89, n. 2016, p. 271–283, 2016.

MOREIRA, J. R. et al. BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. *Applied Energy*, v. 179, p. 55–63, 2016.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei N° 13.576, de 26 de Dezembro de 2017. Secretaria Geral, 2017.

RICCI, O. Providing adequate economic incentives for bioenergies with CO<sub>2</sub> capture and geological storage. *Energy Policy*, v. 44, p. 362–373, 2012.

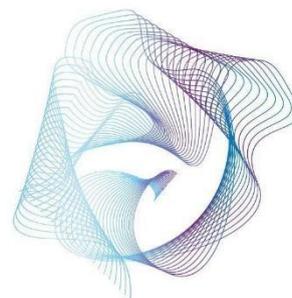
ROCHEDO, P. R. R. et al. Carbon capture potential and costs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, p. 280–295, 2016.

SCHENUIT, F. et al. Carbon Dioxide Removal Policy in the Making: Assessing Developments in 9 OECD Cases. *Policy and Practice Reviews*, v. 3, n. March, p. 1–22, 2021.

SILVA, F. T. F. DA et al. CO<sub>2</sub> capture in ethanol distilleries in Brazil: Designing the optimum carbon transportation network by integrating hubs, pipelines and trucks. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 71, n. February, p. 168–183, 2018.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## A abordagem das questões energo-climáticas pela perspectiva geológica

Mariana Ramos Ciotta<sup>1,\*</sup>, Matheus Ramos Ciotta<sup>2</sup>

1 Mariana Ramos Ciotta, doutoranda no Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

2 Matheus Ramos Ciotta, mestrando no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista.

\*Autor para correspondência, E-mail: mariana.ciotta@usp.br

**Resumo:** Os conhecimentos sobre energia e mudanças climáticas tendem a ser aproximados na literatura, mas ainda é pouco presente a perspectiva geológica do assunto. Em geral, o conhecimento geológico se aproxima de questões mitigatórias como armazenamento geológico de carbono, mas pensar as questões energo-climáticas tende a ser um problema pensado a partir de perspectivas exógenas, que se limitam a compreensão da Terra ao considerar apenas suas esferas mais superficiais. Neste trabalho, busca-se apresentar os ganhos que ocorrem com a integração de conhecimentos geológicos profundos em busca de uma compreensão mais adequada das dinâmicas de funcionamento dos ciclos terrestres. A investigação bibliográfica sugere uma lacuna nessa discussão e abordagens do problema e possíveis perspectivas que se ganham nessa inclusão são mencionadas.

**Palavras chave:** mudanças climáticas, energia, geologia.

**Abstract:** *The knowledge about energy and climate change tends to be approximated in the literature, but the geological perspective of the subject is still little present. In general, the geological knowledge approaches mitigation issues such as geological storage of carbon, but thinking about energy and climate issues tends to be a problem thought from exogenous perspectives, which are limited to understanding the Earth from its most superficial spheres. In this work, it is sought to present the need for integration of deeper geological knowledge in search of a more adequate understanding of the dynamics of the functioning of the Earth's cycles. The literature research suggests a gap in this discussion and approaches to the problem and the possible perspectives to be gained from this inclusion are mentioned.*

**Keywords:** *climate change, energy, geology.*

## 1. Introdução

A percepção da Terra a partir de suas esferas externas e que interferem diretamente na vida humana é natural, mas esconde uma dimensão cônica importante e que possibilita uma compreensão mais profunda das dinâmicas dos ciclos terrestres (AGAMBEN; MATOS, 2021). A compreensão da Terra muda durante a história da humanidade, o que se pode

perceber em registros históricos e literários. No grego clássico, a Terra é representada por duas entidades distintas, por vezes opostas: *gaia* e *chthon* (AGAMBEN; MATOS, 2021). Enquanto *gaia* representa a Terra da superfície pra cima, *chthon* é a Terra da superfície pra baixo. Isso indica que a compreensão popular do planeta neste momento da humanidade compreendia as esferas internas da Terra como uma presença constante. Na modernidade, a relação com a Terra *chthonica* parece não se apresentar com tanta evidência e a relação humanidade-terra se limita as trocas nas esferas superficiais. Na contemporaneidade, a geologia é a disciplina que mais se aproxima da compreensão *chthonica* da Terra.

A ausência dessa perspectiva se reflete, deste modo, em todas as questões que pretensamente tratem da Terra, direta ou indiretamente. As questões do mundo da energia e climáticas não fogem a essa lógica, sendo em geral abordadas a partir da perspectiva da Terra superficial, e não interna. Ainda que claramente sejam temas correlacionados, a abordagem bibliográfica que una essas três perspectivas é escassa. As dinâmicas de distribuição dos recursos energéticos dependem de questões de relevo da Terra, assim como dinâmicas de formações dos sistemas petrolíferos e distribuição de feições geológicas distintas que favoreçam regimes de águas diversos (BROWN, 2002). Por outro lado, a questão climática também está subordinada ao conhecimento do funcionamento da Terra, que não depende apenas do carbono presente nas biosfera e atmosfera mas também no que se encontra nas esferas internas (REICHSTEIN et al., 2013). Por fim, a dinâmica da energia e das mudanças climáticas também existe, e é comumente abordada na literatura científica pela relevância das emissões de gases de efeito estufa associados aos sistemas energéticos (CRONIN; ANANDARAJAH; DESSENS, 2018).

Contudo, o encontro destas três perspectivas concomitantemente não é algo que se observa. Ainda que se faça de maneira indireta, é relevante compreender de que forma a perspectiva geológica pode somar ao estudo das mudanças climáticas e do universo da energia. A ideia da Terra como uma perspectiva constante e de sua compreensão não como um recurso a ser explorado e sim como um conjunto de sistemas complexo é pouco abordado nas ciências em geral, ainda permanecendo no debate filosófico (STENGERS, 2015). Este trabalho busca comentar esta lacuna bibliográfica e sugerir os possíveis ganhos que uma abordagem da Terra como um sistema mais complexo do que se costuma abordar. Assim, o universo das questões energéticas, das mudanças climáticas e dos conhecimentos geológicos são tratados em conjunto.

## **2. Metodologia**

Esse trabalho se propôs a analisar a questão climática e o mundo da energia a partir da perspectiva geológica. A pesquisa é de natureza exploratória e qualitativa. Para tanto, fez-se uma análise na bibliografia na base de dados Scopus referente ao tema em busca de compreender como esses assuntos são abordados conjuntamente e quais as principais lacunas na área.

## **3. Resultados e discussões**

A pesquisa no banco de dados Scopus referentes à intersecção entre os termos “mudanças climáticas, energia e geologia” mostra 502 resultados para os termos em inglês (figura 1). Esses dados se referem a menções que ocorram no título, resumo e palavras-chaves dos artigos científicos indexados na base. Isso indica que as correlações são fracas e os assuntos são abordados em conjunto de maneira distante e tangencial, por vezes quase inexistente.



# 502 document results

TITLE-ABS-KEY ( climate AND change, AND energy, AND geology )

Figura 1 – Resultados encontrados no Scopus ao procurar os termos *climate change*, *energy* e *geology* nas palavras-chaves, resumo e título de artigos.

Fonte: os autores (2021)

Quando a pesquisa é limitada a resultados que mostrem todos os termos pesquisados apenas nas palavras-chaves, o número de resultados cai para 182 (figura 2).



# 182 document results

KEY ( climate AND change, AND energy, AND geology )

Figura 2 – Resultados encontrados no Scopus ao procurar os termos *climate change*, *energy* e *geology* apenas nas palavras-chaves de artigos.

Fonte: os autores (2021)

O tema apresentado nestes artigos é diverso e em geral tangenciam os assuntos abordados, ao trazerem apenas um ou dois deles com maior profundidade. Temas como armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> manifestam uma junção pouco vista dessas três perspectivas, e indicam que a intersecção dessas esferas propõe um viés de mitigação das mudanças climáticas a partir da intervenção no mundo energético.

O conhecimento técnico de cada área torna-se cada vez mais aprofundado, e com isso se dificulta a possibilidade de troca entre conhecimentos científicos diversos (STENGERS, 2016). Com isso, apesar de se ganhar na especialização, se perde nas perspectivas interdisciplinares pela dificuldade de comunicação entre campos diferentes. A geologia é uma disciplina especialmente complexa nesses cenários pois a multiplicidade de divisões para estudo da Terra permite que ainda mais vieses sejam abordados. Deste modo, entende-se que acrescentar a perspectiva geológica a problemas da esfera climática ou energética possibilita a busca de soluções mais efetivas, por proporcionar uma abordagem sistêmica mais completa. Ainda que não seja claro no presente quais perspectivas se ganham com o acréscimo deste ponto de vista, é possível adiantar que nos pontos onde esses três temas convergiram, o diálogo mais completo se fez presente na hora de abordar soluções energo-climáticas (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2003; METZ et al., 2005; BASU; ORR; AKTAS, 2020).

## 4. Conclusões

Agregar a perspectiva geológica no estudo das questões climáticas e no universo da energia é fundamental, pois possibilita a interpretação da Terra de uma maneira menos superficial e mais ciente de sua materialidade e, portanto, finitude. Ainda que a falta de literatura dificulte a compreensão de quais ganhos podem-se apresentar nessa intersecção, sabe-se que existe muito pouca interlocução entre essas áreas, o que coloca problemas epistemológicos em evidência. Se por um lado é difícil entender de que forma a compreensão de mecanismos de subducção de placas tectônicas pode favorecer o planejamento energético de uma nação, por outro existe uma lacuna tão grande de diálogo entre essas disciplinas que surge a ideia de que existe um terreno a ser explorado que pode trazer perspectivas novas a velhos problemas.

É evidente que questões temporais podem ser alegadas: o tempo cronológico da Terra funciona numa escala diversa do tempo de vida humano. Ademais, existem forças motrizes neste ambiente que ainda fogem a nossa compreensão. Contudo, isso não invalida os ganhos que a perspectiva geológica possa trazer para o diálogo: esses distanciamentos nos lembram que a perspectiva que ignora o conhecimento ctônico não abarca parte fundamental da existência no universo e que independe das necessidades antrópicas. Acredita-se, portanto, que o conhecimento geológico possa atuar como uma bússola nas investigações energia-climáticas: manter a ideia da Terra como um sistema não apenas superficial, mas também interno e profundo possibilita que o pensamento de planejamento energético e mitigação de questões climáticas tome uma abordagem menos simplista.

## Agradecimentos

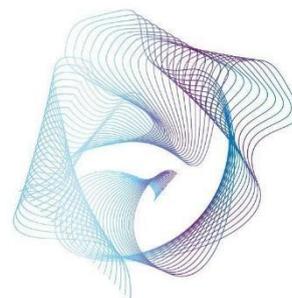
O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências

- AGAMBEN, G.; MATOS, A. S. de M. C. Gaia e Ctônia. **(Des)troços: revista de pensamento radical**, v. 2, n. 1, 25 ago. 2021.
- BASU, S.; ORR, S. A.; AKTAS, Y. D. A Geological Perspective on Climate Change and Building Stone Deterioration in London: Implications for Urban Stone-Built Heritage Research and Management. **Atmosphere**, v. 11, n. 8, p. 788, 26 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4433/11/8/788>>.
- BROWN, C. E. **World Energy Resources**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- CRONIN, J.; ANANDARAJAH, G.; DESSENS, O. Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps. **Climatic Change**, v. 151, n. 2, p. 79–93, 6 nov. 2018. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10584-018-2265-4>>.
- METZ, B. et al. **IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage**. [s.l.: s.n.].
- REICHSTEIN, M. et al. Climate extremes and the carbon cycle. **Nature**, v. 500, n. 7462, p. 287–295, 14 ago. 2013. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/nature12350>>.
- STENGERS, I. Accepting the Reality of Gaia. In: HAMILTON, C.; BONNEUIL, C.; GEMENNE, F. (Ed.). **The Anthropocene and the Global Environmental Crisis**. [s.l.] Routledge, 2015.
- STENGERS, I. “Another Science Is Possible!” In: **Demo(s)**. [s.l.] BRILL, 2016. p. 53–70.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Geologic sequestration of carbon dioxide an energy resource perspective. **USGS fact sheet FS-026-03**, n. March, 2003. Disponível em: <<http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS47874>>.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Perspectivas para a geração termelétrica a gás natural na Amazônia

Gabriel Lobato Cardoso<sup>1\*</sup>, Colombo Celso Gaeta Tassinari.<sup>2</sup>

1 IEE-USP.

2 IEE-USP.

\*Autor para correspondência, e-mail: gabriellobato@usp.br

**Resumo:** o presente trabalho consiste em um levantamento do atual panorama energético amazônico em relação ao emprego do gás natural para a geração termelétrica na região, compreendendo iniciativas públicas e seus desdobramentos em operações de cunho privado. Os estímulos para a oferta de gás e sua aplicação na produção de eletricidade visam, de maneira geral, fomentar a segurança energética associada ao desenvolvimento socioeconômico local, possibilitando, também, a interiorização do gás natural e a diversificação da matriz elétrica amazônica. Neste sentido, destaca-se a necessidade de futuras investigações quanto as implicações econômicas e para o meio ambiente destas iniciativas, dadas as características de mercado de energia e de sensibilidade ambiental da Amazônia.

**Palavras-chave:** gás natural, Amazônia, termelétricidade, segurança energética, energia.

**Abstract:** *this paper consists of a survey of the current Amazonian energy scenario in relation to the use of natural gas for thermoelectric generation in the region, comprising public initiatives and their consequences in private operations. The incentives for the supply of gas and its application in the production of electricity aim, in general, to promote energy security associated with local socioeconomic development, also enabling the internalization of natural gas and the diversification of the Amazon electric matrix. In this sense, the need for future investigations regarding the economic and environmental implications of these initiatives is highlighted, given the characteristics of the energy market and the environmental sensitivity of the Amazon.*

**Keywords:** *natural gas, Amazon, thermoelectricity, energy security, energy.*

### 1. Introdução

A Amazônia brasileira concentra uma ampla variedade de recursos minerais, ecossistêmicos e energéticos (CASTRO et al., 2017), incluindo suas reservas de gás natural. Somente o estado do Amazonas compreende 10,4% das reservas provadas no país, somando-se as bacias do Solimões e Amazonas (ANP, 2020; EPE, 2019), o que incentivou, no passado, projetos para a introdução da termelétricidade a gás na região, como o aproveitamento de parte da produção da província de Urucu em pequenas centrais termelétricas locais (MATOS et al., 2011; BONFIM, 2008). Entretanto, a Amazônia permaneceu carente quanto a eletrificação interna (DI LASCIO; BARRETO, 2009), ainda

que, atualmente, seja responsável pelo maior volume de exportação de eletricidade no intercâmbio regional do Sistema Interligado Nacional (SIN) (EPE, 2020a).

Para mitigar este cenário, recentes iniciativas visam retomar o potencial termelétrico regional baseado no gás natural, como as observadas por Rabello e Coimbra (2020), Popolo (2020) e Nunes (2020), incentivadas pela possibilidade de oferta de gás a partir do REATE<sup>38</sup>, com o desenvolvimento de bacias de nova fronteira para a atratividade de investimentos e monetização de reservas de gás (MME, 2020), e do Novo Mercado de Gás, com a realocação da capacidade ociosa de gasodutos e fortalecimento de agências reguladoras estaduais (SZYFMAN; MILHORANCE, 2019). Partindo deste contexto, o presente trabalho apresenta um levantamento do panorama atual das perspectivas para a geração termelétrica a gás na Amazônia, tanto em ambientes públicos quanto em privados, verificando a promoção de segurança energética e de desenvolvimento socioeconômico relativos ao aproveitamento dos recursos da região.

## 2. Metodologia

Dado o seu caráter exploratório, o presente trabalho faz uso de uma revisão bibliográfica para as investigações relacionadas ao objeto de estudo – o cenário energético amazônico – cuja base de dados abrange 29 literaturas científicas, executivas, legislativas, técnico-institucionais, empresariais e jornalísticas, elaboradas entre 2008 e 2021. No intuito de estruturar as discussões de maneira intuitiva, as perspectivas para a termelétrica a gás na Amazônia estão divididas nos eixos: 1) público, compreendendo as principais medidas, na esfera federal, para o *upstream* e *downstream* da cadeia do gás natural, estando associadas a geração de eletricidade; e 2) privado, com as operações regionais em andamento em diferentes frentes, convergindo para a integração local às diretivas nacionais elencadas no eixo 1.

## 3. Discussões

### 3.1. Iniciativas Públicas

Uma das premissas para a ampliação do uso da termelétrica a gás natural na Amazônia advém da abertura, pelo Ministério de Minas e Energia (MME), para a contratação de termelétricas a gás na Região Norte, valendo-se da interiorização da produção de gás natural e da perspectiva de expansão do parque termelétrico nacional, a partir da oferta de gás a baixo custo e aprimoramentos normativos (RABELLO; COIMBRA, 2020; EPE, 2021a). Esta possibilidade, oriunda de análises de competitividade e limitantes para a inflexibilidade (EPE, 2020b), teve como reflexo a inclusão, no cronograma de Leilões de Energia Nova para o triênio 2021-2023, da previsão de competitividade para termelétricas sem restrições de limite de inflexibilidade operativa na região (BRASIL, 2020a), por meio da Portaria nº 435/2020.

Nesta conjuntura, a oferta de gás atrelada ao abastecimento termelétrico tende a se beneficiar do processo de capitalização da Eletrobras – indexado ao aproveitamento das reservas provadas de gás na Amazônia (BRASIL, 2021a) – e da reativação de atividades em bacias *onshore*, como as do Amazonas e Solimões, com investimentos em fronteiras exploratórias e monetização do gás por meio do REATE (MME, 2020). Quanto aos aprimoramentos normativos, além dos observados no escopo do Novo Mercado de Gás, ressaltam-se as designações do Marco Regulatório do Gás Natural sobre o transporte, escoamento, processamento, estocagem e acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização no país (BRASIL, 2021b).

---

<sup>38</sup> Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres.

A eventual expansão da geração termelétrica na Amazônia, quando verificada a longo prazo, é justificada pelas projeções para o horizonte 2020-2030 apresentadas por EPE (2021a), dado o potencial de contribuição do gás natural para a segurança da matriz elétrica brasileira – sobretudo, após as interrupções de fornecimento no Amapá em 2020 (PORTO; SUPERTI; BENTES, 2021), como um suporte ao abastecimento hidrelétrico dentro do SIN – impulsionando a segurança energética para a região, conforme proposto pelo MME. Além disto, tal expansão pode atuar no barateamento da eletricidade e na substituição de combustíveis e equipamentos ineficientes e de maior grau de poluição ambiental, como os geradores a diesel em comunidades afastadas (LIEW; DANYARO; ZAWAWI, 2020; BONFIM, 2008).

### 3.2. Planejamentos e Atividades Privadas

Como reflexo imediato dos indicativos anteriores, verifica-se a reativação do campo gasífero de Azulão, na Bacia do Amazonas, pela ENEVA, em maio de 2021, visando o desenvolvimento de sua capacidade produtiva com base em seus 3,6 bilhões de m<sup>3</sup> em reservas certificadas, com previsão de término da produção entre 2043 e 2053 (ANP, 2020; POPOLO, 2020; ANP, 2021). Para validar esta retomada, Popolo (2020) aponta a integração rodoviária deste campo a Termelétrica de Jaguatirica II, em Roraima, dada a necessidade de incremento à segurança energética do estado – não interligado ao SIN e atendido por 65 Sistemas Isolados, incluindo a capital Boa Vista, com projeção de crescimento de consumo, carga e demanda para o período de 2021 a 2025 (EPE, 2021b); porém, ainda sensibilizado pelo atual abastecimento elétrico diário entre 5 e 20 horas para cerca de 12 mil brasileiros (ONS, 2020).

Projeta-se que, com esta retomada de estímulos às reservas de gás natural na Amazônia em conjunto a geração de eletricidade por meio de modelos dinâmicos de negócios (CANÇADO, 2017), viabilize-se a implantação de novas tecnologias de monetização de reservas na região, como o modelo *gas-to-wire*, em análise quanto a possível replicação em Azulão após sua consolidação no Parque dos Gaviões, na Bacia do Parnaíba, em um contexto de oferta de energia a preços competitivos, interiorização do desenvolvimento socioeconômico e aproveitamento da riqueza energética local (CANÇADO, 2017; SALGADO; COUTO, 2021; ENEVA, 2020). Em paralelo, oportuniza-se, também, a geração termelétrica via importação de gás natural, com a operação da termelétrica Novo Tempo Barcarena, no Pará, pelas Centrais Elétricas de Barcarena, Golar Power e Evolution Power Partners (BRASIL, 2020b; NUNES, 2020).

O empreendimento terá capacidade instalada de 604,5 MW e será abastecido, a princípio, por volumes de GNL oriundos da Bahia, Sergipe e Bolívia (AGÊNCIA INFRA, 2020) via construção de um terminal de regaseificação – a partir dos indicativos de EPE (2018) para infraestrutura similar no Porto de Vila do Conde – interligado a um gasoduto e a uma *floating storage regasification unit* (FRSU), cuja construção, *in situ*, para o aproveitamento da rede hidrográfica regional durante o transporte e distribuição de GNL (ESTALEIRO RIO MAGUARI, 2019), representa a fabricação e montagem de infraestrutura inédita no Brasil, que objetiva suprir a carência de cobertura regional pela malha de gasodutos conectada ao Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL).

## 4. Considerações Finais

O potencial amazônico para a oferta de gás natural, ainda que parcialmente difundido, vem paulatinamente atraindo investimentos voltados ao seu aproveitamento no contexto energético local, visando incrementar o suprimento de eletricidade em uma região historicamente deficitária quanto ao seu abastecimento. Isto pode ser verificado a partir das

iniciativas públicas no âmbito federal, relacionadas tanto a oferta regional de gás quanto ao seu direcionamento à termelétricidade, ambas relacionadas a aprimoramentos normativos, objetivando, sobretudo, impulsionar a segurança energética na Amazônia.

Tais iniciativas possibilitam a instalação de novos empreendimentos na Região Norte do Brasil, integrando os diferentes atores da cadeia do gás natural com base nas diretrizes institucionais. Nesta conjuntura, a geração termelétrica na Amazônia tende a se beneficiar da introdução de novas tecnologias de monetização de reservas, bem como, *a priori*, da importação de GNL, visto o estágio inicial de desenvolvimento produtivo dos campos da Bacia do Amazonas. Baseando-se na apresentação deste contexto, e dado o seu aspecto introdutório, o presente trabalho espera despertar o interesse para a elaboração de pesquisas mais minuciosas para futuros complementos sobre o tema, investigando, além do cenário energético amazônico quanto ao gás natural e a termelétricidade, fatores acerca do mercado local de energia e pertinentes às especificidades ambientais da Amazônia, essenciais para a compreensão das necessidades e condicionantes regionais.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Referências

AGÊNCIA INFRA. Térmica a gás natural em Barcarena de R\$1,5 bi é autorizada a iniciar obras em 2022. **Agência iNFRA**, Distrito Federal, 3 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.agenciainfra.com/blog/termica-a-gas-natural-em-barcarena-de-r-15-bi-e-autorizada-a-iniciar-obras-em-2022/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020**. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTIxIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzZkxMyJ9>>. Acesso em: 06 jun. 2021.

BONFIM, M. S. **Considerações sobre a Utilização do Gás Natural na Geração de Energia Elétrica em Municípios da Região Amazônica**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BRASIL. Portaria nº 435, de 4 de dezembro de 2020. Dispõe sobre o cronograma do Ministério de Minas e Energia (MME) para Leilões de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração para o triênio 2021-2023. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 dez. 2020a, Seção 1, p. 61. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-435-de-4-de-dezembro-de-2020-292749761>>. Acesso em 5 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. Portaria nº 387, de 27 de outubro de 2020. Dispõe sobre a autorização do Ministério de Minas e Energia (MME) às Centrais Elétricas de Barcarena (CELBA) para implantação e exploração da Central Geradora Termelétrica Novo Tempo Barcarena, no Município de Barcarena, Estado do Pará. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 nov. 2020b, Seção 1, p. 462. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/11/2020&jornal=515&pagina=462&totalArquivos=637>>. Acesso em 21 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.182, de 12 de julho de 2021. Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis nos 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de

novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 jul. 2021a. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.182-de-12-de-julho-de-2021-331549377>> Acesso em: 04 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999; e revoga a Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009, e dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 abr. 2021b. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.134-de-8-de-abril-de-2021-312904769>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

CANÇADO, L. L. Reservoir to Wire: Desafios para Replicar o Modelo. Rio de Janeiro: ENEVA S. A., 2017. Apresentação em formato eletrônico.

CASTRO, B. M. *et al.* A Amazônia Azul: recursos e preservação. **Revista USP**, n. 113, p. 7-26, 2017.

DI LASCIO, M. A.; BARRETO E. J. F. **Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira**: Eletrificação de Comunidades Isoladas. Brasília: Kaco Gráfica e Editora Ltda, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Informe: terminais de regaseificação de GNL nos portos brasileiros**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2018.

\_\_\_\_\_. **Zoneamento Nacional de Óleo e Gás**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2020a.

\_\_\_\_\_. **Leilões de energia: subsídios para a revisão da limitação de inflexibilidade de usinas termelétricas**. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2020b.

\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2021a.

\_\_\_\_\_. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2025 – Ciclo 2020**. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2021b. 58p. Nota técnica EPE-DEE-DEA-NT-001/2021-r0.

ENEVA S. A. Corporate Presentation. Rio de Janeiro: ENEVA S. A., 2020. Apresentação em formato eletrônico.

ESTALEIRO RIO MAGUARI. Projeto prevê construção de comboios movidos a GNL na Região Norte. **Estaleiro Rio Maguari**, Pará, 01 fev. 2019. Disponível em: <<http://www.riomaguari.com.br/projeto-preve-construcao-de-comboios-movidos-a-gnl-na-regiao-norte/>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

LIEW, M. S.; DANYARO, K. U.; ZAWAWI, N. A. W. A. A Comprehensive Guide to Different Fracturing Technologies: A Review. **Energies**, v. 13, n. 13, p. 3326, 2020.

MATOS, F. B. *et al.* A research on the use of energy resources in the Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 3196-3206, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Relatório Executivo: Comitê para a Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres - REATE 2020**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020.

NUNES, L. Estado concede licença de instalação para Usina Térmica em Barcarena. **Agência Pará**, Pará, 03 set. 2020. Disponível em: <<https://agenciapara.com.br/noticia/21928/>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados para 2021 – PEN SISOL 2021**. Rio de Janeiro: ONS, 2020. 71p. Relatório técnico DPL-REL-0250/2020.

POPOLO, D. Desenho de Mercado. In: WORKSHOP GERAÇÃO TERMOELÉTRICA A GÁS NATURAL, Rio de Janeiro: ENEVA S. A., 2020. Apresentação em formato eletrônico.

PORTO, J. L. R.; SUPERTI, E.; BENTES, J. L. **Integração do Amapá ao sistema energético nacional: do sistema isolado ao apagão**. Santa Maria (RS): Arco Editores, 2021. *E-book*. (Desenvolvimento Regional: Política, Planejamento e Economia, 1 ed.). ISBN 978-65-00-17045-0. Disponível em: <<https://doi.org/10.48209/978-65-00-17045-0>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

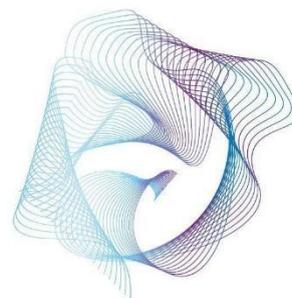
RABELLO, N.; COIMBRA, L. Debate sobre térmicas a gás inflexíveis ganha fôlego após apagão no Amapá. **Agência iNFRA**, Distrito Federal, 10 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.agenciainfra.com/blog/debate-sobre-termicas-a-gas-inflexiveis-ganha-folego-apos-apag-ao-no-amapa/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

SALGADO, F.; COUTO, F. ENEVA: expansão movida a gás em 2021. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL-UFRJ)**, Rio de Janeiro, 15 dez. 2020. Disponível em: <<http://www.gesel.ie.ufrj.br/>> Acesso em: 03 jun. 2021.

SZYFMAN, D.; MILHORANCE, M. Novo Mercado de gás: questões críticas. **Caderno Opinião - FGV Energia**, Rio de Janeiro, p. 27-32, ago. 2019. Número especial.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## O potencial para gás natural não convencional na Amazônia

Nicole Moutinho Monteiro<sup>1</sup>, Gabriel Lobato Cardoso<sup>2</sup>, Colombo Celso Gaeta Tassinari<sup>3</sup>

1 IEE-USP.

2 IEE-USP.

3 IEE-USP.

\*Autor para correspondência, e-mail: nicolemoutinho@usp.br

**Resumo:** o presente trabalho apresenta uma revisão geológica e geofísica dos reservatórios não convencionais *onshore* e *offshore* de gás natural localizados na Amazônia Oriental brasileira, correspondendo, respectivamente, a Bacia do Amazonas e a Bacia da Foz do Amazonas. Ao descrever tecnicamente seus potenciais para hidratos de gás e gás em folhelho, objetivam-se futuras discussões relacionadas a redução do risco exploratório na região, de modo a possibilitar a incorporação destes reservatórios ao cenário energético amazônico visando o desenvolvimento regional, dado o incremento à oferta de gás natural.

**Palavras-chave:** Amazônia, hidratos de gás, gás em folhelho, Bacia da Foz do Amazonas, Bacia do Amazonas.

**Abstract:** *this paper presents a geological and geophysical review of unconventional onshore and offshore natural gas reservoirs located in the Brazilian Eastern Amazon, corresponding, respectively, to the Amazonas Basin and the Foz do Amazonas Basin. By technically describing their potential for gas hydrates and shale gas, future discussions related to the reduction of exploratory risk in the region are aimed at, in order to enable the incorporation of these reservoirs into the Amazon energy scenario aiming at regional development, given the increase in supply of natural gas.*

**Keywords:** Amazon, gas hydrates, shale gas, Foz do Amazonas Basin, Amazonas Basin.

### 1. Introdução

A Amazônia Oriental brasileira apresenta potencial para geração de gás não convencional em duas de suas bacias sedimentares: a Bacia do Amazonas e a Bacia da Foz do Amazonas. Na primeira, localizada entre os estados do Pará, Amazonas e Amapá (EPE, 2019), identifica-se um *play* para gás em folhelho na Formação Barreirinha, como indicado por Caputo (2010), EIA (2015) e Oliveira (2015), corroborado por: a) correlações estratigráficas com a Formação Ponta Grossa, na Bacia do Paraná, e Pimenteiras, na Bacia do Parnaíba (CUNHA; MELO; SILVA, 2007); b) sua idade paleozoica; c) relatos de explorações anteriores as declarações comerciais de campos de gás e d) análises de dados públicos e cedidos (CARDOSO, 2019).

Já a segunda está localizada nos litorais do Amapá e Noroeste do Pará (MELLO et al., 2001), com recursos estimados de 13 trilhões de m<sup>3</sup> de hidratos de gás (MONTALVÃO;

EIRAS, 2003), concentradas, especificamente, no Cone do Amazonas – como verificado em estudos anteriores (MONTEIRO, 2019), todavia, ainda com baixo grau de conhecimento técnico (FLOOD et al., 1994). Sendo os hidratos de gás a maior reserva de recursos fósseis existente (CANÁRIO, 2013), projetam-se retornos econômicos com seu aproveitamento, visto que de 1 m<sup>3</sup> de hidratos pode se recuperar, aproximadamente, 164 m<sup>3</sup> de gás metano equivalente (KVENVOLDEN, 1993).

Ao relacionar o potencial amazônico *onshore* e *offshore* para gás não convencional a carência de estudos relativos ao seu entendimento no contexto energético regional, o presente trabalho objetiva integrar os conhecimentos técnicos voltados aos recursos de gás em folhelho e hidratos de gás na Amazônia, no intuito de atribuí-los visibilidade e despertar interesse para a produção de novas pesquisas sobre o tema na região, permitindo, posteriormente, a discussão de suas possibilidades nos cenários de energia, economia e meio ambiente, conforme análises similares elaboradas para outras bacias brasileiras.

## **2. Metodologia**

Ao investigar a presença de gás em folhelho na Formação Barreirinha (Bacia do Amazonas) e de hidratos de gás na configuração geológica do Cone do Amazonas (Bacia da Foz do Amazonas), propõe-se uma consolidação de dados geológicos e geofísicos relativos as respectivas zonas de interesse, de modo a apresentar o potencial da Amazônia quanto a oferta de recursos não convencionais – identificados como objetos de estudo, partindo da necessidade de incrementos aos seus atuais conhecimentos técnicos para a redução de riscos exploratórios. Para isto, emprega-se uma revisão de literatura, cuja base de dados compreende artigos nacionais e internacionais, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, produções bibliográficas para eventos, livros, notas técnicas e relatórios institucionais.

## **3. Discussões**

### **3.1. Hidratos de Gás no Cone do Amazonas**

A Bacia da Foz do Amazonas (FZAM), localizada na porção equatorial do litoral brasileiro, apresenta área efetiva de, aproximadamente, 231.308 km<sup>2</sup> (EPE, 2019). Seu potencial para gás natural está relacionado a Formação Limoeiro, dada a ocorrência de querogênio do tipo II – possibilidade de geração de óleo e gás – de acordo com a extensão da zona de talude da bacia (VASCONCELLOS, 2017).

Seu potencial para hidratos de gás deriva do evento de abertura do Oceano Atlântico, com atividades de compressão as quais influenciaram na alta deposição de sedimentos no Cone do Amazonas (BIZZI et al., 2003; FIGUEIREDO; ZALÁN; SOARES, 2007). Neste contexto, análises elaboradas por Flood (1994), Montalvão e Eiras (2003), Tanaka (2003) e EPE (2019) constataram uma espessura de 450 m para a Zona de Estabilidade dos Hidratos de Gás (GHSZ) – característica fundamental para a ocorrência de hidratos, vista a necessidade de alta pressão e baixa temperatura para a contenção de exudações de metano à superfície.

Os levantamentos sísmicos indicaram profundidades entre 240 m e 800 m como potenciais para *sweet spots* de hidratos de gás (TANAKA, 2003), condizente com a prevalência destes reservatórios em zonas de talude (GANDARA et al., 2015). Além disto, o volume de hidratos na FZAM tem relação com uma área prospectiva estimada de 28.000 km<sup>2</sup> para a região denominada de Cone do Amazonas (SAD et al., 1998; EPE, 2019) (Figura 1), caracterizada por uma alta taxa de sedimentação, riqueza de ferro e teor de carbono orgânico total (COT) próximo de 1%, correspondendo a fatores de interesse para reservatório de hidratos (FLOOD et al., 1994).

Outra evidência é o imageamento de BSR (*Bottom Seismic Reflection*) em perfis sísmicos locais (TANAKA, 2003), identificado como aspecto primordial para o mapeamento geofísico deste tipo de reservatório, com distinções entre altas velocidades de ondas sísmicas para zonas de hidratos de gás e de baixas velocidades para regiões abaixo destas zonas, cujo refletor se apresenta paralelo ao fundo marinho – caracterizando, assim, os hidratos de gás (RIEDEL; WILLOUGHBY; CHOPRA, 2010).

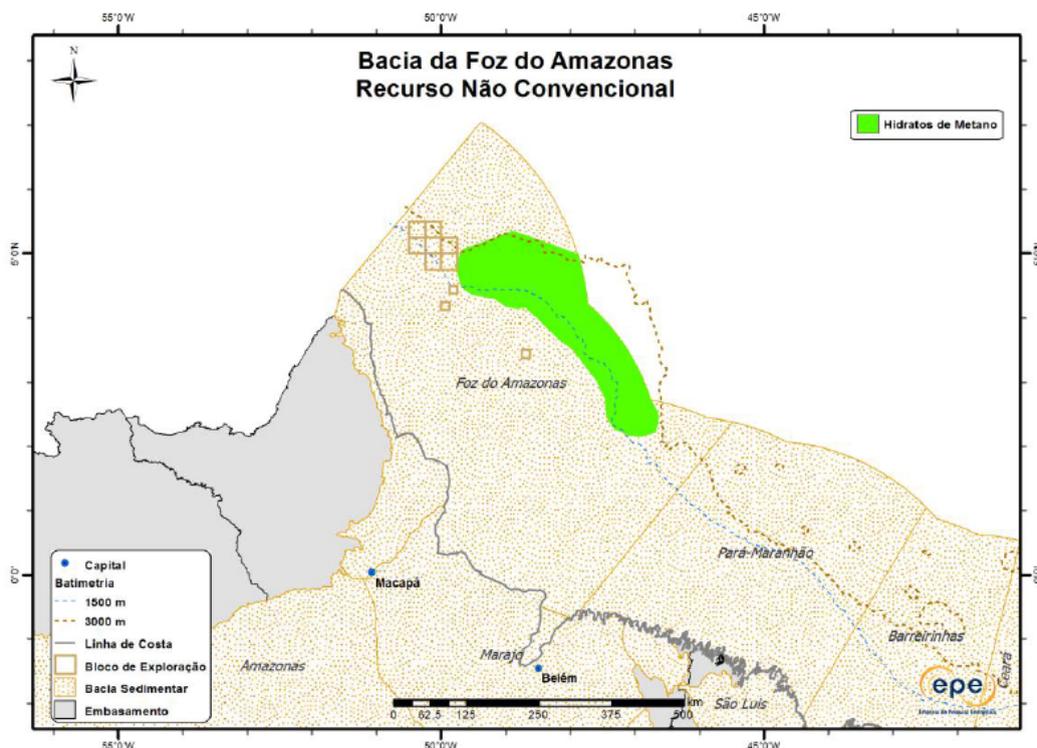


Figura 1 – Play para hidratos de gás na Bacia da Foz do Amazonas.  
Fonte: EPE (2019).

### 3.2. Gás em Folhelho na Formação Barreirinha

A Formação Barreirinha está inserida na sequência Devono-Carbonífera da Bacia do Amazonas, compreendendo folhelhos negros, laminados, betuminosos e radioativos, com COT entre 1 e 8%, potencial gerador de 4 a 20 mgHC/gROCHA e índices de reflectância de vitrinita de até 1,35%, distribuídos de zonas imaturas à senis (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008; GONZAGA; GONÇALVES; COUTINHO, 2000; GOMES, 2008; CAPUTO 2010).

As estimativas de EIA (2015) apontam uma área prospectiva total de 124.707 km<sup>2</sup> para gás em folhelho, podendo ser corroborada, quanto ao seu potencial, pela correlação geológica descrita por Cunha, Melo e Silva (2007) entre a seção basal da Formação Barreirinha e as formações Ponta Grossa e Pimenteiras – possíveis *plays* para o recurso no país de acordo com EPE (2019); vale destacar que tais indicativos são constatados, de modo similar, por Caputo (2010).

Além disto, Caputo (2010) ressalta que a janela para a geração de gás em folhelho na porção oriental da Formação Barreirinha está relacionada ao controle da maturação termal pelo aquecimento advindo dos diques e soleiras de diabásio oriundos do evento Penatecaua (BAHIA, 2007), cuja influência nas bacias paleozoicas brasileiras *onshore* refletiu nos principais *plays* para gás em folhelho (CAPUTO, 2010; OLIVEIRA, 2015) – vide as ocorrências associadas às intrusões ígneas na Formação Pimenteiras, observadas por

Machado (2019).

Esta indicação de potencial em função da maturação termal também é identificada por Cardoso (2019), por meio da integração entre diferentes dados e estudos geológicos e geofísicos, tais quais os de Eiras e Wanderley Filho (2004) e Oliveira (2015), resultando na designação geográfica de uma zona de interesse na bacia – a região Centro-Oeste do Estado do Pará, nas adjacências do Rio Tapajós – pela análise de dados de maturação, zonas fraturadas e ocorrências de querogênio tipo III (CARDOSO, 2019).

Ratificando esta zona, Caputo (2010) delimita, pela correlação de dados de poços horizontais com índices de saturação de gás à linhas isotérmicas quanto a maturação termal, uma área prospectiva para a geração e acumulação de gás em folhelho a Sudeste da Formação Barreirinha, contida nas indicações de EPE (2019) (Figura 2), atingindo profundidades de até 2500 m em relação ao nível do mar e com características similares a *plays* produtivos de referência nas bacias *Fort Worth* e *Appalachian*, nos EUA (CAPUTO, 2010; OLIVEIRA, 2015).

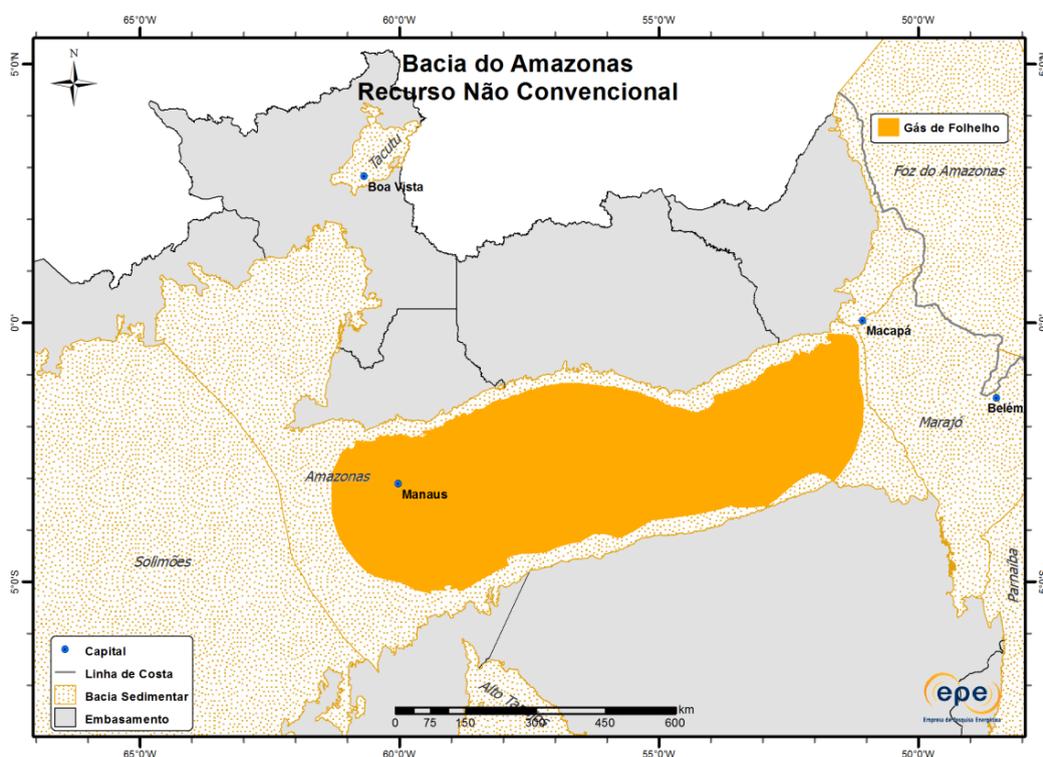


Figura 1 – Play para gás em folhelho na Bacia do Amazonas.  
Fonte: EPE (2019).

#### 4. Considerações Finais

Os recursos de hidratos de gás e gás em folhelho na Amazônia, ainda que brevemente referidos nos planejamentos energéticos brasileiros, necessitam de maiores investigações, vistas suas possíveis contribuições socioeconômicas e para segurança energética na região, partindo da transição para o uso de fontes menos emissivas, como o gás natural, e os constantes aprimoramentos tecnológicos direcionados aos reservatórios não convencionais, tornando-os econômica e ambientalmente viáveis. Neste sentido, torna-se imprescindível a fundamentação técnica de seus potenciais nas bacias sedimentares da Amazônia Oriental, permitindo o desenvolvimento de pesquisas e planejamentos futuros voltados aos seus

aproveitamentos.

Além disto, destaca-se que projetos exploratórios na Amazônia devem se atentar para os impactos em comunidades locais e ao meio ambiente, devendo contar com a elaboração de aparatos normativos e salvaguardas técnicas, sobretudo para os recursos não convencionais, permitindo, assim, a sinergia entre a promoção do desenvolvimento humano, o aproveitamento de recursos locais e o respeito aos limites da sustentabilidade ambiental, contrapondo-se a argumentações endocolonialistas em detrimento de políticas para o desenvolvimento regional. Para tal, espera-se que a presente consolidação dos conhecimentos técnicos referentes aos recursos amazônicos para gás não convencional possa contribuir para o debate científico pertinente.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

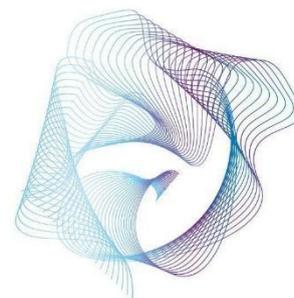
## Referências

- BAHIA, R. B. C. **Evolução Tectonossedimentar da Bacia do Parecis – Amazônia**. 2007. 121 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Fundação Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- BIZZI, L. A. et al. **Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, 2003.
- CANÁRIO, R. S. **Avaliação de Atributos Sísmicos utilizados no reconhecimento de Hidratos de Gás no Cone do Amazonas**. 2013. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.
- CAPUTO, M. V. Shale Gas in the Amazon Basin. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. **Anais do 45º Congresso Brasileiro de Geologia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010. p. 343.
- CARDOSO, G. L. **Discussão sobre a Viabilidade de Exploração de Gás em Folhelho na Bacia do Amazonas**. 2019. 168 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G.; SILVA, O. B. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, p. 227-251, 2007.
- EIRAS, J. F.; WANDERLEY FILHO, J. R. **Exploração de Óleo e Gás na Bacia do Amazonas**: Programa Trainees – Curso sobre Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro: Universidade Corporativa PETROBRAS, 2004. Apresentação em formato eletrônico.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Zoneamento Nacional de Óleo e Gás**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética, 2019.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Brazil**. Washington (DC): U. S. Department of Energy, 2015.
- FIGUEIREDO, J. J. P.; ZALÁN, P. V.; SOARES, E. F. Bacia da Foz do Amazonas. **B. Geociência Petrobras**, v. 15, p. 299-309, 2007.
- FLOOD, R. D. et al. **Leg 155 Scientific Prospectus: Amazon Deep-sea Fan**. Ocean Drilling Program, 1994.

- GANDARA, R. et al. Aproveitamento energético do hidrato de metano. In: **10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural**. 2015.
- GOMES, T. A. **Modelagem Geoquímica: Tratamento de Dados de Pirólise Rock-Eval e Carbono Orgânico Total da Formação Barreirinha na Bacia do Amazonas**. 2008. 54 f. Trabalho (Graduação em Geologia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- GONZAGA, F. G.; GONÇALVES, F. T. T.; COUTINHO, L. F. C. Petroleum Geology of the Amazon Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration. In: MELO, M. R. and KATZ, B. J. (Ed.). *Petroleum Systems of South Atlantic Margins*. **AAPG Memoir 73**, p. 159 -178, 2000.
- KVENVOLDEN, K. A. Gas hydrates as a potential energy resource a review of their methane content: United States Geological Survey. **Professional Paper; (United States)**, v. 1570, 1993.
- MACHADO, J. P. O. **Avaliação do potencial para shale gas dos poços 1-OGX-77-MA e 1-OGX-110-MA da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba**. 2019. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.
- MELLO, M. R.; MOSMANN, R.; SILVA, S. R. P.; MACIEL, R. R.; MIRANDA, F. P. Foz do Amazonas area: The last frontier for elephant hydrocarbon accumulations in the South Atlantic realm. **AAPG Bulletin**, v. 83, n. 12, 2001.
- MONTALVÃO, L. C.; EIRAS, J. F. **Estudo Comparativo das Possibilidades de Aproveitamento de Gás de Hidratos no Brasil**. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo Gás, Rio de Janeiro, 2003.
- MONTEIRO, N. M. **Discussão sobre hidratos de gás e a possibilidade de ocorrências na Bacia da Foz do Amazonas**. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- OLIVEIRA, S. S. **Caracterização de Reservatórios Não Convencionais Shale Gas na Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas**. 2015. 243 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- RIEDEL, M.; WILLOUGHBY, E. C.; CHOPRA, S. (Ed.). **Geophysical characterization of gas hydrates**. Society of Exploration Geophysicists, 2010.
- SAD, A. R. et al. **Marine Gas Hydrates Along the Brazilian Margin**. In: ABGP/AAPG International Conference and Exhibition, Rio de Janeiro, 1998.
- TANAKA, M. D. **Reconhecimento das Ocorrências de Hidratos de Gás no Cone do Amazonas**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado) - LAGEMAR, UFF, Rio de Janeiro, 2003.
- VASCONCELLOS, R. V. A. **Foz do Amazonas Basin**. [S. l.: s; n.], [2017].
- VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. **Geologia e recursos minerais do Estado do Pará**. 1 ed. Belém: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2008.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Uma dimensão oculta da pobreza energética no Brasil revelada pela Covid 19: o acesso a tecnologias da informação

Raiana Schirmer Soares<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Raiana Schirmer Soares – Instituto de Energia e Ambiente da USP

\*Autor para correspondência, E-mail: raianaschirmer@usp.br

**Resumo:** A pobreza energética vem sendo conceituada e medida de diferentes maneiras, uma delas sendo por meio da verificação do acesso aos serviços energéticos. Diante da crise sem precedentes no sistema de educação nacional decorrida da necessidade de distanciamento social e, portanto, da inauguração do modelo de ensino à distância no sistema básico de educação, ficou evidente no Brasil que a falta de acesso à computadores, notebooks, tablets (e relacionados) é um importante entrave do acesso à educação nos domicílios brasileiros. Por esta razão, o presente artigo teve o objetivo de investigar, por meio de uma análise exploratória feita sob uma triangulação metodológica, qual a relação da pobreza energética e a falta de acesso aos equipamentos. A triangulação consistiu em realizar uma revisão sistemática da literatura, somada a um estudo de caso do acesso aos equipamentos no Brasil antes e durante a pandemia.

**Palavras-chave:** pobreza energética, serviços energéticos, educação, covid-19, ensino remoto.

**Abstract:** *Energy poverty has been conceptualized and measured in different ways, one of them being through the verification of access to energy services. Considering the unprecedented crisis in the national education system arising from the need for social distancing and distance learning, it has become evident in Brazil that the lack of access to computers, notebooks, tablets (and related) is an important barrier to education in Brazilian households. For this reason, this paper aimed to investigate, through an exploratory analysis carried out under a methodological triangulation, what is the relationship between energy poverty and the lack of access to these equipments. The triangulation consisted of a systematic literature review, and a case study related to the access in Brazil before and during the pandemic.*

**Keywords:** *energy poverty, energy services, education, covid-19, distance learning.*

### 1. Introdução

O conceito de pobreza energética vem sendo amplamente discutido na academia e suas múltiplas definições respondem aos múltiplos métodos de medi-la. Entre eles, está a verificação do acesso aos serviços energéticos necessários, ou básicos. Nas palavras de Bouzarovski et al. (2012), a pobreza energética pode ser compreendida como “a condição em que uma família é incapaz de ter acesso aos serviços energéticos para conseguir um nível mínimo de satisfação das necessidades humanas ou materiais”.

Neste sentido, a crise educacional oriunda dos efeitos da pandemia de Covid-19 no sistema educacional brasileiro pode ser também compreendida sob a lente da pobreza energética. Segundo o relatório da OECD (2021), conforme ilustra a Figura 1, o Brasil foi o país em que as pré-escolas e as escolas de ensino fundamental ficaram mais dias fechadas. Tal fechamento implicou na continuidade de atividades por meio do ensino remoto. Diante desta perspectiva e tomando em consideração a concepção de pobreza energética relacionada ao acesso a sistemas energéticos, o presente estudo teve como objetivo analisar o nível de acesso a equipamentos eletrônicos nas residências brasileiras antes e durante a pandemia, de modo a incluir a pobreza energética como uma importante dimensão da crise educacional inaugurada na pandemia de Covid-19.

Figure 5 • Number of instruction days pre-primary and primary schools were fully closed in 2020  
Excluding school holidays, public holidays and weekends

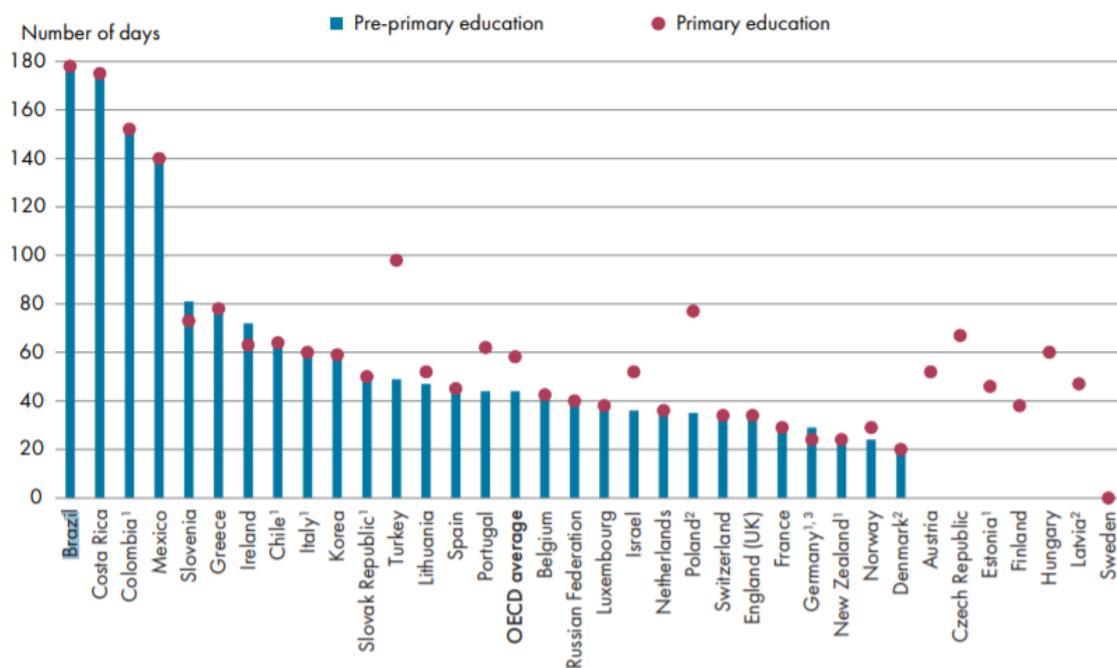


Figura 1 – número de dias em que as escolas ficaram fechadas durante a pandemia  
Fonte: OECD, 2020.

## 2. Metodologia

A pesquisa, de natureza exploratória e método misto, deu-se por meio da triangulação de diferentes abordagens de pesquisa. A descrição das etapas da triangulação é feita nos subcapítulos que seguem e a Figura 2 ilustra o método implementado.

### 2.1 Revisão sistemática da literatura

O objetivo deste levantamento bibliográfico foi o de analisar a associação da pobreza energética com a dimensão de educação da pobreza. Para isso, foi utilizada a plataforma SCOPUS, onde foram selecionados os artigos que contivessem no título a combinação da expressão "pobreza energética" e "serviço energético" em artigos publicados no campo das ciências sociais, multidisciplinaridade e da energia.

### 2.2 Nível de acesso a tecnologias da informação em um cenário pré-pandêmico no Brasil

Com a finalidade de analisar o nível de acesso às tecnologias de informação e comunicação no Brasil, foram analisados os resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2019.

### 2.3 A relação da pobreza energética com o Sistema Nacional de Educação sob a crise de Covid-19

Por meio da análise do Censo Escolar 2020, direcionado para acessar os impactos da crise de Covid na educação, analisar a relação das ações adotadas pelas escolas com a pobreza energética.

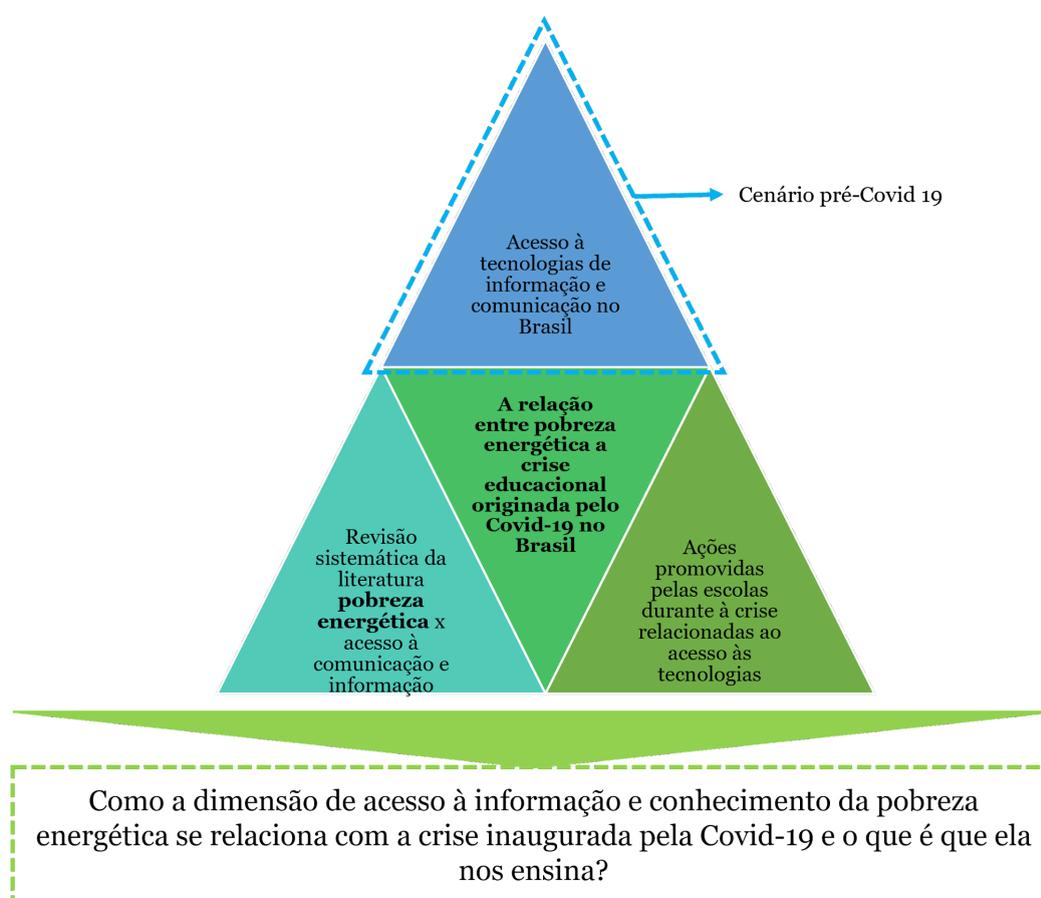


Figura 2 – ilustração do modelo de triangulação metodológica.  
Fonte: Elaboração própria.

## 3. Resultados e discussões

### 2.1 Revisão sistemática da literatura

A busca na plataforma Scopus devolveu 50 artigos, conforme ilustra a Figura 2.

## 50 document results

(TITLE ("energy poverty") AND TITLE-ABS-KEY ("energy service")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "SOCI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "MULT"))

[Edit](#) [Save](#) [Set alert](#)

Fonte: Elaboração própria.

De todos os artigos, somente sete analisam a dimensão em estudo. Cinco deles incorporam a dimensão de informação e educação em sua análise, porém entendem que elas são satisfeitas por meio da posse de televisões ou rádios. Em todos os sete artigos a posse do computador é compreendida como uma dimensão de acesso à comunicação.

## 2.2 Nível de acesso às tecnologias da informação em um cenário pré-pandêmico no Brasil

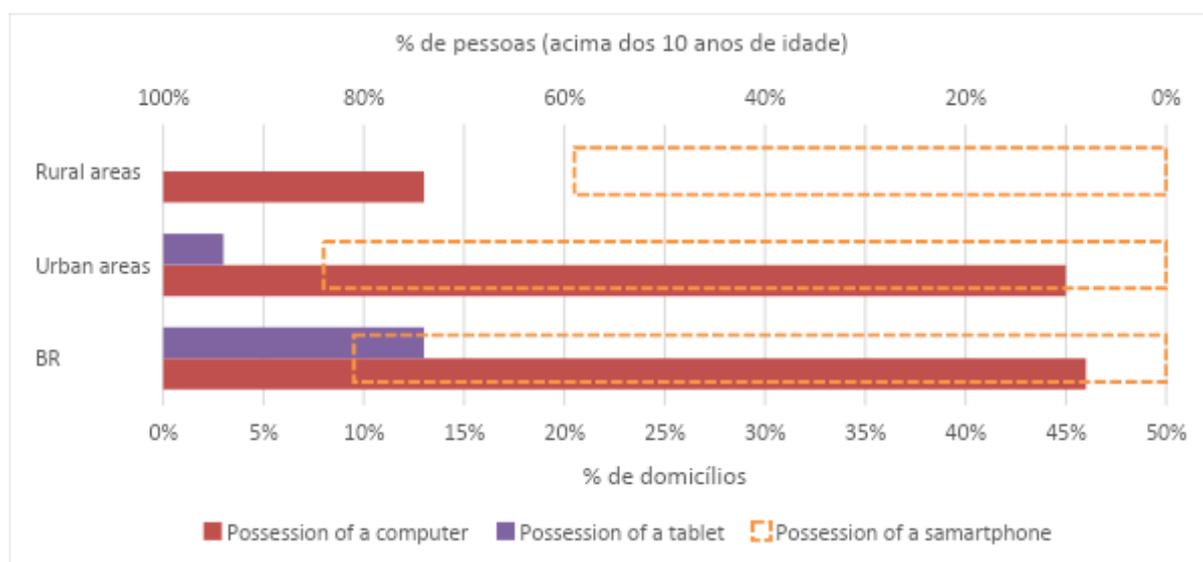


Figura 1 – Nível de acesso às tecnologias de comunicação e informação no Brasil em 2019.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PNAD (2019).

No Brasil, o acesso a smartphones era muito mais elevado do que o acesso aos outros equipamentos, tanto nas zonas urbanas como rurais, especialmente quando consideramos que o nível de acesso a estas tecnologias é expresso em termos de posse individual e não doméstica. Enquanto 81% das pessoas com mais de dez anos tinham pelo menos um celular, apenas 46% dos domicílios tinham posse de um computador (ou mais); e 11%, de tablet(s).

É importante salientar que a diferença entre o nível de acesso a cada uma destas tecnologias varia muito entre as zonas rurais e urbanas. Além disso, é também importante reconhecer que, considerando as pessoas com mais de dez anos que ainda são estudantes, enquanto 92,6% dos que estudam em escolas privadas tinham acesso a um smartphone, apenas 64,8% dos que estudavam em escolas públicas reportaram ter um.

Ainda de acordo com os resultados da PNAD, 98,6% das pessoas com mais de 10 anos que tinham acesso à internet utilizam celulares para acessá-la; 46%, computadores; e apenas 11%, tablets.

## 2.3 A relação da pobreza energética com o Sistema Nacional de Educação sob a crise de Covid-19

Um dos resultados importantes do Censo é a verificação das diferentes estratégias implementadas pelas escolas para superar as dificuldades do ensino à distância no Brasil. Uma delas é particularmente importante no debate sobre a pobreza energética: o fato de algumas escolas terem fornecido equipamentos para uso dos estudantes, tais como computadores, smartphones, etc.

Disponibilidade de equipamentos (computadores, notebooks, etc.) (%)			
	Zona Urbana	Zona Rural	TOTAL
Escolas Públicas	10,71%	4,16%	8,17%
Escolas Privadas	4,75%	5,30%	10,85%
TOTAL	7,29%	4,18%	8,71%

Tabela 2 – Percentual de escolas que disponibilizou equipamentos para seus alunos  
Elaboração própria com base nos dados do Censo Escolar (2020).

#### 4. Conclusões

O presente estudo demonstrou que, ainda que o debate acerca da pobreza energética relacione o acesso à diferentes serviços energéticos com a precariedade de acesso à energia, a dimensão da educação relacionada a esses serviços ainda não é propriamente incorporada pelos indicadores. Tomando o Brasil como estudo de caso, no entanto, a crise de Covid-19 revelou a importância do acesso a equipamentos eletrônicos que garantem o acesso à internet, já que foram eles que permitiram a continuidade do ensino em tempos de isolamento. No caso do Brasil, levando em consideração o nível de acesso verificado antes da pandemia a estes equipamentos, pode-se esperar que as escolas rurais tenham enfrentado maiores dificuldades.

#### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

#### Referências

BOUZAROVSKI, S.; PETROVA, S.; SARLAMANO, R. Energy poverty policies in the EU: A critical perspective, **Energy Policy**, 49, p.76-82, 2012.

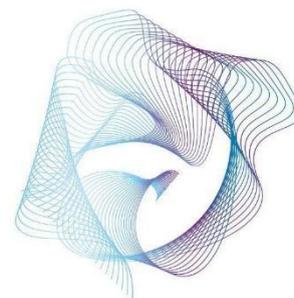
IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2019**, 2020.

INEP. **Censo Escolar 2020**, 2020.

OECD, The state of global education: 18 months into pandemic, 2021. Disponível em: <<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/1a23bb23-en.pdf?expires=1634929526&id=id&accname=guest&checksum=DECBB8C6E24FAAE24EC6CA72F0595FFA>>

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## CCS: Mapeando Riscos Associados ao Armazenamento

Sílvia Joaquim de Santana<sup>1\*</sup>, Romário de Carvalho Nunes<sup>2</sup>,

1. Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil 2. Research Centre for Greenhouse Gas Innovation, Instituto de Energia e Meio ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

\*\*Autor para correspondência, sjsantana@alumni.usp.br

**Resumo** Este artigo busca trazer um mapeamento de riscos do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> e suas consequências para a saúde humana e o meio ambiente. O trabalho lista as metodologias usuais de análise para avaliar a integridade e segurança das instalações de armazenamento, bem como conceitos relacionados ao monitoramento dessas instalações.

**Palavras chave:** CCS, armazenamento de CO<sub>2</sub>; avaliação de riscos; armazenamento geológico;

**Abstract:** *This article seeks to bring a risk mapping of the geological storage of CO<sub>2</sub> and its consequences for human health and the environment. The work lists the usual analysis methodologies to assess the integrity and security of the storage facilities as well as concepts related to the monitoring of such facilities.*

**Keywords:** *CCS; CO<sub>2</sub> storage; risk assessment; emissions mitigation; Geological Storage.*

### 1. Introdução

Captura e Armazenamento de Carbono (Carbon Capture and Storage – CCS) pode ser entendido como um conjunto de tecnologias voltadas para redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Este CO<sub>2</sub> é removido dos gases de combustão emitidos nos processos e estocado no solo em grandes profundidades em vez de ser liberado na atmosfera (SEIXAS et al., 2015)

A implementação de um projeto de CCS requer a avaliação e a gestão de incertezas e riscos ao longo do tempo, abordando as ações necessárias para enfrentar com sucesso estes aspectos. Para tanto, é necessário o envolvimento das partes interessadas, verificação da aceitação pública, desenvolvimento tecnológico, questões financeiras e organizacionais. (SEIXAS et al., 2015)..

### 2. Características Básicas do Armazenamento de CO<sub>2</sub>

As opções potenciais para o armazenamento potenciais de CO<sub>2</sub> incluem (IPCC, 2005):

- formações geológicas (campos de petróleo e gás, depósitos de carvão não mineráveis e formações salinas profundas),
- oceanos (lançamento na coluna de água ou no solo marinho),
- fixação industrial de CO<sub>2</sub> (carbonatos inorgânicos).

A captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> em reservatórios geológicos consiste na separação de CO<sub>2</sub> emitido na queima de combustíveis fósseis por fontes estacionárias relacionadas com a produção de energia ou plantas industriais, transporte e armazenamento a longo prazo em reservatórios geológicos, isolando-o da atmosfera por longos períodos (IEA, 2010).

Na maioria dos casos o CO<sub>2</sub> injetado estará em um estado supercrítico, quando adquire densidade típica de líquidos, ocupando um volume de poro menor, levando a um armazenamento mais eficiente. Para garantir o armazenamento em um estado supercrítico, a profundidade mínima estimada para um reservatório é de cerca de 800m, conforme Figura 1 (KETZER et al., 2016).

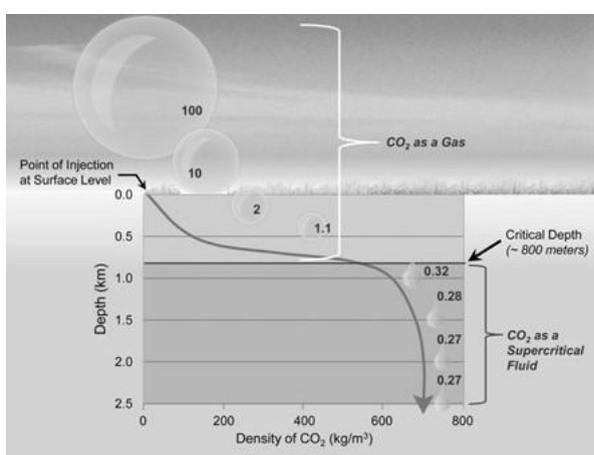


Figura 1: Comportamento do CO<sub>2</sub> submetido a altas pressões e aumento da profundidade.

Fonte: (KETZER et al., 2016)

### 3. Risco

Risco é chance de um evento acontecer, seja ele uma ameaça, quando negativo, ou oportunidade, quando positivo. É o resultado obtido pela efetividade do perigo.

#### 3.1 Riscos Associados ao Armazenamento de CO<sub>2</sub>

Uma avaliação de risco adequada deve levar em conta qualquer risco de vazamento para fora da formação, considerando os processos e vias de migração de CO<sub>2</sub> e substâncias presentes na formação de armazenamento geológico, seja durante ou após a injeção do CO<sub>2</sub> (DELPRAT-JANNAUD et al., 2013)

Há uma variedade de potenciais caminhos já reconhecidos para que ocorra o vazamento de CO<sub>2</sub> da formação geológica para ambientes menos profundos, como poços abandonados e falhas geológicas permeáveis (DELPRAT-JANNAUD et al., 2013).

(WILSON; JOHNSON; KEITH, 2003) sugerem que riscos relacionados ao armazenamento geológico decorrentes de vazamentos para a atmosfera de CO<sub>2</sub> injetado, sejam distintos em riscos locais e globais, conforme Figura 3.

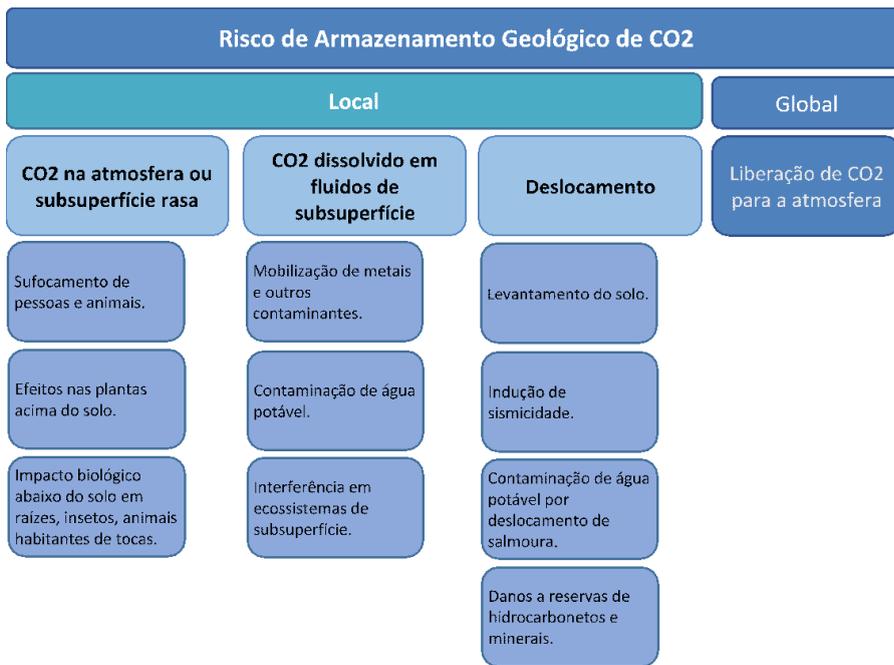


Fig. 3: Taxonomia de risco de armazenamento geológico  
 Fonte: (adaptado de (WILSON; JOHNSON; KEITH, 2003))

### 3.2 Riscos Decorrentes de Fuga de CO<sub>2</sub>

A Figura 4 mostra o caminho seguido pelos fluidos nos vazamentos para fora do reservatório. O vazamento de CO<sub>2</sub> ao longo de qualquer uma das vias envolve o potencial de atenuação ou dispersão de uma pluma de CO<sub>2</sub> durante a migração.

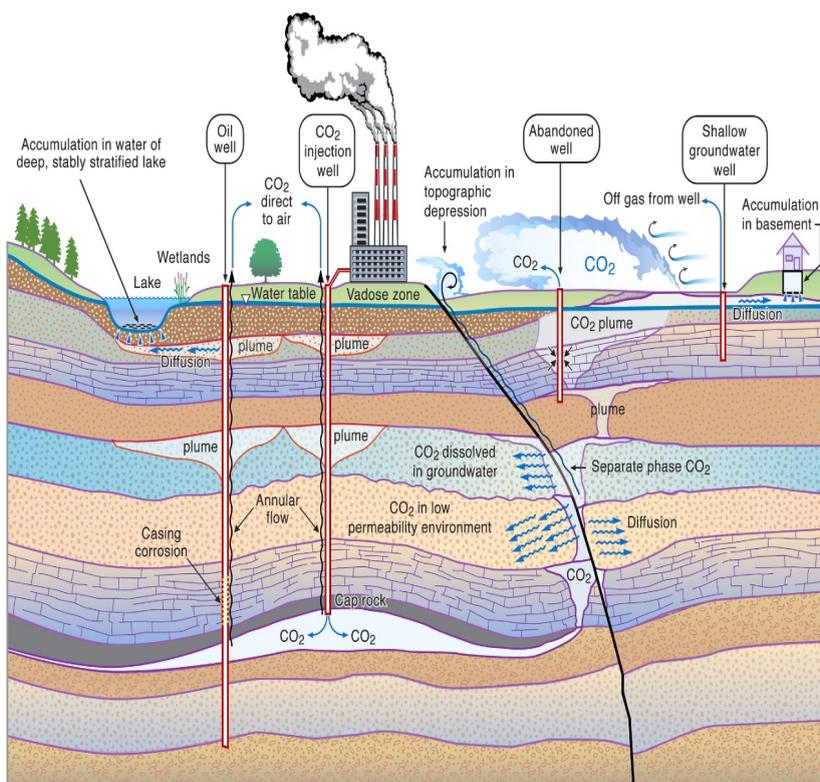


Fig. 4: Representação do caminho seguido pelos fluidos nos vazamentos para fora do

reservatório.

Fonte: (OLDENBURG, 2005)

### **3.2.1 Contaminação de Aquíferos**

Aquíferos localizados em profundidades entre 100-200m podem ser contaminados por vazamento de CO<sub>2</sub>, sofrendo acidificação e afetando os ecossistemas aquáticos (BENSON et al., 2002)

### **3.2.2 Contaminação do solo**

A elevação da concentração de CO<sub>2</sub> no solo ocasiona sua acidificação e impacta negativamente o comportamento químico dos nutrientes necessários ao desenvolvimento de plantas ( (DAMEN; FAAIJ; TURKENBURG, 2006) apud Saipalli et al., 2003).

### **3.2.3 Fuga de Metano**

A injeção de CO<sub>2</sub> em reservatório depletados de hidrocarbonetos pode resultar em vazamento de metano (CH<sub>4</sub>) presente nestes reservatórios porque este gás apresenta maior mobilidade que o CO<sub>2</sub> injetado em estado supercrítico. Adicionalmente há o efeito global do metano que é 23 vezes mais danoso do que o CO<sub>2</sub> quanto aos impactos no aquecimento global (IPCC, 2001).

### **3.2.4 Indução Sísmica**

A injeção de grandes quantidades de fluidos em um reservatório aumenta a pressão e modifica o seu estado mecânico podendo induzir fraturas ou ativar falhas geológicas existentes podendo levar a ocorrência de micro sismicidade ou tremores de terra, causando danos à rocha seladora e a poços existentes resultando em fuga de CO<sub>2</sub>, e possíveis danos a estruturas na superfície (prédios e instalações) (DAMEN; FAAIJ; TURKENBURG, 2006).

### **3.2.5 Subsidência (movimentação da superfície)**

A modificação da pressão no subsolo induzida pela injeção de fluidos pode levar ao risco de elevação ou afundamento da superfície, ocasionando danos a prédios e infraestrutura (HOLLOWAY et al., 1996).

### **3.2.6 Fuga de água de formação (salmoura)**

A injeção de CO<sub>2</sub> em aquíferos pode causar a fuga de água de formação rica em sais, levando a efeitos indesejáveis como elevação do lençol freático com impactos negativos na superfície e no seu uso, elevação da salinidade de reservatório de água doce utilizada para consumo humano e irrigação (BENSON et al., 2002).

## **3.3 Potenciais Efeitos de Vazamento de CO<sub>2</sub> na Saúde Humana**

A exposição de seres humanos, animais ou ecossistemas a elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> pode causar danos à sua saúde ou integridade, sendo que a exposição prolongada a altas concentrações de CO<sub>2</sub> (acima de 20-30%) leva à perda da vida por sufocamento da maioria dos animais (BENSON et al., 2002).

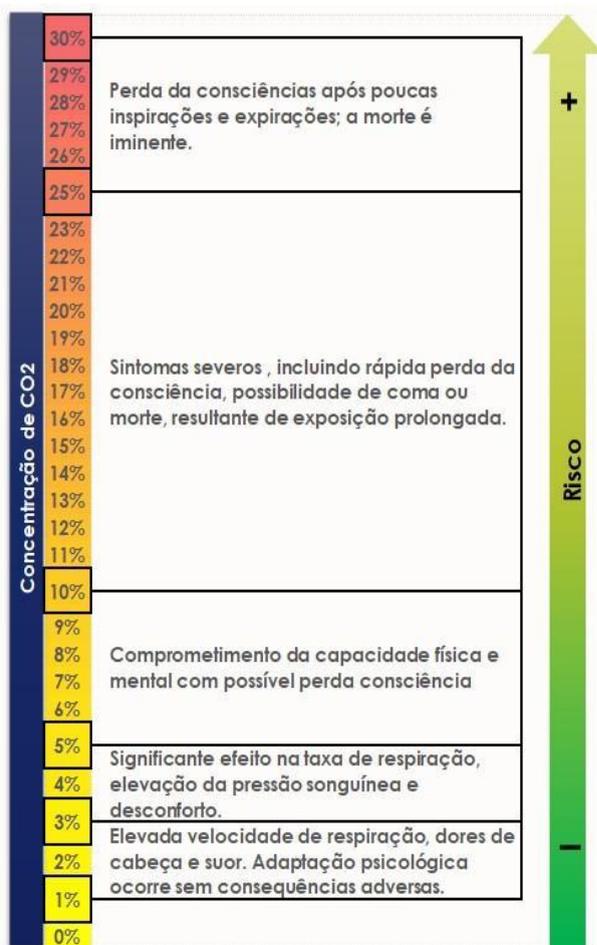


Fig. 9: Efeitos sobre a saúde humana dos diferentes níveis de CO2  
 Fonte: (adaptado de (LIU et al., 2016))

#### 4. Metodologias de Avaliação de Riscos

A avaliação de riscos deve ser um elemento integrante da atividade de gestão de riscos, como a seleção e caracterização do local, sistema de armazenamento, projeto, monitoramento e remediação se necessária (DELPRAT-JANNAUD et al., 2013).

Projetos de CCS tem buscado adaptar métodos de avaliação de riscos consagrados, contudo, atualmente, não há um método ou conjunto de métodos padronizados para este fim. A aplicação ou adaptação de métodos industriais avançados de análise quantitativa de riscos não se mostra conveniente devido à carência de dados específicos de CCS. As metodologias podem ser classificadas em Avaliação Qualitativa ou Quantitativa de Riscos (CONDOR et al., 2011).

#### 4.2 MONITORAMENTO

Monitorar as atividades de CCS é essencial para apoiar elementos cruciais de segurança e proteção e envolverá um portfólio de técnicas de monitorização para detectar a presença ou ausência de CO2 no armazenamento primário de formação, bem como no complexo de armazenamento e na superfície (NUNES; COSTA, 2019).

O Plano de Monitoramento deve ser construído a fim de formalizar e registrar junto aos órgãos reguladores e às licenças uma padronização a ser seguida nesta fase. (NUNES; COSTA, 2019).

O monitoramento de superfície ou próximo à superfície precisa ser realizado antes da injeção para fornecer dados de referência e durante/após a injeção para detectar quaisquer alterações ou impactos que possam surgir no caso improvável de vazamento (KETZER et al., 2016). Diversos

métodos podem ser utilizados para o monitoramento ambiental superficial e de subsuperfície, tais como análises químicas e biológicas, marcadores e sensoriamento remoto, entre outros (KETZER et al., 2016).

O monitoramento, a medição e a verificação de CO<sub>2</sub> em projetos de CCS vão além dos limites do reservatório geológico alvo da injeção, ou à rocha selo de confinamento, uma vez que devem ser consideradas todas as áreas em que o CO<sub>2</sub> possa migrar, incluindo solo, corpos d'água e atmosfera (KETZER et al., 2016).

Para que o armazenamento de CO<sub>2</sub> esteja devidamente enquadrado é necessário o aprisionamento definitivo do gás em quantidade superior à 95% do CO<sub>2</sub> injetado (IEA, 2010).

## 6. Conclusão

A análise do comportamento no reservatório do CO<sub>2</sub> injetado assim como da migração do CO<sub>2</sub> para fora do reservatório são obrigatórios para projetos de CCS, diretamente associado ao estabelecimento de requisitos de segurança e confiabilidade operacional. Para reduzir a possibilidade de vazamentos e infiltração de CO<sub>2</sub> armazenado em formações geológicas que resultarão em impactos de SMS (saúde, segurança e meio ambiente), o projetista de um sistema CCS deve se concentrar na correta seleção do local de instalação (reservatório) buscando minimizar a chance de ocorrência destes eventos.

O projeto de um sistema de injeção de CO<sub>2</sub> deve ser precedido de uma avaliação dos riscos cuja literatura mostra-se rica em metodologias. O risco de vazamento deve ser avaliado no processo de seleção do local (formação geológica), assim como planejada a verificação de integridade de poços de injeção ao longo da vida do projeto.

A integridade deve ser garantida, em especial, ao longo de dezenas de anos após o encerramento da atividade de injeção de CO<sub>2</sub>, de forma que não seja ultrapassado o limite tolerável de vazamentos previsto na legislação e mantenha-se o objetivo final do projeto, a redução de gases de efeito estufa na atmosfera.

## 7. Referências

BENSON, S. M. et al. **Lessons Learned from Natural and Industrial Analogues for Storage of Carbon Dioxide in Deep Geological Formations**. Berkeley, CA: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.osti.gov/servlets/purl/805134-O4zQgo/native/>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

CONDOR, J. et al. **A comparative analysis of risk assessment methodologies for the geologic storage of carbon dioxide**. Energy Procedia. *Anais...Elsevier Ltd*, 1 jan. 2011

DAMEN, K.; FAAIJ, A.; TURKENBURG, W. Health, safety and environmental risks of underground CO<sub>2</sub> storage - Overview of mechanisms and current knowledge. **Climatic Change**, v. 74, n. 1–3, p. 289–318, 5 jan. 2006.

DELPRAT-JANNAUD, F. et al. **State of the art review of CO<sub>2</sub> Storage Site Selection and Characterisation Methods. CGS Europe report No D3.3**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://repository.cgseurope.net/eng/cgseurope/knowledge-repository/key-reports/evaluation.aspx>>. Acesso em: 4 mar. 2021.

HOLLOWAY, S. et al. **The underground disposal of carbon dioxide : final report**. 1ed. ed. Nottingham, UK: British Geological Survey, 1996.

IEA, I. E. A. **Carbon Capture and Storage: Model Regulatory Framework – Analysis - IEA**. Paris, FR: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/carbon-capture-and-storage-model-regulatory-framework>>. Acesso em: 4 mar. 2021.

IPCC. **IPCC: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/>>.

IPCC. **IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage**. Cambridge, United Kingdom: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/carbon-dioxide-capture-and-storage/>>.

KETZER, J. M. M. et al. **Brazilian Atlas of CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage - Global CCS Institute**. Porto alegre, RS, Brazil: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/brazilian-atlas-of-co2-capture-and-geological-storage/>>. Acesso em: 4 mar. 2021.

LIU, L.-C. et al. Toward a framework of environmental risk management for CO<sub>2</sub> geological storage in china: gaps and suggestions for future regulations. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 21, n. 2, p. 191–207, 19 fev. 2016.

NUNES, R.; COSTA, H. K. DE M. Operação e descomissionamento de instalações de armazenamento para atividades de CCS no Brasil. In: LUMEN JURIS (Ed.). . **Aspectos Jurídicos da Captura e Armazenamento de Carbono no Brasil**. 1a. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

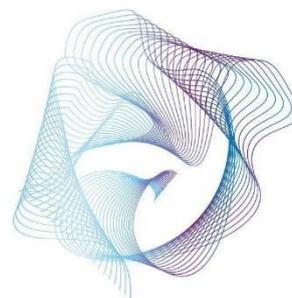
OLDENBURG, C. M. **Health, Safety, and Environmental Screening and Ranking Framework for Geologic CO<sub>2</sub> Storage Site Selection**. Berkeley, CA: [s.n.]. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/4061905s>>. Acesso em: 5 mar. 2021.

SEIXAS, J. et al. **Captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> em Portugal: Uma ponte para uma economia de baixo carbono**. Lisboa, Portugal: [s.n.]. Disponível em: <<http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/17062>>. Acesso em: 4 mar. 2021.

WILSON, E. J.; JOHNSON, T. L.; KEITH, D. W. Regulating the ultimate sink: Managing the risks of geologic CO<sub>2</sub> storage. **Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 16, p. 3476–3483, 15 ago. 2003.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Contribuição de Capacidade da Geração Fotovoltaica para a Expansão da Oferta Centralizada de Energia Elétrica

Igor Barbieri Cordeiro\*

\* IEE-USP  
igor.cordeiro@usp.br

**Resumo:** A geração elétrica com fontes renováveis e intermitentes está relacionada à sua competitividade de custo para expansão da oferta centralizada de eletricidade, mas a variabilidade da geração preocupa planejadores que, tradicionalmente, não consideram a geração fotovoltaica como um recurso de capacidade (potência). Por meio de métricas probabilísticas de confiabilidade e uma ferramenta computacional poderosa – REpra – foi possível determinar a contribuição de capacidade, isto é, o valor de capacidade da geração fotovoltaica em função da sua capacidade instalada em um sistema teste. Mas, existe limite para sua inserção em sistemas elétricos de potência. Embora o aspecto econômico seja satisfeito, a geração fotovoltaica precisa estar integrada com geração despachável.

**Palavras-chave:** expansão da oferta, geração fotovoltaica, valor de capacidade, ELCC.

**Abstract:** The power generation with renewable and variable sources is related to its cost competitiveness to expand the centralized supply of electricity but the variability of generation concerns planners who traditionally do not consider photovoltaic generation as a capacity (power) resource. Through probabilistic reliability metrics and a powerful computational tool – REpra – it was possible to determine the capacity contribution, that is, the capacity value of the photovoltaic generation as a function of its installed capacity in a test system. But there is a limit to its insertion in power systems. Although the economic aspect is satisfied, photovoltaic generation needs to be integrated with dispatchable generation.

**Keywords:** supply expansion, photovoltaic generation, capacity value, ELCC.

### 1. Introdução

Um sistema elétrico de potência (SEP) deve ser bem planejado e operado para atender a carga com a melhor qualidade de energia ao menor custo possível. O planejamento de um SEP é um estudo detalhado que estabelece relações de compromisso entre aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais para selecionar recursos energéticos para expansão da oferta centralizada, além de gerenciar os recursos existentes. A crescente inserção de geração a partir de fontes renováveis se deve à competitividade de custo, mas sua imprevisibilidade – devido à intermitência da fonte – preocupa planejadores para atender, confiavelmente, requisitos de energia e potência.

O conjunto de geradores disponíveis deve atender a quantidade total de energia e a potência instantânea requerida pela carga (AMADO; PELEGIA; SAUER, 2021). A capacidade disponível de geradores despacháveis, como aqueles encontrados em usinas termelétricas ou hidrelétricas, é muito próxima da capacidade instalada. Geradores que dependem de fontes intermitentes, como eólica e solar fotovoltaica, têm geração variável e imprevisível e são considerados como recursos de energia e não de capacidade (ABDULLAH *et al.*, 2013) e, portanto, não são despacháveis. Entretanto, é possível determinar a contribuição de capacidade de geradores eólicos ou fotovoltaicos, equivalente a geração despachável (PELLAND; ABOUD, 2008). Essa contribuição é chamada de valor de capacidade ou crédito de capacidade.

A capacidade de geração disponível para um conjunto de geradores é um requisito avaliado em termos da confiabilidade do suprimento. Com dados de confiabilidade de cada gerador – disponibilidade e indisponibilidade; esse último chamado EFOR (*Equivalent Forced Outage Rate*) – é possível obter uma tabela – COPT (*Capacity Outage Probability Table*) com todos os possíveis estados de capacidade e as respectivas disponibilidades e indisponibilidades para o conjunto de geradores. Para tanto, métricas probabilísticas são utilizadas. A métrica mais comum é a Probabilidade de Perda de Carga – LOLP (*Loss of Load Probability*) que é a probabilidade, em um dado intervalo de tempo, da carga ser maior que a capacidade de geração. A Expectativa de Perda de Carga – LOLE (*Loss of Load Expectation*) é a somatória dos LOLPs no período de avaliação, normalmente 1 ano. O LOLE pode ser expresso em dias/ano ou horas/ano dependendo da base temporal dos dados. Os planejadores visam manter o valor do LOLE em 0,1 dia/ano (MADAENI; SIOSHANSI; DENHOLM, 2012).

Quando um novo gerador é adicionado ao conjunto de geradores disponíveis, sua capacidade individual aumenta a capacidade de geração total e, conseqüentemente, contribui para diminuir o LOLE, ou seja, reduz a probabilidade da carga não ser atendida. Contudo, a carga pode aumentar no período analisado até certo ponto em que o LOLE volta ao seu valor original. Um novo gerador, então, diminui o LOLE se a carga for mantida ou mantém o LOLE se a carga aumentar. Tal aumento possível de carga é denominado de Capacidade Efetiva para Atendimento da Carga – ELCC (*Effective Load Carrying Capability*). Tradicionalmente, o valor da capacidade de um gerador tem sido equiparado ao seu ELCC, definida como a quantidade de aumento de carga que poderia ser sustentada pelo novo gerador, sem alterar a confiabilidade do sistema (PELLAND; ABOUD, 2008) e, portanto, a contribuição do novo gerador é o seu valor de capacidade, ou ELCC (IBANEZ; MILLIGAN, 2014).

Embora seja comum basear o ELCC no LOLE, outras métricas de confiabilidade adequadas, como Energia Não Servida Esperada – EUE (*Expected Unserved Energy*), podem ser usadas no lugar do LOLE. Uma métrica como a EUE pode ser uma métrica adicional valiosa à medida que SEPs evoluem com mais recursos de geração variável. (NERC, 2011). O objetivo deste artigo é determinar o valor de capacidade da geração fotovoltaica, equiparado ao ELCC baseado no LOLE, e demonstrar a sua contribuição para a expansão da oferta em um SEP.

## 2. Metodologia

O sistema teste conhecido como *IEEE Reliability Test System* (RTS) publicado pelo *Probability Methods Subcommittee* do IEEE, em 1979, é o SEP de referência deste artigo, antes da adição da geração fotovoltaica. O RTS possui 32 geradores despacháveis de 12 a 400 MW, totalizando 3.405 MW de capacidade instalada. A disponibilidade e indisponibilidade

de cada gerador são dados conhecidos, assim como a carga horária ao longo do ano. O gráfico 1 mostra a curva de carga, cujo pico anual é 2.850 MW.

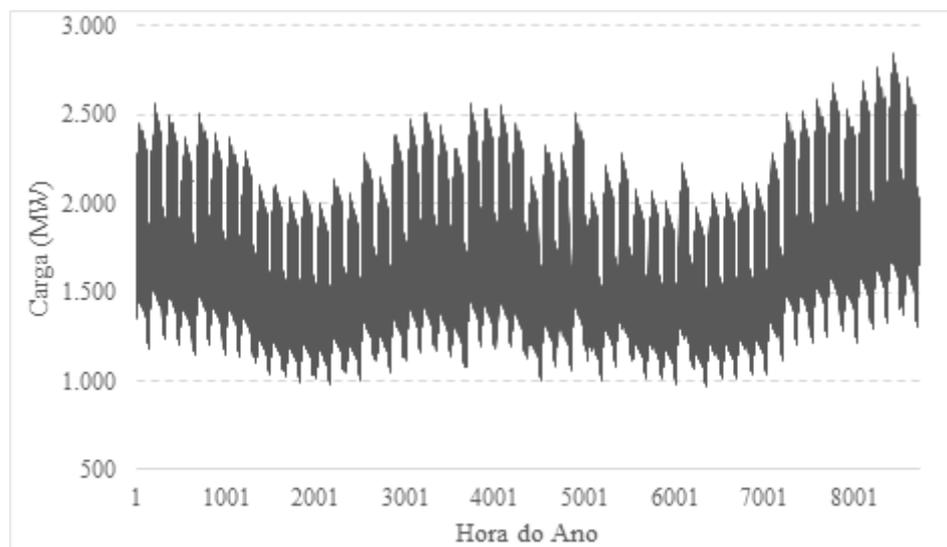


Gráfico 1: Curva de carga do RTS.

Fonte: elaborado pelo autor com dados de *Application of Probability Methods Subcommittee* (1979).

Allan *et al.* (1986) apresentaram os resultados da avaliação do RTS em termos do LOLE: 1,37 dia/ano e 9,39 horas/ano. A diferença entre os valores de LOLE é que o primeiro considera que o pico da carga ‘dura’ o dia inteiro enquanto o segundo considera valores horários.

O cálculo destes números, entretanto, não é tarefa fácil. A COPT para sistemas com dezenas de geradores só pode ser calculada com poderosas ferramentas computacionais e uma delas é o REpra<sup>39</sup> (*Renewable Energy Probabilistic Resource Assessment*) implementado pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*). O REpra é uma ferramenta estatística que modela o efeito da geração variável por meio do cálculo das métricas mencionadas. A sua vantagem é que não é necessário determinar a disponibilidade e indisponibilidade dos novos geradores (fotovoltaicos). O REpra calcula a COPT considerando o conjunto de geradores despacháveis. A potência horária da geração fotovoltaica é adicionada separadamente.

O LOLE do RTS calculado pelo REpra é 1,38 dias/ano ou 9,42 horas/ano; portanto, uma ferramenta muito confiável. A potência de geração fotovoltaica para cada hora do ano – e inserida no REpra – é compatível com os dados de irradiação solar da Tabela 1.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>R [kWh·m<sup>-2</sup>·dia<sup>-1</sup>]</b>	4,72	5,20	4,81	4,68	4,23	4,10	4,14	4,98	4,46	4,58	4,73	5,04
<b>Horas de Sol/dia</b>	13,3	12,8	12,1	11,4	10,9	10,7	10,9	11,4	12,1	12,8	13,4	13,6

Tabela 1: Irradiação solar e comprimento médio do dia.

Fonte: elaborado pelo autor com dados do CRESESB.

<sup>39</sup> A implementação em linguagem R do REpra é um *software* de código aberto disponível em repositório público no endereço <https://github.com/NREL/REpra>.

### 3. Resultados e Discussões

O gráfico 2 mostra o LOLE do novo RTS em função da capacidade fotovoltaica, mantendo-se o conjunto de geradores despacháveis e a carga inalterados.

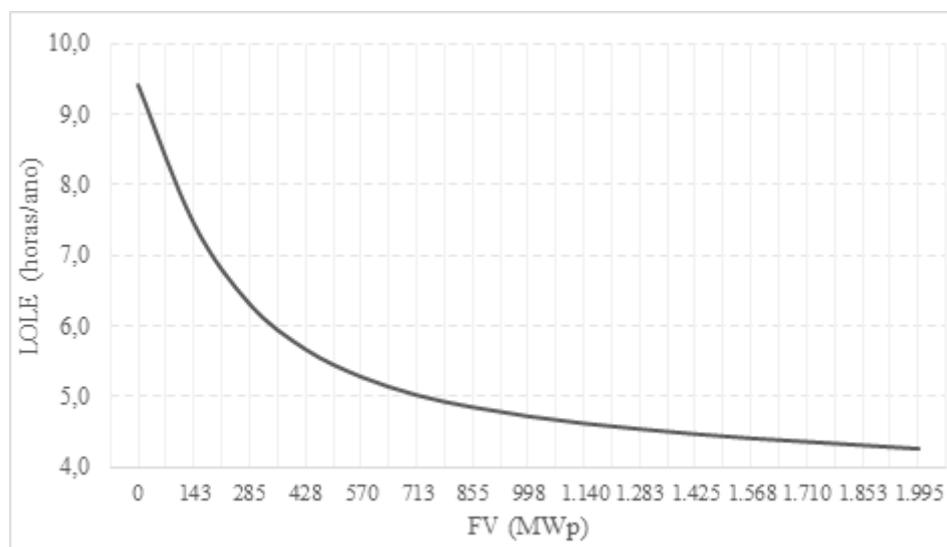


Gráfico 2: LOLE do RTS em função da capacidade fotovoltaica.  
Fonte: elaborado pelo autor.

Em uma primeira simulação observou-se que a inserção de capacidade fotovoltaica ilimitada faz o LOLE convergir para 2,25 horas/ano e não menos do que isso. Isso se deve ao fato de que a geração fotovoltaica é nula no período noturno e não contribui com energia ou capacidade para atender a carga neste período. Para que o LOLE seja ainda menor deve-se adicionar novos geradores despacháveis.

Para calcular o ELCC e determinar o valor de capacidade da geração fotovoltaica, o objetivo foi convergir o LOLE para 9,42 horas/ano (igual ao sistema de referência calculado pelo REpra) e observar o aumento possível de carga constante em função da capacidade instalada de geração fotovoltaica. A tabela 2 mostra os resultados de ELCC e EUE obtidos do REpra.

Fotovoltaica (MWp)	LOLE (horas/ano)	EUE (MWh/ano)	ELCC (MW)	Crédito de Capacidade (%)
142,5	9,42	1.186,86	32,1	22,5%
285,0	9,43	1.210,02	55,2	19,4%
427,5	9,42	1.228,12	70,7	16,5%
570,0	9,41	1.245,33	81,6	14,3%
712,5	9,41	1.257,28	89,3	12,5%
855,0	9,42	1.265,64	94,8	11,1%
997,5	9,41	1.269,96	98,9	9,9%

Tabela 2: ELCC e EUE em função da capacidade fotovoltaica para LOLE=9,42.  
Fonte: elaborado pelo autor.

O EUE do sistema de referência é 1.174 MWh/ano. A operação de 997,5 MWp permite aumento constante de 98,9 MW (9,9% da capacidade instalada fotovoltaica), mantendo o LOLE original. O EUE aumenta porque a geração fotovoltaica não atende esse aumento de carga sempre, por exemplo, no período noturno.

## 4. Conclusões

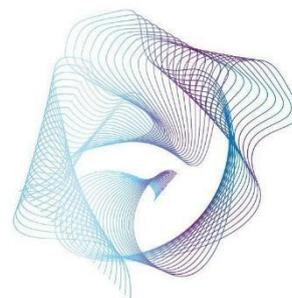
A crescente inserção da geração fotovoltaica se deve à competitividade do custo da energia produzida por ela, mas os planejadores não consideram a sua contribuição de capacidade para a expansão da oferta. Porém, o valor de capacidade pode ser determinado, indicando que existe contribuição de potência além da energia produzida por esses geradores, embora o valor de capacidade seja proporcionalmente menor à medida que a capacidade instalada cresce. Isso se deve ao fato de que a geração fotovoltaica não consegue atender a carga no período noturno. Em outras palavras, a confiabilidade do conjunto de geradores melhora, mas converge para um dado valor de LOLE à medida que a inserção fotovoltaica cresce. Embora a geração fotovoltaica contribua nos aspectos econômico e de capacidade, para se melhorar ainda mais a confiabilidade do sistema, a geração fotovoltaica deve ser complementada e integrada com geração despachável para a completa adequabilidade de geração do SEP.

## Referências

- ABDULLAH, M. A. et al. **Capacity Deferral Credit Evaluation of Renewable Distributed Generation**. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2013. 1-8.
- ALLAN, R. N.; BILLINTON, R.; ABDEL-GAWAD, N. M. K. **The IEEE Reliability Test System - Extensions to and Evaluation of the Generating System**. IEEE Transactions on Power Systems, 1, n. 4, 1986. 1-7.
- AMADO, N. B.; PELEGIA, E. D. B.; SAUER, I. L. **Capacity Value from Wind and Solar Sources in Systems with Variable Dispatchable Capacity** — An Application in the Brazilian Hydrothermal System. Energies, 14, n. 11, 2021.
- APPLICATION OF PROBABILITY METHODS SUBCOMMITTEE. **IEEE Reliability Test System**. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-98, n. 6, 1979. 2047-2054.
- IBANEZ, E.; MILLIGAN, M. **Comparing Resource Adequacy Metrics**. Golden, Colorado. 2014.
- IBANEZ, E.; USDOE. **REPRA** (Renewable Energy Probabilistic Resource Assessment), Golden, CO, 2016. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/1492719>>.
- MADAENI, S. H.; SIOSHANSI, R.; DENHOLM, P. **Comparison of Capacity Value Methods for Photovoltaics in the Western United States**. Golden, Colorado. 2012.
- NERC. **Methods to Model and Calculate Capacity Contributions of Variable Generation for Resource Adequacy Planning**. Princeton. 2011.
- PELLAND, S.; ABOUD, I. **Comparing Photovoltaic Capacity Value Metrics: A Case Study for the City of Toronto**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, n. 16, 2008. 715–724.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Avaliação de atendimento de energia do subsistema sul

Yan Felipe de Oliveira Cavalcante<sup>1\*</sup>, Demetrio Cornilios Zachariadis<sup>2</sup>

1 Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP)

2 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)

\*Autor para correspondência, E-mail: exemplo@usp.br

**Resumo:** O subsistema Sul é considerado um sistema hidrotérmico, apresentando uma capacidade instalada de geração de energia elétrica de aproximadamente 23 MW, representando 15% da capacidade instalada do país. O objetivo deste estudo consiste na revisão crítica sobre o SIN e do subsistema Sul, avaliar a operação de sistemas hidrotérmicos de potência elétrica do subsistema Sul, a fim de traçar um panorama da geração e interação das diferentes fontes, para obter cenários futuros do subsistema Sul. A metodologia consiste em utilizar representações gráficas dos dados da evolução da capacidade instalada e geração de eletricidade, para avaliar o comportamento de consumo. O subsistema Sul irá depender cada vez mais dos intercâmbios de energia caso não expanda sua matriz energética. Sendo a maneira mais simples para ampliação é o uso das usinas termoeletricas, entretanto, a geração eólica se apresenta como uma fonte limpa, e o incremento desta fonte pode modificar as curvas de armazenamento médio de água nos reservatórios do SIN.

**Palavras-chave:** SIN, Subsistema Sul, Hidrotérmico, Eólico, Capacidade instalada.

**Abstract:** *The South subsystem is considered a hydrothermal system, with an installed capacity for generating electricity of approximately 23 MW, representing 15% of the country's installed capacity. The objective of this study is to critically review the SIN and the Southern subsystem, evaluate the operation of hydrothermal systems of electrical power in the Southern subsystem, provide an overview of the generation and interaction of different sources, to obtain future scenarios for the Southern subsystem. The methodology consists of using graphical representations of data on the evolution of installed capacity and electricity generation, to assess consumer behaviours. The Southern subsystem will depend more and more on energy exchanges if it does not expand its energy matrix. The simple way to expand the use of thermoelectric power plants, however, wind generation presents itself as a clean source, and the increase in this source can modify the average water storage curves in the SIN reservoirs.*

**Keywords:** *SIN, Southern Subsystem, Hydrothermal, Wind, Installed capacity.*

## 1. Introdução

O subsistema Sul apresenta capacidade de geração de diferentes fontes, apresentando uma capacidade instalada de geração de energia elétrica de aproximadamente

23 MW, representando 15% da capacidade instalada do país. Sendo a principal fonte a hidroelétrica, seguida pela geração termoeétrica e a eólica (EPE, 2018).

A região Sul apresenta 14% da população brasileira, e o consumo de energia elétrica no subsistema Sul, é de 17% do consumo total do país. Entretanto, o consumo per capita de energia elétrica na região é 14% superior à média nacional, enquanto o consumo residencial é 12% maior do que a média do país. Com esse dado é possível constatar que a região Sul brasileira apresenta poder econômico superior à média nacional (EPE, 2018; SIFFERT, MARCHETTI, *et al.*, 2014).

## **1.1 Hidroeletricidade.**

O subsistema sul foi uma das primeiras regiões brasileiras a ter seu potencial hídrico explorado para geração de energia, é estimado que essa região possui um potencial em torno de 41 GW, sendo que quase 60% de sua capacidade já aproveitada, assim o potencial remanescente deverá ser aproveitado de maneira parcial devido a restrições socioambientais. Existe um potencial de 4 GW para PCHs (Pequena Central Hidroelétrica), sendo 30% no Rio Grande do Sul, 30% em Santa Catarina e 40% no Paraná. Por ser a primeira região a ter seu potencial hídrico explorado, muitas usinas atualmente se encontram-se defasadas, por ter pelo menos vinte anos (SIFFERT, MARCHETTI, *et al.*, 2014; ANEEL, 2005).

A usina hidroelétrica (UHE) de Itaipu Binacional, mesmo localizada na região Sul do país, não é considerada do subsistema Sul, e sim do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, pois a energia elétrica gerada, não podendo ser integrar diretamente ao sistema brasileiro, que a frequência é 60 Hz. Assim, a energia produzida em 50 Hz em corrente alternada é convertida para corrente contínua e transmitida até Ibiúna (SP), para assim ser possível ser integrada ao SIN, mas a partir do subsistema Sudeste/Centro-Oeste (EPE, 2018; ITAIPU, 2017; SIFFERT, MARCHETTI, *et al.*, 2014).

A interligação existente entre o subsistema Sul e Sudeste/Centro-Oeste permite o intercâmbio de energia, possibilitando a otimização energética entre os subsistemas, aproveitando a diversidade hidrológica existente, uma vez que o perfil da energia natural afluyente (ENA) das hidrelétricas do Sul é complementar a do Sudeste/Centro-Oeste. Havendo intercâmbios de energia ao longo do ano, ora como exportadora de energia (SAIDEL, 2017; ANEEL, 2005; SILVA, 2012).

## **1.2 Geração termoeétrica.**

O subsistema Sul é diversificado em relação a utilização das fontes primárias de baixo custo. Sendo as que destacam-se, o carvão mineral (1.765 MW) e o gás natural (1.307 MW), sendo também utilizados o óleo combustível (99 MW) (SIFFERT, MARCHETTI, *et al.*, 2014).

O subsistema Sul possui significativas reservas de carvão mineral em relação aos demais fontes primárias. As jazidas de carvão, podem ser utilizadas para ampliar a capacidade de geração de eletricidade. E estão concentradas nos estados de Santa Catarina, e no Rio Grande do Sul (SIFFERT, MARCHETTI, *et al.*, 2014; DNPM, 2006).

A segunda fonte primária que mais se destaca é o gás natural, e as principais UTEs (Usina Termoeétrica) a gás natural utilizam o gás proveniente da Bolívia por meio dos gasodutos Brasil-Bolívia (Gasbol). Entretanto, o Gasbol utiliza sua capacidade máxima, a expansão da geração termoeétrica a gás natural no subsistema Sul depende da expansão da infraestrutura de suprimento de gás, mediante ampliação da malha de gasodutos (SIFFERT, MARCHETTI, *et al.*, 2014).

### **1.3 Geração eólica.**

O subsistema Sul destaca-se pela crescente participação da geração de energia eólica. Sendo a expansão da geração eólica com o PROINFA. A energia eólica se consolidou e se tornou competitiva com as demais fontes energéticas. Este subsistema apresenta um expressivo potencial eólico, de aproximadamente 23 GW, entretanto, outros estudos, indicam que este potencial pode ser superior, pois, o estado do Rio Grande do Sul apresenta potencial eólico de 115 GW (ANEEL, 2005; AMARANTE, SILVA, *et al.*, 2002; CEPEL, 2017).

O Brasil possui atualmente 524 parques eólicos, com a capacidade instalada de 13.150,2 MW, no subsistema Sul apresenta 95 parques eólicos, representado 15% da capacidade instalada brasileira. A localização e a capacidade instalada dos parques eólicos brasileiros, sendo que no subsistema Sul existe oitenta parques eólicos (15%) no estado do Rio Grande do Sul (RS), quatorze em Santa Catarina (SC) e um no Paraná (PR). O Rio Grande do Sul é uma das regiões mais promissoras no desenvolvimento de energia eólica, pois seu fator de capacidade é o quarto maior do Brasil, sendo igual a 33%, e a média mundial de 24%. Seu fator de capacidade alto, possibilita alta geração de energia, por essa razão o subsistema Sul merece atenção em ampliar sua capacidade instalada (ABEEÓLICA, 2019; MME, 2017).

### **1.4 Geração solar.**

A geração solar é inexpressiva na região Sul, é devido a baixa radiação solar média anual e o tempo médio de insolação em grande parte do território do subsistema Sul. Assim, há maiores incentivos de aplicar tal tecnologia em outras áreas do território brasileiro (CHIGUERU, FRAIDENRAICH, *et al.*, 2000).

## **2. Metodologia**

O planejamento energético é uma ferramenta capaz de identificar as alternativas mais adequadas para atender as demandas da sociedade, a partir de políticas energéticas. Assim, um conjunto de estudos nesta área são instrumentos importantes para ações e monitoramento, e o desenvolvimento de planos para nortear o desenvolvimento do setor energético.

A ferramenta de avaliação será o histograma, para compreender os dados obtido do Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS), de capacidade instalada, geração das diferentes fontes de energia e energia natural afluyente no Sistema Interligado Nacional do subsistema Sul do período de 2006 a 2019. O histograma é uma das ferramentas estatísticas, utilizada para representar graficamente uma grande quantidade de dados numéricos. Através da análise do histograma é possível interpretar estas informações de forma mais fácil e simples.

## **3. Resultados e discussões**

Com os dados obtido do Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS), do histórico de operação do SIN, foi possível desenvolver diferentes histograma, a fim de avaliar o grande volume de dados visualmente, e realizar constatações relevantes (ONS, 2021).

A Figura 1 apresentam um recorte das informações do SIN, para o subsistema Sul. A capacidade instalada hídrica mesmo apresentando crescimento, sua participação relativa tem uma queda de aproximadamente 10% em relação as demais fonte desta região, devido a

dificuldade de expansão de usinas hidroelétricas. As termoelétricas, também apresentam um crescimento em sua capacidade instalada, aproximadamente 1.300 MW, entretanto sua participação relativa permanece constante, aproximadamente 20%.

Mas há um incremento significativo, pelas fontes eólicas, que inicia timidamente, mas a partir do ano de 2010, ganha expressividade, sendo de 10%. Há a participação de usinas fotovoltaicas, entretanto, elas no subsistema Sul são consideradas inexpressivas, sendo sua participação relativa de 0,02%. Assim, é possível afirmar que as perspectivas para o futuro são de aumento na participação da fonte eólica e, provavelmente, das usinas fotovoltaicas, reduzindo a participação das termoelétricas.

O investimento em tecnologias de geração de energia renovável é importante quando se trata de controle de emissões de gases estufa, mas a variabilidade e aleatoriedade da geração das fontes eólica e solar passa a ser importante à medida que a segurança do suprimento energético do subsistema pode ser diminuída quando da dependência deste tipo de fonte intermitente.

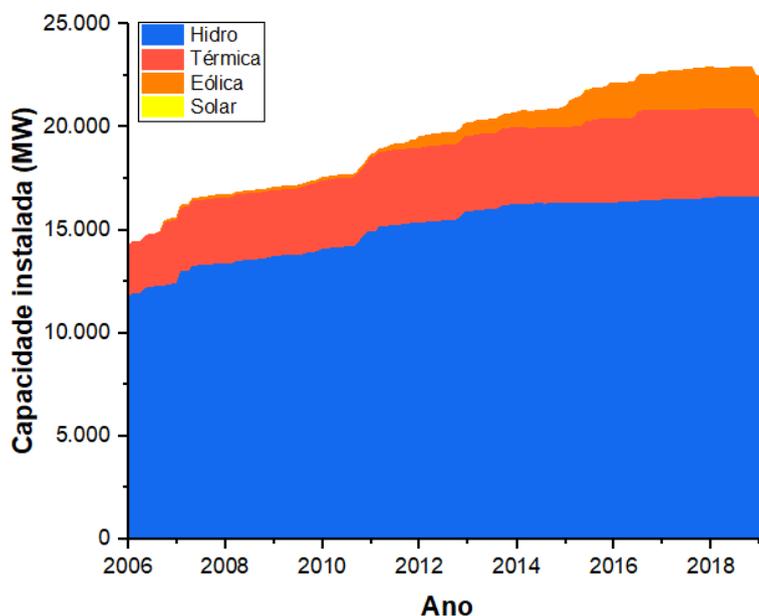


Figura 1 - Evolução capacidade instalada do subsistema Sul.  
Fonte: (ONS, 2021)

A Figura 2 mostra um recorte do histórico de atendimento à demanda elétrica somente para o subsistema Sul e permite destacar a intermitência da oferta de energia hidroelétrica. A fim de suprir a intermitência hídrica, há um incremento significativo da geração térmica. Importante destacar que o uso das termoelétricas acarreta o aumento no custo de geração, além de ser uma fonte que gera poluentes. Entretanto, mesmo com o uso das termoelétricas, o subsistema Sul não é capaz de suprir a demanda existente.

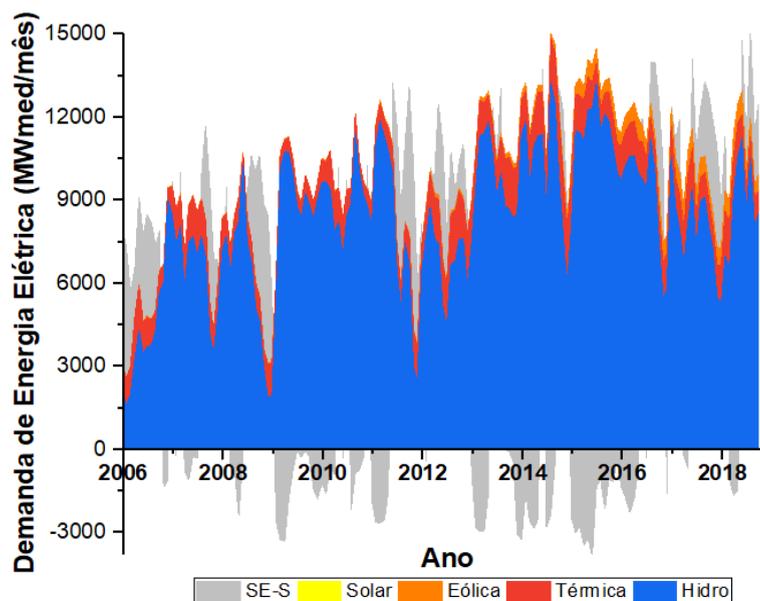


Figura 2 - Histórico do atendimento à demanda do subsistema Sul.  
 Fonte: (ONS, 2021)

Devido a geração hidroelétrica representar grande parte da composição da matriz energética do subsistema Sul, torna-se importante avaliar o comportamentos hidrológicos das bacias da região, para a utilização eficiente dos recursos disponíveis. É possível constatar na Figura 3, que a importação de energia para o subsistema Sul é mais intensa durante os períodos secos, mas quando a energia natural afluyente é alta, ocorre a exportação de energia. Quando os reservatórios estão abaixo da média no subsistema Sul, há uma queda no atendimento da demanda elétrica, fazendo-se necessário a importação de energia do subsistema SE/CO, pois este é o período úmido dessa região. Nos períodos seco no subsistema SE/CO, há uma grande exportação da eletricidade do Sul, pois é corresponde aos meses quando as afluências estão acima da média na região (SAIDEL, 2017; SILVA, 2012).

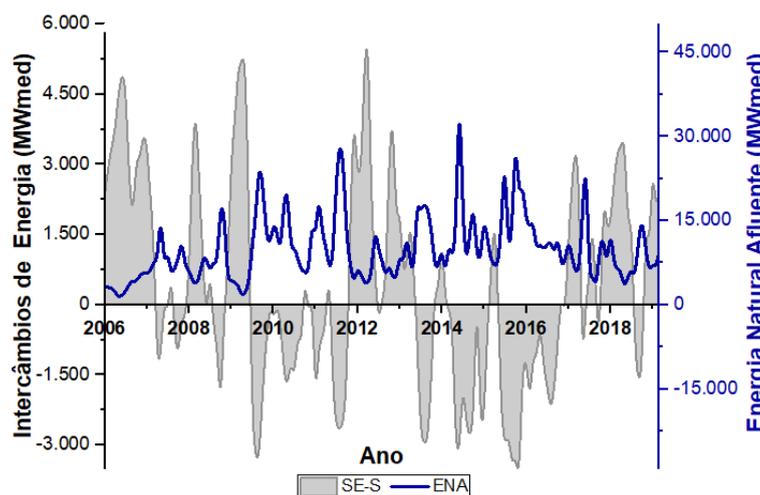


Figura 3 - ENA no subsistema Sul em função do intercambio de energia.  
 Fonte: (ONS, 2021)

Reforçando a importância de investimentos em sistemas de transmissão de energia para a região Sul, uma vez que a frequência de intercambio de energia entre os subsistemas é grande.

Mesmo o subsistema Sul, apresentar maior intermitência no comportamento hidrológico em relação aos demais subsistemas, este possui grande abundância de disponibilidade de geração hidráulica nos meses do período seco do restante do SIN, em torno de 3.000 MW, além de possuir alto fator de capacidade, em torno de 50%. Além de seu período mais com baixos níveis de aflúncias coincidente com o período úmido dos demais subsistemas (SILVA, 2012; SAIDEL, 2017).

A Figura 4 permite observar a importância da geração eólica no subsistema Sul, pois auxilia na redução da geração de energia elétrica pelas termoelétricas neste subsistema, especialmente quando se compara o comportamento da geração térmica nos anos que a energia eólica apresenta baixa expressividade, em relação à quando a energia eólica começou a ser gerada em maior escala.

A geração térmica que chegou a atingir picos de mais de 2.000 MW em 2015, por exemplo, passou a ser de entorno de 1.500 MW, mesmo com a situações hidrológicas sendo mais desfavoráveis. Mas importante destacar a importância para a segurança energética que a geração térmica acarreta a um subsistema predominantemente hidroelétrico. Esse tipo de geração funciona de maneira complementar à geração hídrica, sendo as usinas termoelétricas despachadas nos períodos em que há menores vazões afluentes às usinas hidroelétricas, como representado na Figura 4.

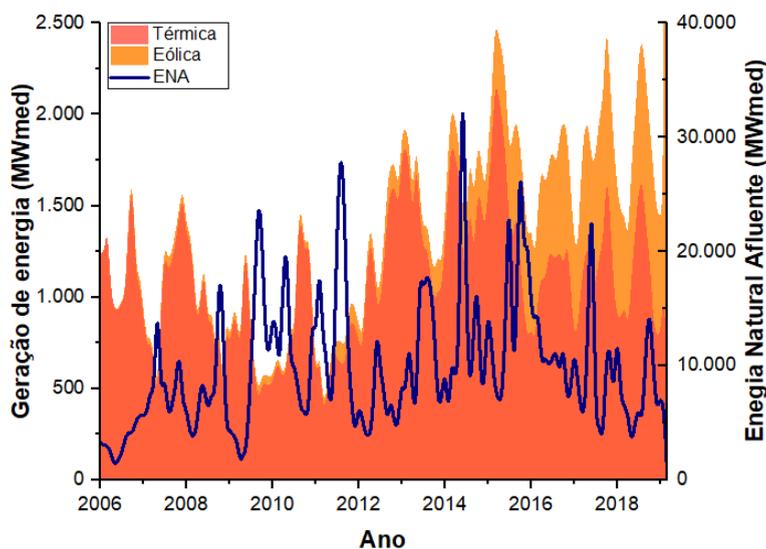


Figura 4 - Energia Natural Afluente no subsistema Sul, geração térmica e geração eólica.  
Fonte: (ONS, 2021)

Também é possível observar na Figura 4 a complementaridade existente entre a geração eólica e a geração hidráulica no subsistema Sul, característica que pode ser bem aproveitada em anos de hidrologia favorável, uma vez que o incremento na geração eólica nos meses secos dos anos hidrológicos pode permitir que mais água seja preservada nos reservatórios do SIN e aumentar a confiabilidade da geração elétrica, considerando os ganhos proporcionados pela operação integrada.

É possível observar na Figura 5, que a energia eólica no subsistema Sul apresentou uma grande evolução em seus anos de implementação, de 2007 a 2019, a capacidade instalada no Sul cresceu em torno de 1.200%. Apresentando alto fator de capacidade, de 27%, sabendo que o fator de capacidade é a razão da média de energia gerada dentro de uma unidade de tempo, pela capacidade instalada. Característica importante, para atrair investimento e ampliar os parques eólicos da região.

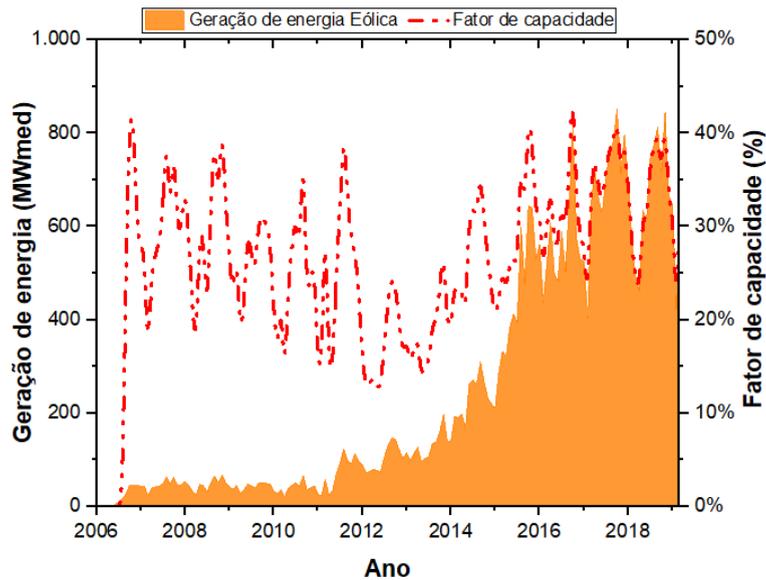


Figura 5 - Geração de energia eólica e fator de capacidade.  
 Fonte: (ONS, 2021)

É possível observar na Figura 6, que a energia solar no subsistema Sul dobrou sua capacidade instalada, entre os anos de 2015 e 2019, e que o período que apresenta picos de geração se dá no final e início do ano, ou seja, verão. Mas mesmo havendo a expansão da capacidade instalada, a geração de energia manteve valores semelhantes à antes da expansão, devido a geração por energia solar na região Sul apresentar baixo rendimento, obtendo um fator de capacidade médio de aproximadamente 12%, sendo o valor médio do SIN de 20%. Característica que afasta investimentos para ampliar tal fonte energética, tornando-se mais interessante investir em outras fontes.

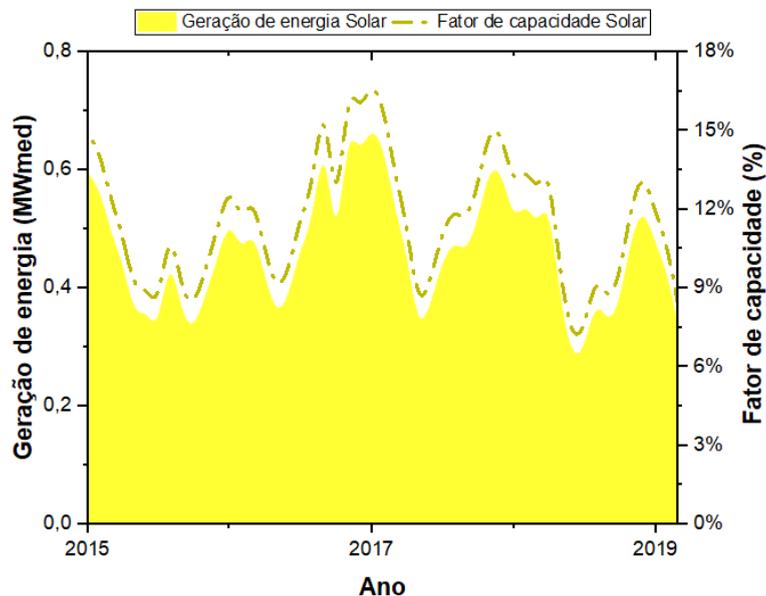


Figura 6 - Geração de energia eólica e fator de capacidade.  
 Fonte: (ONS, 2021)

#### 4. Conclusões

O subsistema Sul irá depender cada vez mais dos intercâmbios de energia com as outras

regiões caso não expanda sua matriz energética. Pode-se observar que o crescimento da capacidade instalada na região não é acompanhado pelo crescimento nacional, tornando a necessidade de importação crescente com o aumento do consumo elétrico. Tal comportamento reflete a tendência da expansão da capacidade instalada em regiões mais distantes dos principais centros de carga. Assim, nos próximos anos, os limites de intercâmbio entre os subsistemas Sul e Sudeste/Centro Oeste deverão aumentar consideravelmente.

A geração de energia elétrica deve ser expandida de modo acelerado e deve superar a demanda regional, e tornar o subsistema Sul exportador de energia, mudando de sua posição de importador. Entretanto, a maneira mais simples para ampliação é com o uso das usinas termoeletricas (UTES), devido ao fácil acesso as fontes primárias, como o carvão e o gás natural. A fim de expandir as usinas termoeletricas a gás natural, se faz necessário a ampliação da importação de gás natural da Bolívia, que acarreta a emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, a geração eólica se apresenta como uma fonte limpa, apesar de apresentar forte sazonalidade e aleatoriedade, tem condições de ser utilizada com todo o seu potencial em sistemas energéticos de grande porte, uma vez que a forte integração entre as fontes e demandas existentes no SIN tem potencial para superar estas dificuldades e, até mesmo, reduzir a pressão sobre os reservatórios do subsistema Sul, os quais devem priorizar o abastecimento público e aos múltiplos usos do recurso hídrico.

O incremento na geração eólica no subsistema Sul pode modificar as curvas de armazenamento médio de água nos reservatórios do SIN, uma vez que existe a possibilidade da geração por esta fonte justamente quando ocorre o período seco do ano hidrológico no Subsistema Sudeste/Centro-Oeste. Desta forma, o subsistema Sul tem potencial para se transformar em exportador de energia, desde que sejam vislumbrados para o curto e médio prazos incrementos substanciais nas linhas de transmissão as quais realizam a interligação entre os Subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo, tornando possível a produção deste trabalho. Aos Professores da Universidade de São Paulo por ser parte fundamental da minha formação, em especial ao Professor Dr. Demetrio Cornilios Zachariadis sou grato pela competência e auxílio de boa vontade.

## Bibliografia

ABEEÓLICA. Energia Eólica: Os bons ventos do Brasil. **InfoVento**, São Paulo, v. 10, p. 02, abr. 2019. Disponível em: <[http://grupordp.ind.br/wp-content/uploads/2019/04/Infovento10\\_Port.pdf](http://grupordp.ind.br/wp-content/uploads/2019/04/Infovento10_Port.pdf)>. Acesso em: 04 jul. 2019.

AMARANTE, O. A. C. D. et al. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre, p. 70. 2002.

ANEEL. **Atlas da energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005. 243 p. ISBN 85-87491-09-1. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b)>.

CEPEL. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: Simulações 2013**. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, p. 50. 2017.

CHIGUERU, T. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimétricos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. PERNAMBUCO, p. 116. 2000. (85-7315-142-0).

DNPM. DESEMPENHO DA PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA. **INFORME MINERAL: Desenvolvimento & Economia Mineral**, Brasília, v. 5, p. 29, 2006. ISSN 1807-0388. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/informes/informe-mineral-2006-1-o-semester>>.

EPE. **Panorama e Perspectivas sobre Integração Energética Regional**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, p. 40. 2018.

ITAIPU. Sistema de Transmissão Horizonte 2024. **Itaipu Binacional**, maio 2017. Disponível em: <[https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/Mapa\\_do\\_Sistema\\_de\\_Transmissao\\_Horizonte\\_2024.pdf](https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/Mapa_do_Sistema_de_Transmissao_Horizonte_2024.pdf)>. Acesso em: 2021 jun. 16.

MME. **Energia Eólica no Brasil e Mundo: Ano de referência - 2016**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, p. 08. 2017.

ONS. HISTÓRICO DA OPERAÇÃO. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**, mar. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

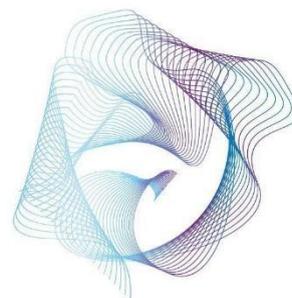
SAIDEL, M. **Operação do SIN**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 15. 2017.

SIFFERT, N. F. et al. O BNDES e a questão energética e logística da Região Sul. In: MONTORO, C. F., et al. **Um olhar territorial para o desenvolvimento: Sul**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. Cap. 4, p. 126-163. ISBN 978-85-87545-53-4. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/3022>>.

SILVA, H. T. D. D. **Análise dos Impactos da Utilização das Curvas de Aversão a Risco no Modelo de Planejamento da Operação Energética de Médio Prazo**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 112. 2012. (20230).

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Aspectos de Simulação e Ensaio de um Motor de Relutância Chaveado 6x4

Carlos Eduardo Mendes do Carmo<sup>1,\*</sup>, Hédio Tatizawa<sup>2</sup>, Pedro Pereira de Paula<sup>3</sup>

1 IEE / USP

2 IEE / USP

3 Consultor

\* eduardo\_mendes@usp.br

**Resumo:** Os motores de relutância chaveados (MRC) são máquinas elétricas que se encontram em fase de franco desenvolvimento. Suas características de alto rendimento, alto torque, possibilidade de alcançar altas velocidades bem como sua construção simples o colocam como uma alternativa interessante em substituição às máquinas convencionais como o motor de indução ou motores de corrente contínua com escovas ou motores de corrente contínua sem escovas e com ímãs permanentes. Suas principais limitações são as oscilações de torque intrínsecas a esse tipo de máquina e que se traduzem em ruídos acústicos e vibrações, mas que podem ser minimizadas através de técnicas de projeto e de uma estratégia de controle adequada. Este artigo apresenta aspectos de simulação e ensaios de um motor de relutância chaveado e seu conversor eletrônico de acionamento, desenvolvidos no Programa de Pós-graduação em Energia do IEE / USP.

**Palavras-chave:** motor elétrico, motor de relutância chaveado, simulação, elementos finitos.

**Abstract:** *Switched reluctance motors (SRM) are electrical machines that are under rapid development. Their characteristics of high efficiency, high torque, possibility of reaching high speeds as well as their simple construction make them an interesting alternative to replace conventional machines such as induction motors or DC brush motors or brushless DC motors. Its main limitations are the torque ripple intrinsic to this type of machine, which translate into acoustic noise and vibrations, but which can be minimized through design techniques and an adequate control strategy. This paper presents aspects of simulation and testing of a switched reluctance motor and its electronic drive converter, developed in the Post-graduate Program in Energy at IEE/USP.*

**Keywords:** *electrical motor, switched reluctance motor, simulation, finite element analysis.*

## 1. Introdução

Um motor de relutância, como o mostrado na figura 1 é um motor elétrico cujo torque é produzido pela tendência da sua parte móvel se alinhar na posição onde a sua indutância atinja seu valor máximo (HENDERSHOT, 1990). De forma específica o motor de relutância chaveado ou MRC apresenta as seguintes características:

- Polos salientes no estator e no rotor;
- Número de polos diferentes no estator e no rotor;

- Enrolamentos concentrados nos polos do estator;
- Rotor formado apenas pelo empilhamento de chapas de aço silício, sem nenhum tipo de enrolamento;
- Campo rotativo ou linear formado pelo sequenciamento de pulsos de corrente aplicados aos enrolamentos do estator;
- Necessidade de sensoriamento angular do rotor, seja de forma direta ou indireta;
- São acionados e controlados através de um conversor eletrônico.

Segundo Miller (1993) o motor de relutância chaveado apresenta algumas vantagens como alto torque, alto rendimento, simplicidade e robustez construtiva, tolerância a falhas em motores multifásicos e ausência de ímãs permanentes. Porém apresentam algumas limitações como as oscilações de torque que resultam em ruído acústico e vibrações e a necessidade de um conversor eletrônico de acionamento com uma estratégia de controle complexa (HENDERSHOT, 1990).

As aplicações dos motores de relutância chaveados abrangem uma extensa faixa de possibilidades indo de poucas dezenas de rpm até dezenas de milhares de rpm e com uma faixa de potência de frações de kW até aplicações na ordem de MW incluindo aplicações como gerador, incluindo bombas, ventiladores, compressores, bobinadeiras, servoacionamentos, motores para içamentos e outras aplicações em velocidade variável (LAWRENSON, 1983).

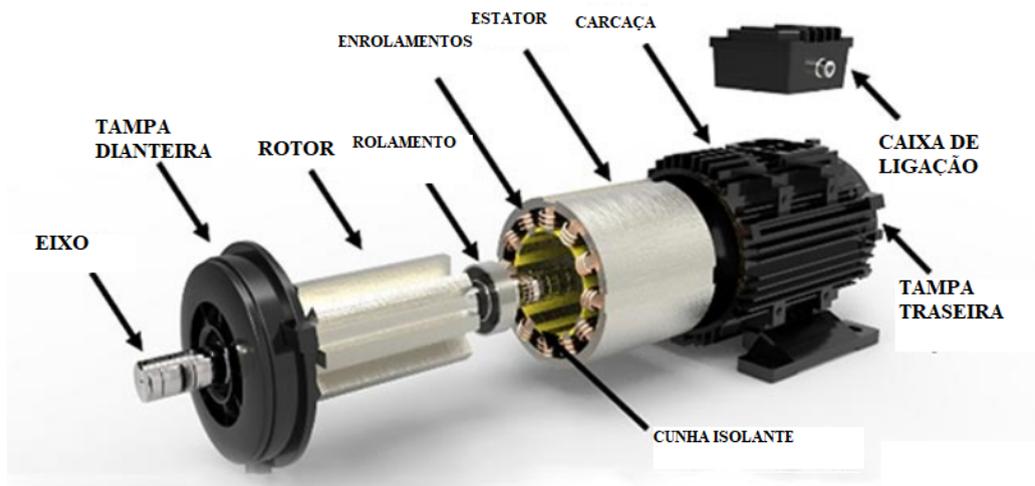


Figura 1 – Vista explodida de um MRC  
 Fonte: Adaptado de [www.nide-group.com](http://www.nide-group.com)

### 1.1 Princípio de Funcionamento do Motor de Relutância Chaveado

A figura 2 mostra a seção transversal de um motor de relutância chaveado de três fases, 6 polos no estator e 4 polos no rotor. Os enrolamentos do estator são concentrados por polo e ligados em polaridade aditiva por fase, o rotor é formado por chapas de aço silício empilhadas sem nenhum tipo de enrolamento ou de ímãs permanentes. Os motores de relutância chaveados sempre apresentam número diferente de polos no estator em relação ao rotor de modo que exista sempre um polo do rotor em equilíbrio instável e por consequência garantindo que a partida seja possível (KRISHNAN, 2001). O motor de relutância chaveado,

desenvolve unicamente o torque de relutância que depende da posição relativa entre os polos do rotor e os polos do estator que estiverem energizados. Disso decorre que o sentido de torque ou rotação depende da sequência de pulsos de corrente aplicados nas bobinas do estator que criam uma onda de campo arrastando o rotor.

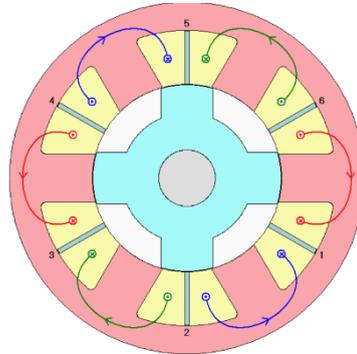


Figura 2 – Seção transversal de um MRC  
Fonte: Do Autor

Nesse tipo de motor é necessário o sensoriamento da posição angular do rotor, seja de maneira direta utilizando sensores óticos, encoders ou resolvers, seja de maneira indireta através de algum método que possa estimar a posição angular do rotor com uma boa precisão de modo a alimentar as bobinas do estator em posições angulares favoráveis dos polos do rotor no sentido sequencial do chaveamento das fases. Um tipo de conversor para alimentação e controle do motor de relutância chaveado pode ser visto na figura 3. Esse conversor é chamado de conversor em meia ponte assimétrica e é a topologia mais utilizada para o acionamento dos motores de relutância chaveados.

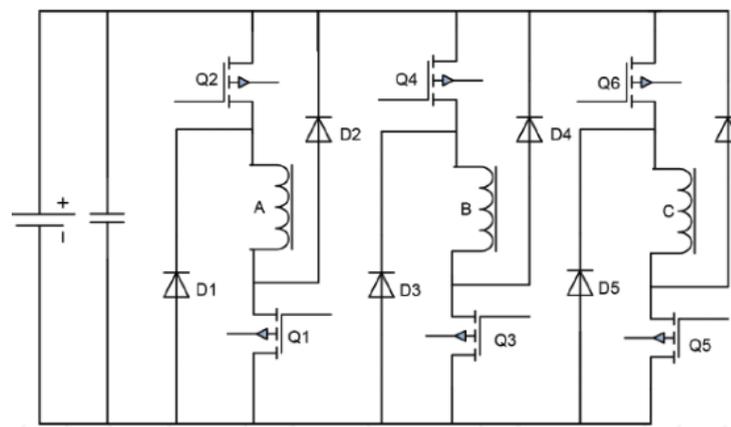


Figura 3 – Conversor em meia-ponte assimétrica  
Fonte: (SANDEEP, 2018)

## 1.2 Balanço de Energia e Produção de Torque em um Motor de Relutância Chaveado

Sendo:

$R$  = resistência do enrolamento por fase;

$i$  = corrente por fase;

$\psi$  = fluxo magnético;

$L$  = indutância por fase;

$\theta$  = posição angular do rotor.

A tensão de terminal em uma das fases do MRC pode ser descrita pela equação abaixo:

$$v = R \cdot i + (d\psi/dt) \quad (1)$$

$$\text{mas, } \psi = L(\theta)i \quad (2)$$

$$e, \omega = \frac{d\theta}{dt} \text{ (velocidade angular)} \quad (3)$$

Fazendo as substituições de (3) e (2) em (1), temos:

$$v = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (4)$$

Podemos observar pela equação (4) que a tensão de terminal de um MRC é a soma da queda de tensão da indutância com a força eletromotriz mecânica em função da variação da indutância com a posição angular do rotor. Para obtermos a potência instantânea, multiplicamos a equação (4) por  $i$ :

$$vi = \frac{d}{dt} \left( \frac{Li^2}{2} \right) + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (5)$$

A primeira parcela se refere a energia magnética armazenada e a segunda parcela é a potência convertida em energia mecânica.

Se  $P = T \cdot \omega$ , então:

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \omega \quad (6)$$

Desta forma (6) representa a expressão do torque, desconsiderando os efeitos da saturação magnética. Observa-se, por (6) que o torque independe do sentido da corrente no enrolamento da fase e que o torque do motor depende da variação da indutância em função da posição angular do rotor, que pode ser vista na figura 4.

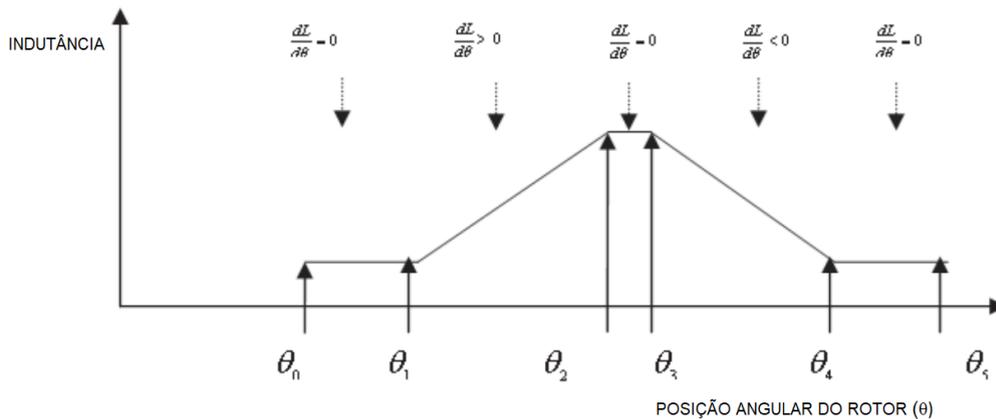


Figura 4 – Variação da indutância com a posição angular do rotor  
 Fonte: adaptado de (PARAMASIVAN; RENGESAMI, 2005)

## 2. Metodologia

Para a realização desse trabalho foi projetado um motor de relutância chaveado com configuração 6x4, 6 polos no estator e 4 polos no rotor, com 3 fases e alimentação elétrica 220 VCA no conversor o que resulta em 310 Vcc no barramento com sensoriamento angular direto através de encoder incremental. Foram feitas simulações através de software pelo método dos elementos finitos (MEF) onde foram obtidas as curvas de torque estático, as curvas de fluxo concatenado x corrente, a curva de torque x velocidade e o desempenho dinâmico do motor. O protótipo tanto do motor quanto do seu conversor de acionamento foi construído como mostrado na figura 5 o que permitiu que alguns ensaios experimentais fossem feitos. O conversor permite a operação em velocidade variável desde 200 rpm até a velocidade base de 1800 rpm através de controle PWM e acima da velocidade base com operação em pulso único até 5.000 rpm. As características de projeto do motor estão na tabela 1:

POTÊNCIA	2 CV
TENSÃO	220 V
CORRENTE POR FASE	5 A
VELOCIDADE BASE	1800 rpm
REGIME DE TRABALHO	S1
NÚMERO DE POLOS DO ESTATOR	6
NÚMERO DE POLOS DO ROTOR	4
NÚMERO DE ESPIRAS POR BOBINA	120
FIO	17 AWG
ENTREFERRO	0,25 mm
CARCAÇA	NEMA 56
EIXO	AÇO SAE 1045
PACOTE MAGNÉTICO	AÇO SILÍCIO GNO E-210
COMPRIMENTO DO PACOTE	98 mm

Tabela 1 – Características de projeto do MRC  
Fonte: Do Autor



Figura 5 – Protótipo do MRC montado com o sensor de posição  
Fonte: Do Autor

O ensaio experimental para a determinação do torque estático foi realizado com o auxílio da bancada de testes da figura 6.

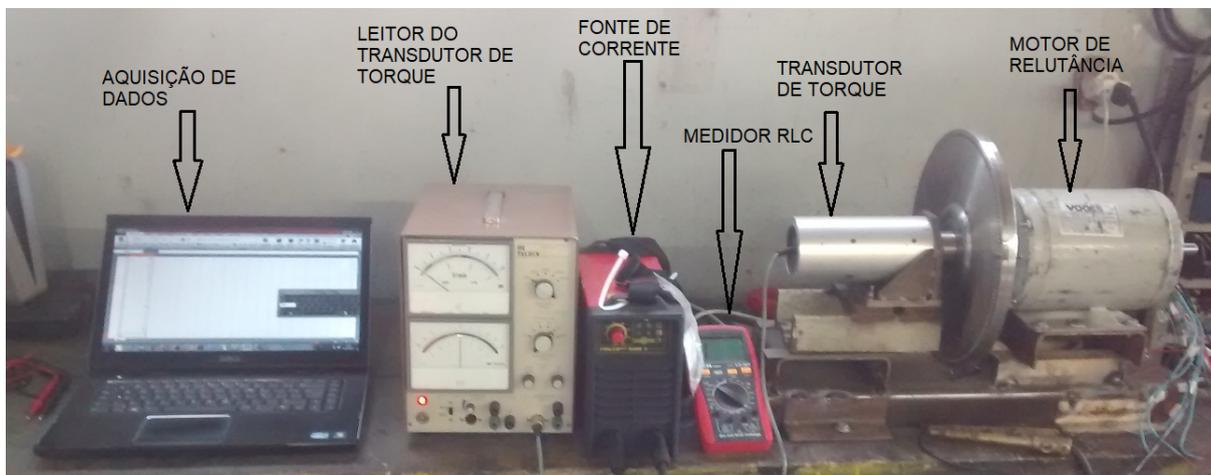


Figura 6 – Arranjo experimental para medição de torque estático do MRC  
Fonte: Do Autor

O motor foi acoplado a uma carga para uma primeira abordagem de seu funcionamento em condições reais de trabalho, nesse caso o motor foi acoplado a um compressor de ar de 20 PCM acionado originalmente por um motor de indução trifásico de 5 cv 3600 rpm. Dada a flexibilidade proporcionada pelo conversor em velocidade variável pudemos operar o motor na mesma velocidade que o motor de indução. A montagem do MRC no compressor é mostrada na figura 7.



Figura 7 – MRC acoplado a compressor de 20 PCM  
Fonte: Do Autor

### 3. Resultados e discussões

O software de simulação por elementos finitos permite um pacote de resultados estáticos e dinâmicos a partir da entrada dos dados da geometria da máquina e de seus parâmetros de operação. A figura 8 mostra um mapa de fluxo gerado pela simulação onde podemos observar os polos da fase energizada fortemente saturados, denotado pela cor vermelha. Essa é uma característica esperada desse tipo de máquina: a máxima saturação magnética nos polos e uma baixa saturação na região da coroa do estator.

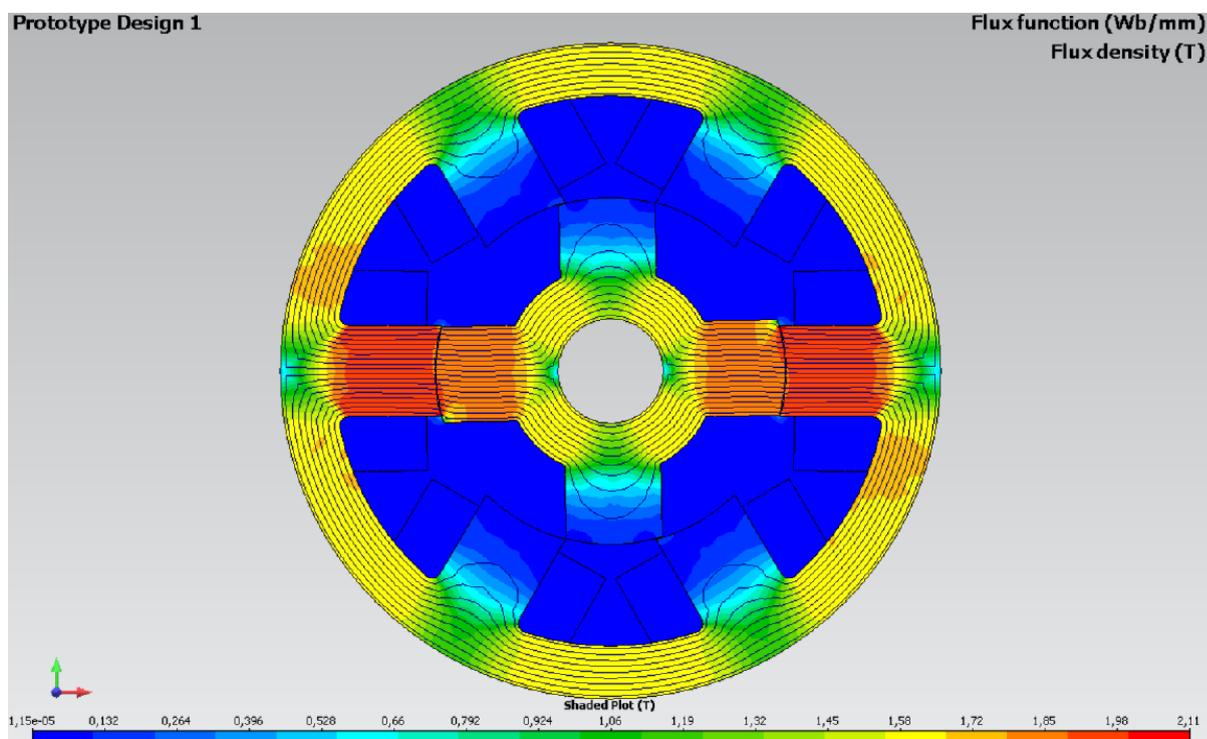


Figura 8 – Mapa de fluxo magnético do protótipo obtido por simulação por elementos finitos  
Fonte: Do autor

As curvas de torque estático em função da posição angular para vários valores de corrente também puderam ser obtidas por simulação e são mostradas na figura 9.

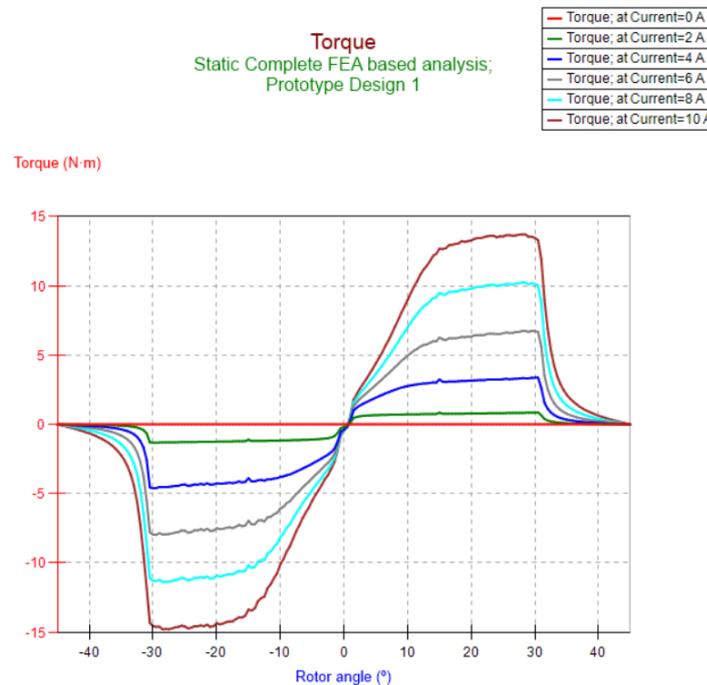


Figura 9 – Curvas de torque estático para o MRC obtidas por simulação  
Fonte: Do autor

Com o software foi possível fazer uma simulação dinâmica e, deste modo, foi obtida uma curva torque x velocidade, conforme figura 10. Observa-se um torque praticamente constante até valores um pouco inferiores a velocidade base, a partir desse ponto o torque varia de forma inversamente proporcional a velocidade como é esperado nesse tipo de máquina, porém na curva simulada a região de enfraquecimento de torque começa um pouco antes da velocidade base, as explicações podem ser de uma saturação um pouco maior na área da coroa ou algum parâmetro de projeto a ser otimizado.

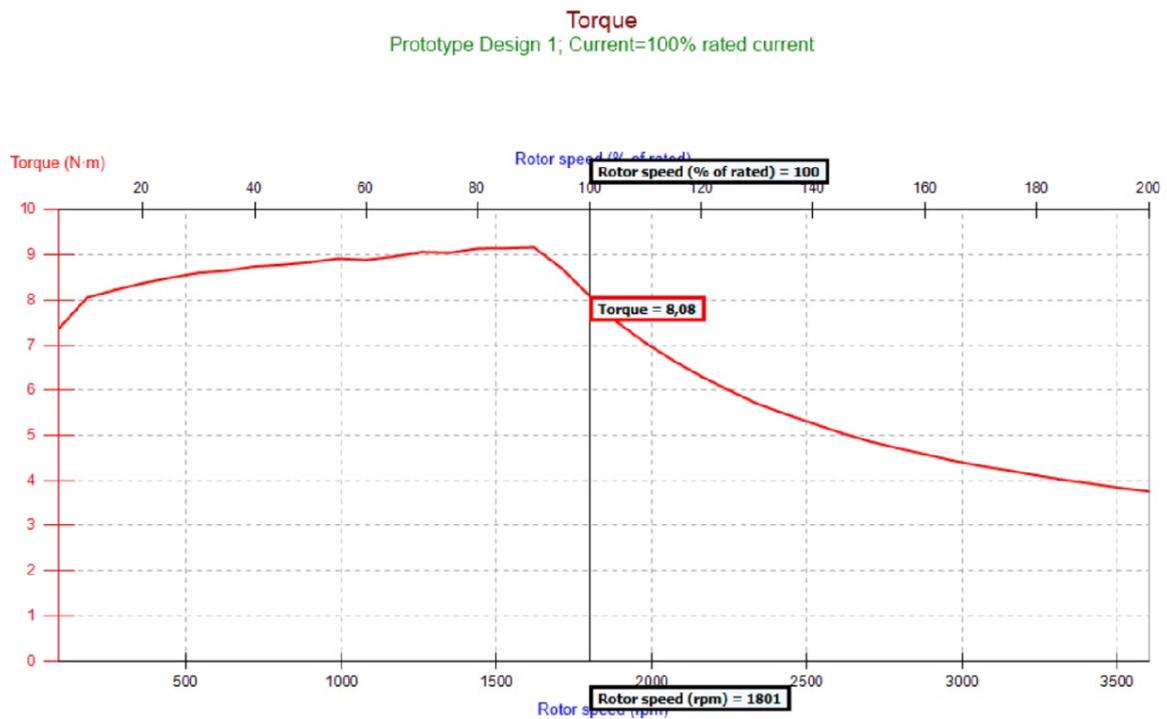


Figura 10 – Curva de torque x velocidade obtida por simulação  
 Fonte: Do autor

A curva de torque estático obtida através do arranjo experimental da figura 6 é apresentada abaixo nas figuras 11. O valor máximo de torque estático obtido por simulação foi de 12 Nm enquanto o resultado experimental foi de 11,5 Nm, uma diferença de apenas 4,2%, bastante aceitável para um protótipo não otimizado.

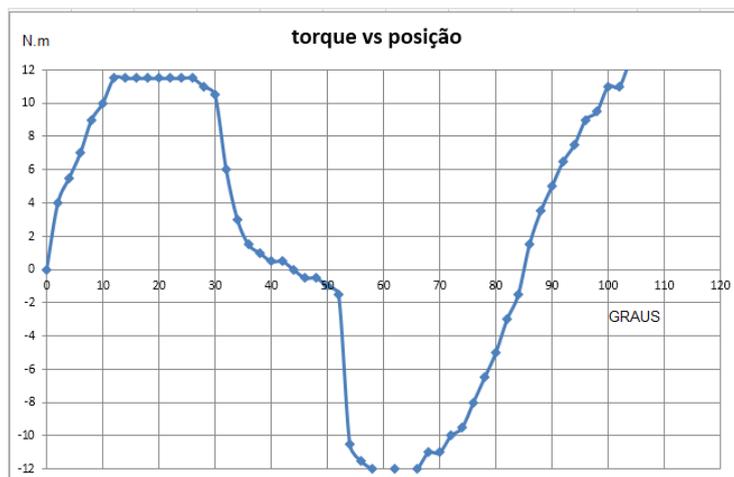


Figura 11 – Curva de torque estático para corrente de 10 A obtida experimentalmente  
 Fonte: Do autor

O simulador forneceu um pacote completo de desempenho dinâmico conforme figura 12 onde podemos verificar o valor do torque médio com carga nominal, um valor um pouco acima do projetado para a potência de saída, um rendimento

	Prototype Design 1
Torque (N·m)	8,74
RMS torque ripple (N·m)	1,81
Input power (kW)	1,87
Output power (kW)	1,65
Efficiency (%)	88,3
RMS voltage (V)	250
RMS current (A)	5,78
RMS current density (A/mm <sup>2</sup> )	7,02
Torque per unit rotor volume (TRV) (kN·m/m <sup>3</sup> )	19
Airgap stress (N/mm <sup>2</sup> )	0,0095
Loss - Total (kW)	0,219
Loss - Winding (kW)	0,137
Loss - Stator back iron hysteresis (kW)	0,0279
Loss - Stator back iron eddy current (kW)	0,0111
Loss - Stator teeth hysteresis (kW)	0,0144
Loss - Stator teeth eddy current (kW)	0,00457
Loss - Rotor back iron hysteresis (kW)	0,00755
Loss - Rotor back iron eddy current (kW)	0,00253
Loss - Rotor teeth hysteresis (kW)	0,01
Loss - Rotor teeth eddy current (kW)	0,00365
Loss - Friction (kW)	0
Loss - Windage (kW)	0
Loss - Stray (kW)	0
Design index	1

Figura 11 – Características dinâmicas obtidas através de simulação.  
Fonte: Do autor

Na aplicação do MRC como acionamento de compressor 20 PCM o motor forneceu torque de partida adequado e houve entrega satisfatória de torque para a carga acionada trabalhando com uma corrente de 8 A em comparação aos 13,5 A de consumo de corrente elétrica do motor de indução o que pode ser considerado como um indicativo de melhor eficiência do sistema ao ser acionado com o motor de relutância construído nesse trabalho. A forma de onda da corrente foi obtida com o auxílio de um osciloscópio e se mostra como o esperado para esse tipo de máquina e pode ser vista na figura 12.

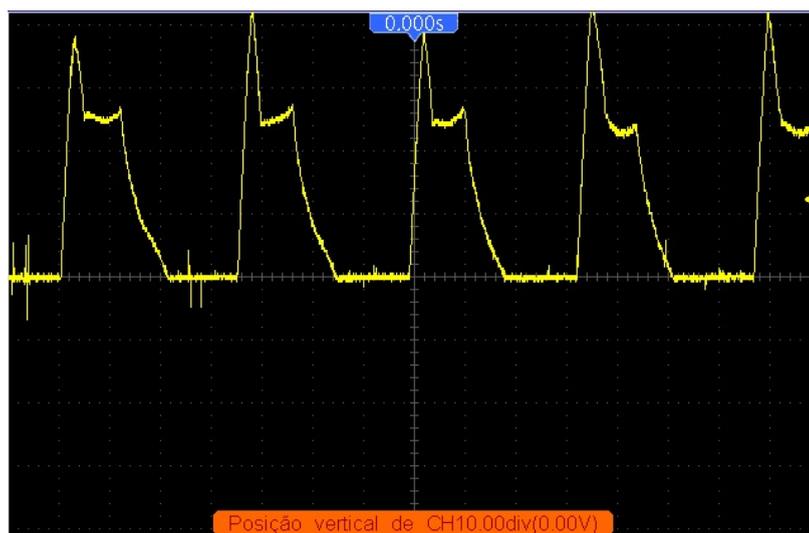


Figura 12 – Forma de onda de corrente obtida experimentalmente no acionamento de compressor 20 PCM  
Fonte: Do autor

#### 4. Conclusões

Os primeiros resultados experimentais mostram o comportamento do protótipo de MRC de acordo com o preconizado pela teoria, os valores simulados em comparação com os resultados experimentais obtidos até o momento também demonstram a validação do projeto. A primeira experiência prática de utilização do protótipo em um acionamento de uma carga real foi promissora e após a completa caracterização da máquina serão feitas uma série de comparações com outros tipos de motores com várias aplicações diferentes com a finalidade de apontar em quais situações o MRC tem possibilidade de substituir os acionamentos clássicos com alguma vantagem. Infelizmente não foi possível explorar nesse trabalho o detalhamento do projeto e construção do MRC e de seu conversor e a estratégia de controle empregada bem como a influência dos parâmetros de projeto e controle na minimização das ondulações de torque, ruídos e vibrações típicas da máquina de relutância.

#### Referências

HENDERSHOT, J.R. **Application of SR Drives.** IEEE Industry Applications Society Conference. Tutorial Course, Seattle 1990, p. 60-90.

KRISHNAN, R. **Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications.** CRC Press, 2001, p.34-37.

LAWERSON, P. **Switched Reluctance Drivers.** Electronic & Power, Fevereiro 1983.

MILLER, T.J.E. **Switched Reluctance Motors and Their Controls.** Magna Physics Publishing, Oxford, 1993, p. 5-6.

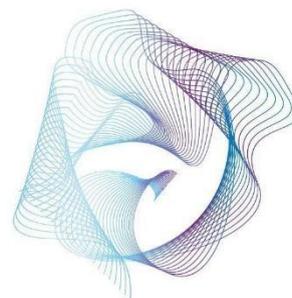
NIDE GROUP. < [www.nide-group.com/Emobile/news\\_1/id/150.html](http://www.nide-group.com/Emobile/news_1/id/150.html) > Acesso em 03/10/2021.

PARAMASIVAN, S.; RENGESAMI, A. **Real Time DSP Base Adaptative Controller Implementation for 6/4 pole Switched Reluctance Motor Drive.** Songklanakarin Journal of Science and Technology, Maio-Junho, 2005.

SANDEEP, N. **In: Switched Reluctance Motor – Concept, Control and Application.** Intech, 2018, Capítulo 2.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Estudo do desempenho de sistemas fotovoltaicos operando em área costeira: estudo de caso na Baixada Santista

Júlia de Oliveira Gonzales<sup>1\*</sup>, Fernando Ramos Martins<sup>2</sup>

1 Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Santos, São Paulo, 11070-100, Brasil

2 Fernando Ramos Martins - Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Santos, São Paulo, 11070-100, Brasil

\*Autor para correspondência, E-mail: julia.gonzalez@unifesp.br

**Resumo:** O setor de energia solar fotovoltaica (FV) está em crescente expansão e representa fonte de oportunidades de desenvolvimento em áreas de grande densidade populacional como a Baixada Santista. Compreender a relação do desempenho dos sistemas FVs com as condições atmosféricas urbanas torna-se uma área de estudo importante. Este estudo investiga o desempenho de um sistema FV instalado em Santos (setembro/2020-junho/2021). O sistema FV está instalado próximo à área portuária, sujeita à carga elevada de aerossóis e clima quente-úmido típico da costa sudeste brasileira. Dados meteorológicos e solarimétricos são coletados no local de operação. Indicadores de desempenho foram acompanhados ao longo do estudo com uso de ferramentas computacionais (Python e SOLergo). O sistema mostrou resultados superiores ao desempenho simulado pelo SOLergo. Os parâmetros de desempenho indicaram valores superiores ou similares a outros sistemas operantes na região, no Brasil e no exterior, com climatologias distintas da costa brasileira.

**Palavras chave:** Geração solar fotovoltaica, Parâmetros de desempenho, Geração distribuída, Baixada Santista, Litoral brasileiro.

**Abstract:** The photovoltaic (PV) solar energy sector is growing rapidly and represents a source of development opportunities in highly populated areas such as Baixada Santista. Understanding the relationship between the performance of PV systems and urban atmospheric conditions becomes an important area of study. This study investigates the performance of a PV system installed in Santos (September/2020-June/2021). The PV system is installed close to the port area, subject to high aerosol loading and a hot-humid climate typical of the southeastern Brazilian coast. Meteorological and solarimetric data are collected at the operating site. Performance indicators were monitored throughout the study using computational tools (Python and SOLergo). The system showed superior results to the performance simulated by SOLergo. The performance parameters indicated superior values or similar to other operating systems in the region, in Brazil and abroad, with different climatologies from the Brazilian coast.

**Keywords:** Photovoltaic solar power, Performance parameters, Distributed power generation, Baixada Santista, Brazilian coast.

## 1. Introdução

O território brasileiro está quase inteiramente na região tropical, o que favorece alta incidência de irradiância solar ao longo do ano (Pereira et al. 2017). A participação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira aumentou rapidamente no Brasil nos últimos anos, atingindo 10.859 MW de potência instalada, em setembro de 2021 (ABSOLAR 2021b).

Destaca-se a marca histórica ultrapassada: o país ultrapassou 10 GW de potência operacional de fonte solar fotovoltaica, em usinas de grande porte e em pequenos e médios sistemas instalados (ABSOLAR 2021a), aproximadamente 7 anos antes do que era esperado (EPE 2020).

O Plano Decenal de Energia (PDE) do Brasil prevê que a energia solar contribua com cerca de 97% da geração distribuída em 2031 com potência instalada da ordem de 26 GW no cenário de referência estabelecido pela EPE (EPE 2021).

Este presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de sistema fotovoltaico operante em Santos, cidade costeira de médio porte localizada no município de São Paulo, sudeste do Brasil. Santos apresenta clima tropical úmido, com altas temperaturas médias (acima de 19°C por todo o ano) e inverno quente (INMET 2021).

A média anual diária de Irradiação Global Horizontal (GHI) é de 4.200 Wh/m<sup>2</sup>.dia, atingindo seu valor máximo de até 5.400 Wh/m<sup>2</sup>.dia, em fevereiro; e mínimo de 2.900 Wh/m<sup>2</sup>.dia em junho. As principais atividades econômicas da região incluem o maior porto da América Latina, transporte de cargas, turismo e setor de serviços. Além disso, Santos está próxima da principal zona industrial petroquímica de São Paulo. Essas intensas atividades econômicas induzem emissões significativas de material particulado na atmosfera. O artigo apresenta o desempenho do sistema fotovoltaico sob as condições ambientais e meteorológicas locais típicas (Azevedo Dias et al. 2017) em regiões litorâneas semelhantes às de Santos.

## 2. Metodologia

### 2.1 Configuração experimental

O sistema fotovoltaico de 1,3 kWp foi instalado e opera no Edifício Mariângela Duarte da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) – Santos (vide Figura 1). O sistema fotovoltaico compreende 4 módulos fotovoltaicos de 330Wp, modelo AS-6P, de silício policristalino (p-Si) da fabricante Amerisolar. Os módulos fotovoltaicos estão inclinados em 22,8° e voltados para o norte geográfico. O inversor é do modelo 1500-SS, fabricado pela PHB, com potência de 1,5 kW. O PHB *Logger Pro* é usado para armazenar os dados do sistema fotovoltaico. Finalmente, um piranômetro de alta qualidade Kipp & Zonen, modelo CMP11, foi instalado para adquirir os dados de irradiância solar no plano inclinado do sistema fotovoltaico.

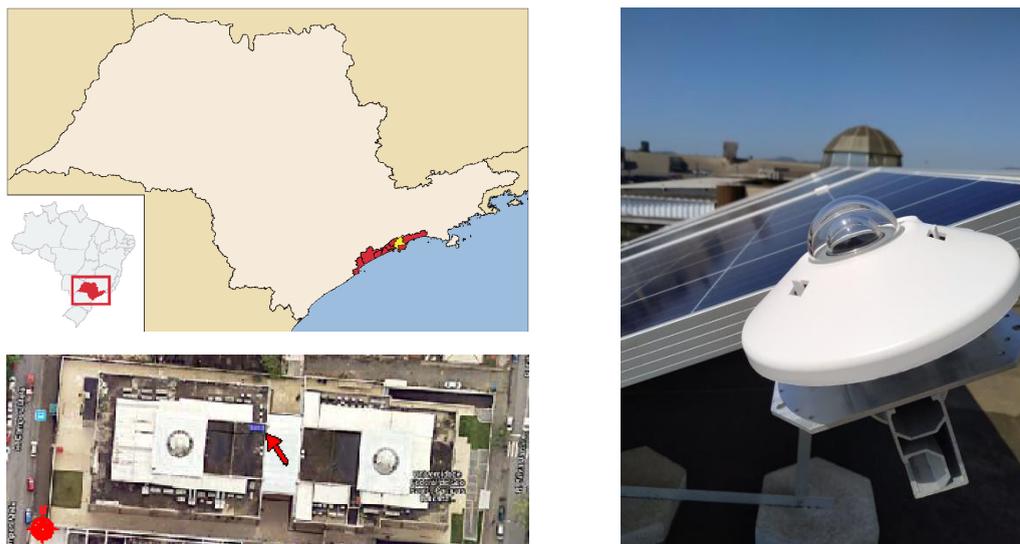


Figura 1 – Localização do sistema fotovoltaico estudado, em Santos – RMBS – São Paulo, Brasil.  
 Fonte: Adaptado de Freitas (2006) e elaborado pelos autores.

## 2.2 Base de dados

A base de dados utilizada no estudo é composta por:

- **Dados de operação do sistema:** compreende registros da Tensão Nominal do Módulo FV ( $V_{mp}$ ) e Corrente Nominal do Módulo FV ( $I_{mp}$ ), Tensão de Saída do Inversor, em CA ( $V_{AC}$ ), Corrente de Saída do Inversor, em CA ( $I_{AC}$ ), Frequência de Saída do Inversor, em CA ( $F_{AC}$ ), Potência de Saída do Inversor, em CA ( $P_{AC}$ ), Temperatura do Módulo FV ( $T_{mod}$ ) e Energia produzida ( $E_{AC}$ );
- **Irradiância no plano inclinado:** registro de dados de irradiância solar incidente no plano inclinado (mesma inclinação do sistema FV);
- **Sistema QUALAR (CETESB 2009):** dados meteorológicos observados nas estações da rede QUALAR, localizadas na Ponta da Praia (aproximadamente 5 km do sistema FV) e no Hospital Guilherme Álvaro (aproximadamente 2 km do sistema FV);
- **Estação meteorológica (Machado e Barbosa 2021):** dados meteorológicos disponibilizados pela estação parceira em operação na mesma localização do sistema de estudo.

Os dados meteorológicos mencionados acima (Temperatura, Umidade Relativa, Irradiância Global Horizontal e Velocidade do Vento) são armazenados em uma resolução de tempo de 10 minutos (CETESB, 2009; MACHADO; BARBOSA, 2021). O conjunto de dados armazenado foi fundamental para a avaliação do desempenho do sistema fotovoltaico estudado.

## 2.3 Parâmetros de desempenho

A Tabela 1 lista os principais parâmetros de desempenho, de acordo com IEA-PVPS (2014). A Produtividade final ( $Y_f$ ) avalia a produção de energia ( $E_{AC}$ ) em relação à potência da capacidade instalada ( $P_0$ ). Pode ser entendida como o número de horas que o sistema

funcionou com potência máxima. A Produtividade de referência ( $Y_r$ ) compara a energia de entrada na superfície do módulo ( $H_I$ ) com a irradiância de referência ( $G_{STC}$ ) apresentada na certificação do módulo. A Razão de Desempenho ( $PR$ ) relaciona  $Y_f$  e  $Y_r$ . Ela é independente da irradiação solar e útil para comparar o desempenho de sistemas FVs. Ela leva em consideração as perdas ópticas e radioativas (pré-conversão), perdas do inversor, perdas térmicas e perdas de condução. Por isso, a  $PR$  é útil para medir a taxa de desempenho ao longo da operação do sistema, pois pode ajudar a identificar as causas das perdas de rendimento no caso de uma deterioração, por exemplo. O  $CF$  mede a razão entre a saída de eletricidade real e a máxima possível (GONZALEZ; MARTINS, 2021).

Tabela 1 – Principais parâmetros de desempenho.

Medida	Equação	Unidade
Produtividade Final	$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_0}$	$kWh/kW_p$
Produtividade de Referência	$Y_r = \frac{H_I}{G_{STC}}$	$kWh/kW_p$
Perdas do Sistema FV	$L_S = Y_A - Y_f$	$kWh/kW_p$
Razão de Desempenho	$PR = \frac{100 \times Y_f}{Y_r}$	%
Fator de Capacidade	$CF = \frac{100 \times E_{AC}}{P_0 \times 365 \times 24}$	%

Fonte: IEA-PVPS (2014).

## 2.4 Comparação do sistema FV da UNIFESP com outros sistemas FVs em Santos, Brasil e mundo

Os parâmetros de desempenho permitem comparar a performance de sistemas de várias localidades distribuídas pelo mundo; tendo eles diferentes configurações, *designs* e tecnologias de conversão FV (FUSANO, 2013; WOYTE et al., 2013).

Por isso, comparou-se o sistema da UNIFESP com outros sistemas FVs sendo cinco instalações em Santos; duas no interior do Brasil (Aratiba – RS e Itiquira – MT) (vide Tabela 2); e duas no exterior, costeiras (Delft – Holanda e Stellenbosch - África do Sul) (vide Tabela 3). Todos os sistemas FV utilizam tecnologia p-Si.

Tabela 2 – Comparação da energia produzida, PR e produtividades anuais da instalação de Santos/SP com instalações nas cidades de Aratiba/RS e Itiquira/MT.

Localização	Aratiba	Itiquira	Santos (UNIFESP)
Energia (kWh/ano)	10839.0	13523.0	1890.9
$P_0$ (kWp)	9.0	9.0	1.3
$Y_f \approx \text{Energia}/P_0$ (kWh/ano·kWp)	1204.3	1502.6	1454.5
PR (%)	78.7	74.9	93.8
$Y_r$ (kWh/kWp)	1214.0	1514.0	1432.5

Fonte: Adaptado de Moderna (2020).

Tabela 3 – Comparação dos parâmetros de desempenho do sistema estudado (Santos) com outras cidades costeiras – “\*” são variáveis auxiliaadoras, porém não são parâmetros de desempenho.

Cidade	Parâmetros	Média Anual	Máximo	Mínimo	Unidade
--------	------------	-------------	--------	--------	---------

			Valor	Mês	Valor	Mês	
Santos	$Y_r$	122.8	156.1	Mar	73.3	Set	$kWh/kW$
	$Y_f$	119.4	145.7	Mar	81.8	Set	$kWh/kW$
	$L_s$	18.9	23.3	Mar	12.3	Set	$kWh/kW$
	$PR$	99.0	128.3	Out	88.8	Mai	%
	$CF$	16.6	19.6	Mar	13.1	Set	%
	$\eta_{SYS}$	16.8	21.8	Out	15.1	Mai	%
	$T_{amb}^*$	21.0	24	Jan	18	Jun	°C
	$DNI^*$	89.3	101.5	Jul	66	Set	$kWh/m^2$
Delft	$Y_r$	103.52	166.7	Mai	29.4	Dez	$kWh/kW$
	$Y_f$	83.33	133.5	Mai	23.9	Dez	$kWh/kW$
	$L_s$	20.19	35.3	Jul	5.5	Nov	$kWh/kW$
	$PR$	81	84	Jan	78	Jul	%
	$CF$	11.06	17.9	Mai	3.2	Dez	%
	$\eta_{SYS}$	12.62	13.1	Feb	12.2	Jul	%
	$T_{amb}^*$	10.5	18	Jul	4	Jan	°C
	$DNI^*$	81.1	133.3	Mai	27.8	Dez	$kWh/m^2$
Stellenbosch	$Y_r$	179.48	248.6	Dez	100.1	Jun	$kWh/kW$
	$Y_f$	134.67	180.1	Dez	80.2	Jun	$kWh/kW$
	$L_s$	44.81	63.3	Jan	19.9	Jun	$kWh/kW$
	$PR$	76	80	Jun	72	Jan	%
	$CF$	18.42	24.2	Dez	11.1	Jun	%
	$\eta_{SYS}$	11.67	12.3	Jun	11.1	Jan	%
	$T_{amb}^*$	17.5	22	Jan	13	Jun	°C
	$DNI^*$	188	281.8	Jan	109	Jun	$kWh/m^2$

Fonte: Dados cedidos por Solargis (2016), Solargis, ESMAP e World Bank Group (2019), Custom Weather (2021) e elaborado pelos autores.

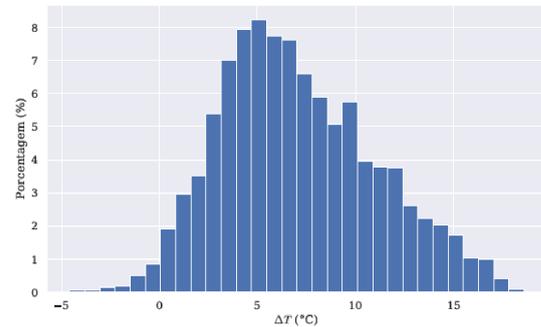
## 2.5 Simulação do software SOLergo

O *software* SOLergo foi utilizado para simulação do desenvolvimento do sistema FV instalado, utilizando dados de irradiação solar incidente fornecidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017). Assim, foi possível comparar a simulação numérica com os dados reais observados pelo piranômetro e do sistema FV instalados na Unifesp (vide Figura 4).

## 3. Resultados e discussões

A Figura 2a indica que a  $T_{mod}$  varia entre 3°C e 15°C acima da  $T_{amb}$ , sendo que a variação de 5°C a 6°C ocorreu com maior frequência. A diferença aumenta em dias quentes,

com  $T_{amb}$  superior a 30°C e dias de céu claro (pouca nebulosidade) (Figura 2b). O sistema FV apresenta valores elevados de  $PR$  quando comparados com a literatura (Figura 3), que geralmente apresentam valores próximos de 80% de  $PR$  nas instalações FVs brasileiras (MODERNA, 2020).

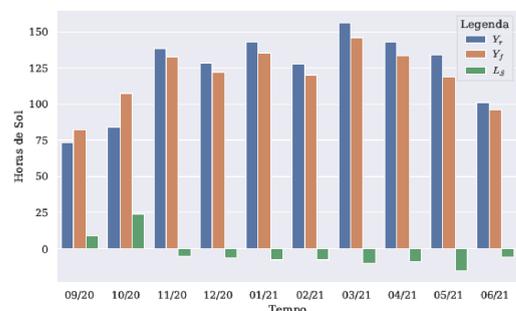
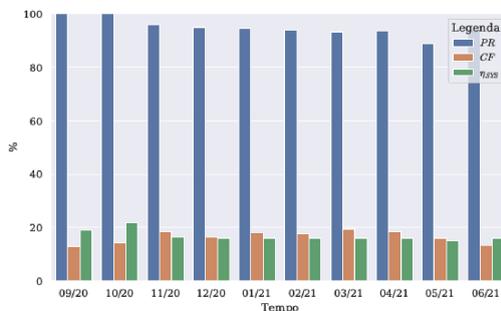


(a) Comparação entre as médias diárias de  $T_{mod}$  e  $T_{amb}$  ao longo do tempo.

(b) Distribuição de  $\Delta T = T_{mod} - T_{amb}$ .

Figura 2 – Comparação entre as temperaturas do módulo e do ambiente.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 3 mostra as produtividades de referência e final; e as perdas do sistema. As perdas foram baixas durante a estação seca e começaram a aumentar no verão austral, quando a frequência e a intensidade das chuvas aumentam. São necessárias séries de dados temporais mais abrangentes para entender o quão relevante é o impacto dos aerossóis durante a estação seca, uma vez que o sistema está operando próximo ao terminal portuário, que produz emissões significativas de partículas para a atmosfera.

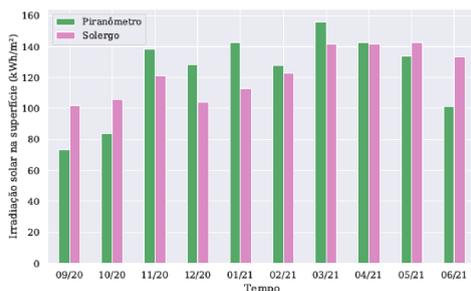


(a)  $PR$ ,  $CF$  e Eficiência do Sistema

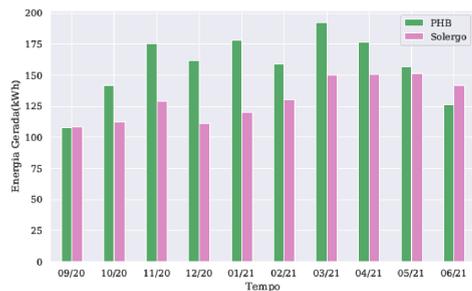
(b)  $Y_r$ ,  $Y_f$  e Perdas Totais.

Figura 3 – Parâmetros de desempenho do sistema fotovoltaico estudado.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 4 indica que o sistema FV teve um desempenho superior ao estimado com o *software* SOLergo. A hipótese primária está relacionada à baixa precipitação observada em Santos durante o verão (dezembro de 2020 a março de 2021), em relação à média histórica e à menor presença de materiais particulados (principalmente  $MP_{10}$ ) no entorno da instalação, também no verão (CETESB, 2009).



(a) Irradiação incidente na superfície.

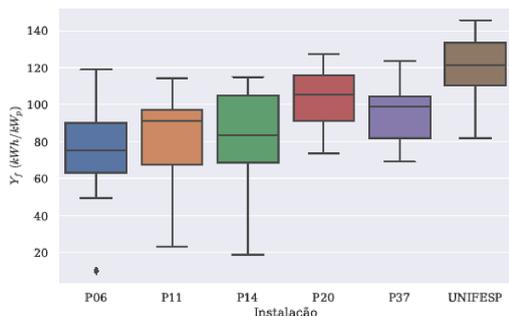


(b) Energia gerada.

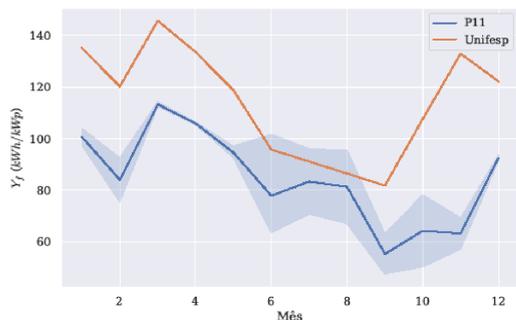
Figura 4 – Comparação entre os valores projetados pelo software SOLergo e os reais de operação do Piranômetro e sistema FV instalados.

A Figura 5a apresenta cada instalação em forma cronológica, da mais antiga (à esquerda) à mais recente (à direita), com suas respectivas distribuições de  $Y_f$ . Ela mostra a tendência de melhor desempenho conforme mais recente é a instalação, devido à degradação natural do sistema

A Figura 5b compara as duas instalações: sistema da UNIFESP e P11 (localizada a 260m de distância) — sujeitas às condições meteorológicas e ambientais muito similares. A comparação baseou-se no parâmetro  $Y_f$ , que é parametrizada pela capacidade instalada ( $P_0$ ). Portanto, a possível razão para a instalação da UNIFESP apresentar produtividade ( $Y_f$ ) maior seria a angulação de instalação em relação ao plano horizontal: a instalação da UNIFESP apresenta inclinação de  $22,8^\circ$  enquanto a P11 foi instalada à aproximadamente  $40^\circ$ .



(a) Distribuição de  $Y_f$  das instalações em Santos.



(b) Comparação de valores de  $Y_f$  para cada mês do ano nas instalações UNIFESP e P11<sup>40</sup>.

Figura 5 – Comparação entre o sistema da UNIFESP e as outras cinco instalações de Santos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 2 indica um bom desempenho do sistema FV operando na Unifesp, em comparação com as cidades de Aratiba e Iquiria. Há proximidade nos valores de  $Y_f$  e  $Y_r$ ; enquanto Santos apresenta maior  $PR$  do que a média das outras duas cidades.

<sup>40</sup> Como a UNIFESP apresenta menos de 1 ano de dados, não é possível calcular o intervalo de confiança – diferente do P11, que apresenta mais de 3 anos de dados.

Por fim, a Tabela 3 apresenta a comparação com as outras duas cidades costeiras (Delft e Stellenbosch) mas em ambientes e climas distintos do observado na área de estudo. O sistema em Santos apresenta valores elevados de  $PR$ ,  $\eta_{SYS}$  e  $T_{amb}$ ; valores intermediários de  $Y_r$ ,  $Y_f$  e  $CF$ ; e a menor perda  $L_s$  entre as três cidades.

#### 4. Conclusões

A análise detalhada da base de dados permitiu identificar as características climatológicas e ambientais típicas, assim como potenciais e desafios da região de Santos para o aproveitamento da energia solar fotovoltaica na RMBS, identificando benefícios ambientais e socioeconômicos.

A continuidade da pesquisa contempla a análise de dados observados para período de um ano completo e avaliação financeira (*payback*) da geração FV na região.

#### 5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos às equipes da Alva Engenharia e PHB e ao laboratório LABREN / INPE pelo apoio na instalação do sistema fotovoltaico completo instalado. E à equipe da Hyper Energy do Brasil pela simulação do sistema FV instalado.

#### Referências

ABSOLAR. **Energia solar atinge marca histórica e Brasil entra para grupo dos 15 países com maior geração.** 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-atinge-marca-historica-e-brasil-entra-para-grupo-dos-15-paises-com-maior-geracao/>>.

ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR.** 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>.

CETESB. **Qualar:** Sistema de informações da qualidade do ar. 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>>. Acesso em: ago. de 2020.

CUSTOMWEATHER. **Syndicated Content for complete global weather coverage.** 2021. Disponível em: <<https://customweather.com/>>.

DIAS, C. L. de A. et al. **Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil.** Renewable Energy, Elsevier, v. 114, p. 367–375, 2017.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2029** – Eficiência Energética e Geração Distribuída, Brasília. 2020.

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031:** Micro e Minigeração Distribuída Baterias. 2021. Disponível em:

<[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno\\_MMGD\\_Baterias\\_vfinal.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-591/Caderno_MMGD_Baterias_vfinal.pdf)>. Acesso em: out. de 2021.

FREITAS, P. C. de Carvalho e. Wikimedia commons. 2006. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SaoPaulo\\_RM\\_BaixadaSantista.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SaoPaulo_RM_BaixadaSantista.svg)>. Acesso em set. 2021.

FUSANO, R. H. **Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verdeda UTFPR**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

GONZALEZ, J. d. O.; MARTINS, F. R. **Performance evaluation of a PV system operating in a coastal city of the southeastern brazilian region**. In: IEEE. 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). [S.l.], 2021. p. 2446–2452.

IEA-PVPS. **Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems**. Report IEA-PVPS T13-03:2014, International Energy Agency (IEA), 2014.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil. 2021**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: jul. de 2019.

MACHADO, H. C. K.; BARBOSA, L. H. **Dados meteorológicos da Estação Silva Jardim – UNIFESP, BS.2021**. Disponível em: <<https://tempo-santos.web.app/>>. Acesso em: set. de 2021.

MODERNA, A. E. T. e. C. L. R. E. **FotoVolt**. 2020. Disponível em: <<https://www.arandanet.com.br/assets/revistas/fotovolt/2020/julho/index.php>>. Acesso em: ago. de 2020.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. ISBN978-85-17-00089-8. Acesso em: mai. de 2019.

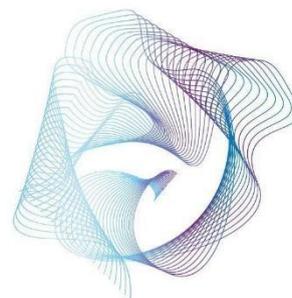
SOLARGIS. **Solar resource maps and GIS data**. World Bank Group, 2016. Disponível em: <<https://solargis.com/>>.

Solargis; ESMAP; World Bank Group. **Global Solar Atlas**. World Bank Group, 2019. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/>>.

WOYTE, A. et al. **Monitoring of photovoltaic systems: good practices and systematic analysis**. In: Proc. 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. [S.l.: s.n.], 2013. p. 3686–3694.

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## Energia e Crematística: O Papel dos Estoques Fósseis

Nilton Bispo Amado, João Marcos Mott Pavanelli

**Resumo:** Na economia ecológica alguns autores têm resgatado a distinção entre oikonomia e crematística feita por Aristóteles, numa tentativa de enfatizar a importância da materialidade biofísica e relativizar a materialidade monetária. Discursos que enfatizam os limites da produção ao atentar para a materialidade biofísica, normalmente terminam por enfatizar os aspectos normativos da agenda da sustentabilidade. Neste trabalho argumenta-se que, para além da relevância normativa, as relações entre materialidade biofísica e materialidade monetária compreendem também elementos de ordem positiva. Argumentamos que é apenas a partir da utilização sistemática dos fósseis e suas tecnologias que as condições objetivas para efetivar uma economia crematística generalizada completam-se. Os estoques energéticos fósseis tornaram possível a autonomização dos mercados, ao permitirem a separação dos ciclos produtivos em relação ao tempo e ao espaço. É apenas a partir daí que se apresentam as condições materiais para que o homo oeconomicus possa sistematicamente abstrair dos ciclos biofísicos. Ao mesmo tempo que tal abstração tem permitido aumentos sem precedentes da produção econômica, sua articulação em função de cultura individualista possessiva tem gerado níveis sem precedentes de degradação entrópica. Esta leitura das bases materiais biofísicas do capitalismo nos obriga a refletir tanto sobre o significado da Revolução Industrial quanto da transição energética ora proposta.

**Palavras chave:** Energia e Sociedade, Transição Energética, Capitalismo, *Oikos* e *Crematística*.

**Abstract:** Authors from ecological economics has rescued the distinction between oikonomics and chrematistic from Aristotle, as an attempt to emphasize the importance of the biophysical material conditions and relativize monetary material conditions. Discourses that focus on the production limits warning to the limits of the biophysical material conditions, usually overfocus on normative aspects of the sustainability agenda. This work argues the biophysical material conditions and the monetary material conditions comprehend also elements from positive order, beyond its normative relevance. We argue that only after the systematic utilization of fossils and its technology that was possible to complement and sustain the objective conditions for a generalized chrematistics. Fossil stocks made it possible markets' autonomation, by allowing the disjunction between productive cycles from time and space. Only after that, it is possible to present the material conditions for the homo oeconomicus to be able to systematically unbundle the biophysical material conditions from the monetary material conditions. At the same time that this abstraction enabled increases with no precedents in economic production, its articulation in function of the individual and possessive culture has generated unprecedented levels of entropic degradation. This reading on material biophysical basis of capitalism obliges us to reflect on both the meaning of the Industrial Revolution and on the proposed energy transition.

**Keywords:** *Energy and Society, Energy Analysis. Historical Materialism, Oikos and Chrematistics.*

## 1. Introdução

Os impactos das mudanças climáticas tornam as transições energéticas um tema cada vez mais urgente e presente nas agendas científicas. Apesar de tal esforço de alerta e quantificação dos limites seguros de exploração de recursos (ROCKSTROM, 2009; STEFFENS, 2015), as transições para fontes de fluxo (conhecidas como renováveis) ainda ocorrem em ritmo lento, ao mesmo tempo em que se avança o uso de combustíveis fósseis em termos absolutos (GERMAN, et al., 2018; IEA, 2020).

O termo transições energéticas é entendido muitas vezes de forma abrangente (SMIL, 2015; SOVACOOOL, 2017; EDOMAH et al., 2020), e neste estudo significa qualquer mudança expressiva em quantidade e qualidade da apropriação, uso e distribuição de recursos de energéticos que gere menos entropia que o anterior, ou seja, menor degradação do sistema.

O foco deste problema se dá muitas vezes em questões moralizantes, voltadas ao comportamento dos indivíduos (LEISEROWITZ et al., 2006) ou a problemas de configuração técnica que não permitiriam retornos financeiros dos projetos, tais como formulados pela economia liberal (RICARDO, 2001, MANKIW, 2018).

Neste trabalho, propõe-se alternativamente que a transição energética seja vista investigando as condições materiais biofísicas necessárias para a emergência de uma sociedade na qual os objetos necessários para satisfazer as necessidades humanas são obtidos como efeito colateral da busca por riqueza monetária. Para demonstrar a relevância de tal perspectiva, resgatamos a distinção entre *oikonomia* e *crematística* proposta por Aristóteles e apontamos o papel dos estoques para a possibilidade deste processo.

Nosso argumento tem o objetivo tanto de tornar claro o reconhecimento da especificidade da forma de produzir da sociedade contemporânea quanto compreender o papel dos recursos naturais na reprodução desta específica sociedade.

### 1.1. *Oikos versus Crematística: Condições para uma crematística generalizada*

O que é uma sociedade de mercado? A pergunta pode parecer óbvia nos tempos atuais, mas pensadores de outras épocas não pensavam assim. Por exemplo, Karl Polanyi (2000) entendia que uma sociedade com mercados e uma sociedade de mercados não eram a mesma coisa: embora mercados existam há muito tempo, apenas nas sociedades de mercados os mercados são autônomos em relação a outras esferas da vida social, tais como a política e a militar. Outro exemplo é Aristóteles (PACK, 2010), que distinguia entre *oikos* (administração das coisas da comunidade) e *crematística* (a arte de adquirir coisas). Para estes pensadores, os mercados não aparecem como uma ordem natural, mas como resultado de um desenvolvimento histórico, uma solução social e política em particular em detrimento de outras possíveis.

Apesar da importância da discussão normativa que pode emergir da leitura destes autores, que por vezes desnaturalizam as instituições de mercados (POLANYI, 2000; PACK, 2010), o que interessa neste artigo não é a discussão propriamente normativa, mas o entendimento das condições objetivas, particularmente as condições materiais biofísicas, para a existência de uma sociedade de mercados (não meramente sociedade com mercados). É neste sentido que nos será útil a distinção feita por Aristóteles entre *oikos* e *crematística*.

Aristóteles reconhecia o papel do dinheiro para dinamizar as relações sociais. Enquanto numa sociedade sem dinheiro quem produz A deve esperar que quem produz B

tenha interesse na mercadoria A, numa sociedade em que há dinheiro os produtores A e B podem relacionar-se não apenas entre si (escambo) mas com quaisquer outros membros da comunidade. No entanto, a este aspecto positivo, Aristóteles o precebia também associado à emergência de um aspecto negativo: a partir do momento que algo pode ser produzido não para satisfazer as necessidades da comunidade, mas com interesse de ganho de dinheiro, surge a possibilidade de que as relações mercantis pervertam os interesses da comunidade e os laços sociais. Aristóteles entendia então que o *oikos* (administração das coisas da comunidade) não deveria estar sujeita à *crematística* (arte de adquirir coisas, ganhar dinheiro), sob pena de que a comunidade viesse a ser destruída pelos valores mercantis.

Obviamente a visão de Aristóteles é completamente diferente da visão moderna. Mais relevante do que concordar ou discordar com Aristóteles, interessa neste artigo a seguinte pergunta: por que apenas nos últimos séculos ocorreu a generalização crematística que Aristóteles tanto repudiava? Por que o *homo oeconomicus* não surgiu antes na história da humanidade? As explicações típicas para tais perguntas geralmente enfatizam aspectos institucionais e ideais (GREIF AND MOKYR, 2017). Gostaríamos de problematizar este ponto acrescentando uma consideração de ordem material biofísica. Temos consciência do caráter polêmico do que estamos propondo, mas entendemos que é uma problematização que pode ajudar a refletir criticamente sobre o uso da biosfera como condição de possibilidade para as sociedades de mercado.

Marx (1988) enfatizou a importância da transformação do trabalho em mercadoria para a possibilidade de uma sociedade capitalista (que nós aqui denominamos crematística generalizada e que Polanyi (2000) entendia como sociedade de mercados). De fato, se o trabalho não for uma mercadoria, é difícil ver como o comerciante de Aristóteles, ou o moderno *homo oeconomicus*, possa se difundir: o comerciante estaria sujeito a comprar barato e vender mais caro, mas sem controlar o processo produtivo não poderia transformar as mercadorias que adquirisse. Sem a possibilidade de modificar da maneira que lhe aprouver as mercadorias que compra, o *homo oeconomicus* não pode ser autônomo, pois depende sempre de terceiros para direcionar os processos de produção.

Embora fundamental, a perspectiva apresentada por Marx está, na interpretação que aqui fazemos, ainda incompleta. Além do trabalho humano, a modificação das mercadorias requer também trabalho natural: por exemplo, energia precisa ser utilizada para transformar as entradas adquiridas em novos produtos, não sendo suficiente apenas o trabalho humano. Ou seja, além da capacidade de trabalho humana, que é sem dúvida fundamental, é necessária também capacidade de trabalho natural que possa ser livremente mobilizada pelo *homo oeconomicus*.

Será coincidência que apenas com a exploração dos fósseis e suas tecnologias e dispositivos que o capitalismo passou a existir plenamente? Nossa hipótese é que não: antes dos estoques fósseis, usar energia exigia necessariamente apropriar-se diretamente de território e correspondentes horas de trabalho humano. Toda energia disponível era energia de fluxo cujo uso estava diretamente ligada ao controle do território: energia dos ventos que movimentava caravelas; energia de moinhos d'água; energia da madeira proveniente das florestas, etc. Estas formas de energia não podiam ser mobilizadas sem acessar diretamente territórios. Além disso, como a disponibilidade energética de tais fontes energéticas era relativamente baixa, o aproveitamento delas exigia uso direto de horas de trabalho humano em quantidade relativamente elevada, liberando menos trabalho para outras atividades. O baixo retorno energético também inviabilizava atividades altamente intensivas em energia como transporte, o que por sua vez limitava o âmbito e amplitude das rotas comerciais.

Com a utilização dos estoques fósseis e suas tecnologias o cenário descrito acima muda completamente: a capacidade de trabalho natural disponível para o *homo oeconomicus* não está mais ligada ao território que ele controla diretamente, nem mesmo ao número de

horas dispendidas na obtenção de tal capacidade de trabalho natural. A partir deste momento, o *homo oeconomicus* pode desenvolver sua concepção de mundo sem ter de prestar contas às esferas política e militar. Consolidam-se então as condições objetivas (não meramente subjetivas) para a autonomização dos mercados.

Na perspectiva aqui aventada, a Revolução Industrial não representou meramente um processo de inovação tecnológico, mas a utilização de autonomia propiciada pelo trabalho humano e da biosfera para o pleno desenvolvimento do individualismo possessivo (MACPHERSON, 1962), característico das sociedades de mercado. Que fique claro: não se trata de dizer que a utilização dos estoques foi a causa do advento da crematística generalizada, mas de reconhecer que os estoques têm permitido desenvolver a produção econômica abstraíndo-a do tempo e do espaço. Cabe ressaltar que esta mesma abstração que aumenta a flexibilidade da produção impõe a necessidade de sincronizar socialmente o que antes estava sincronizado pelos ciclos biofísicos do planeta: uma vez que os ciclos de produção não estão mais naturalmente ligados aos ciclos biofísicos, surge a necessidade de postular regras (instituições) que façam tal sincronização. Até o momento não é claro que tal sincronização seja compatível com a vigência de uma crematística generalizada. Este artigo pretende ser tão somente uma provocação no sentido de que maiores investigações sobre as relações históricas e teóricas entre materialidade biofísica e materialidade monetária se fazem necessárias.

## **2. Resultados e discussões**

Os aspectos histórico-filosóficos que discorrem sobre a racionalidade capitalista (acumulação compulsória como lei natural inquestionável) apontam para a desconsideração dos impactos futuros dos processos produtivos, inclusive o desprezo pela realidade material não monetária. Este desacoplamento entre o sistema econômico e a realidade material deu-se graças à autonomização dos mercados, expressão das relações sociais capitalistas. Propomos aqui que é necessário incorporar na descrição da emergência da crematística generalizada não apenas o trabalho humano direto, mas também trabalho natural: estoques têm sido a base material que tem tornado possível desvincular tempo e espaço nos processos decisórios típicos do *homo economicus*. Estudos históricos precisam ser feitos no sentido de redescrever este processo a partir da Revolução Industrial, assim como é necessário avaliar as implicações teóricas para o problema da substituibilidade de recursos naturais. Não temos a pretensão neste curto artigo de aprofundar tais investigações, mas apenas de apontar a necessidade de construir redescrições que desnaturalizem os pressupostos teóricos nos quais uma sociedade de mercado está mergulhada. O entendimento de tais pressupostos provavelmente permitirá descrever de modo mais robusto e preciso a dinâmica associada às mudanças em curso.

## **3. Conclusões**

A apropriação da natureza propiciada até o momento pelos fósseis tem tornado possível a autonomização dos mercados e permitido que o *homo oeconomicus* abstraia de condições temporais, espaciais e mesmo dos ciclos biogeoquímicos nas decisões produtivas. A atual crise ambiental nos obriga a reavaliar os pressupostos teóricos associados a tais abstrações bem como redescrever o caminho pelo qual mergulhamos na trajetória desencadeada pela Revolução Industrial.

#### 4. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) (Processo 2015/03804-9), e da *Fox International Fellowship*.

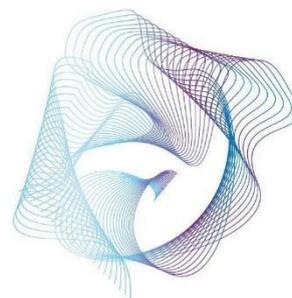
#### 5. Referências

- Carnot, S. (1872). Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*, 1, 393–457. <https://doi.org/10.24033/asens.88>
- Edomah, N., Bazilian, M., & Sovacool, B. K. (2020). Sociotechnical typologies for national energy transitions. *Environmental Research Letters*, 15(11), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abba54>
- Germán, C., González, M., Amado, N. B., & Sauer, I. L. (2016). Desenvolvimento sustentável, transição energética mundial pós-combustíveis fósseis e o pensamento político da esquerda latino-americana. In *Anais do II Simpósio Internacional Pensar e Repensar a América Latina* (Issue June 2017).
- Greif, A., & Mokyr, J. (2017). Cognitive rules, institutions, and economic growth: Douglass North and beyond. *Journal of Institutional Economics*, 13(1), 25–52. <https://doi.org/10.1017/S1744137416000370>
- IEA. (2020). *Countries & Regions - IEA*. Institutional Website. <https://www.iea.org/countries>
- Leiserowitz, A. A., Kates, R. W., & Parris, T. M. (2006). *SUSTAINABILITY VALUES, ATTITUDES, AND BEHAVIORS: A Review of Multinational and Global Trends*. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.31.102505.133552>
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2012). Marketing 3.0: as forças que estão definindo o novo marketing centrado no ser humano. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (1ª, Vol. 53, Issue 9). Elsevier. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Macpherson, C.B., 1962. *The Political Theory of Possessive Individualism*. Oxford University.
- Mankiw. (2017). Mankiw Principles of Economics. In *South-Western College Pub* (Vol. 53, Issue 8). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Marx, K. (1988). *O Capital*. Tradução do original alemão de Regis Barbosa e Flávio R. Kothe. São Paulo: Nova Cultural.

- Marx, K., & Engels, F. (1967). *The Capital*. In *A critique of political economy*. International Publishers.
- Pack, Spencer J. (2010). *Aristotle, Adam Smith and Karl Marx: On Some Fundamental Issues in 21st Century Political Economy*.
- Pavanelli, J. M. M. (2019). Meso-Institutions, Belief Systems, And Ongoing Practices: The Brazilian Case Of Thermal Electric Generation. In A. Lampis & C. Berman (Eds.), *Anais do Seminário Internacional Territórios da Energia, Mudanças Climáticas e Sustentabilidade da Macrometrópole Paulista - Resumos* (p. 89). IEE - USP.  
<http://www.iee.usp.br/?q=pt-br/notícia/anais-do-seminário-internacional>
- Pavanelli, J. M. M., Oliveira, C. E. de, & Igari, A. T. (2021). Expandindo As Variáveis Externas do IAD de Ostrom: Como Análises Históricas Institucionais Contribuem com Problemas Ambientais Complexos. *Anais Do Seminário Interdisciplinar de Sustentabilidade: Agendas Locais e Globais Da Sustentabilidade*.  
<https://drive.google.com/file/d/1crfpTFILeVQPr3EGNDdolo59RC2gGkm8/view>
- Polanyi, K., 2000. *A Grande Transformação: as origens da nossa época*. Rio de Janeiro: Ed. Campus. Tradução autorizado do idioma inglês do edição publicado por Rinehart & Company Copyright © 1944 Karl Polanyi, *The Great Transformation*.
- Ricardo, D. (1821). *From The Principles of Political Economy and Taxation* (2001st ed., Vol. 3). Batoche Books.  
<http://socserv2.socsci.mcmaster.ca/~econ/ugcm/3ll3/michels/polipart.pdf>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, *461*(7263), 472–475.  
<https://doi.org/10.1038/461472a>
- Smil, V. (2015). Energy transitions, Renewables and rational energy use: A reality check. In *OECD Observer*.
- Sovacool, B. K. (2017). The History and Politics of Energy Transitions: Comparing Contested Views and Finding Common Ground. In D. Arent, C. Arndt, M. Miller, F. Tarp, & O. Zineman (Eds.), *The Political Economy of Clean Energy Transitions* (1st ed., p. 594). Oxford University Press.
- Steffen, B. W., & Rockström, J. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*.
- York, R., & Bell, S. E. (2019). Energy transitions or additions?: Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy. *Energy Research and Social Science*, *51*(November 2018), 40–43. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.01.008>

# I SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA

25 e 26 de novembro de 2021



## O Brasil trabalha para ampliar a produção de energia renovável?

Karen Kristensen Medaglia Motta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade São Judas Tadeu. Email para contato: karenm\_kristesen@hotmail.com

### **Resumo:**

O presente artigo tem por objetivo desvendar como o Brasil busca ampliar, na atualidade, a produção de energia renovável, seja por meio de incentivos jurídicos, fiscais, financeiros, tecnológicos ou científicos. Através de relatórios, dados e pesquisas apurou-se que o Brasil caminha em direção ao aprimoramento e ao desenvolvimento de novas fontes energéticas, sejam elas renováveis ou intermitentes, porém todas menos poluentes. Contudo, a distância para o alcançar das metas estabelecidas pelos ODS ainda é vasto.

**Palavras chave:** Energia renovável. ODS. Produção. Brasil. Ampliação.

### **Abstract:**

This article aims to reveal how Brazil currently seeks to expand the production of renewable energy, whether through legal, fiscal, financial, technological or scientific incentives. Through reports, data and research it was found that Brazil is moving towards the improvement and development of new energy sources, whether renewable or intermittent, but all less polluting. However, the distance to reach of the goals established by the SDG is still vast.

## **1. Introdução**

As energias renováveis e sustentáveis foram implementadas e desenvolvidas de acordo com o conceito da imediata retornabilidade das fontes por meio da natureza, tais como as maremotriz, ondomotriz, hidrelétrica, eólica, solar e a geotermal<sup>41</sup>. Entretanto, com as mudanças climáticas, as fontes das energias renováveis tornaram-se vulneráveis tanto à escassez como aos eventos climáticos descontrolados. Por conseguinte, a princípio, é interessante mudar a nomenclatura para, quiçá, energias ambientais intermitentes.

---

<sup>41</sup> (REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007).

Assim, em relação a produção de energia sustentável, renovável ou intermitente, o Brasil está no décimo primeiro lugar do ranking mundial e é o que desponta na América Latina<sup>42</sup>. As principais fontes energéticas do Brasil são a eólica, a biomassa, a hidroelétrica, a solar e a térmica.

## 2. Metodologia

Contudo, é incerto, na atualidade, saber como o Brasil está, de fato, buscando ampliar as opções e a quantidade de energia oriunda destas e de outras matrizes. Então, o presente artigo, por meio de pesquisas e análises de dados, artigos, gráficos e trabalhos científicos, tem por objetivo tentar dirimir a seguinte indagação: O Brasil trabalha para ampliar a produção de energia renovável?

## 3. Resultados e discussões

Segundo o Ministério de Minas e Energia<sup>43</sup>, o Brasil utiliza 83% de fontes renováveis para a produção de energia. Ademais, segundo dados informados pela ANEEL<sup>44</sup>, em 2021 houve um aumento expressivo de energia eólica vendida nos leilões, em comparação com o ano de 2016, conforme demonstram os seguintes gráficos:

---

<sup>42</sup> Disponível em [https://www.ey.com/pt\\_br/agencia-ey/noticias/brasil-avanca-em-ranking-mundial-de-energia-renovavel](https://www.ey.com/pt_br/agencia-ey/noticias/brasil-avanca-em-ranking-mundial-de-energia-renovavel) Acesso em 15 de outubro de 2021.

<sup>43</sup> Disponível em <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira> Acesso em 15 de outubro de 2021

<sup>44</sup> Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjE5Ny00OTNlWlI1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSI0ImMiOjR9>

### Resultados dos Leilões por Região e Estado das Usinas

Secretaria Executiva de Leilões - SEL

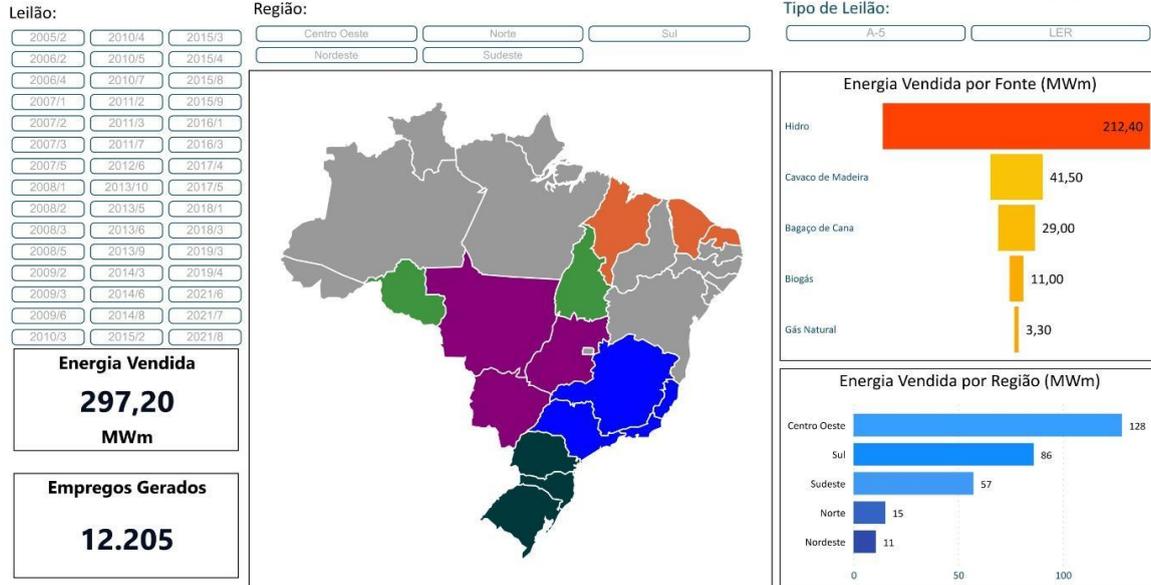


Figura 1: Venda de energia no ano de 2016.

Fonte: ANEEL (2021)

### Resultados dos Leilões por Região e Estado das Usinas

Secretaria Executiva de Leilões - SEL

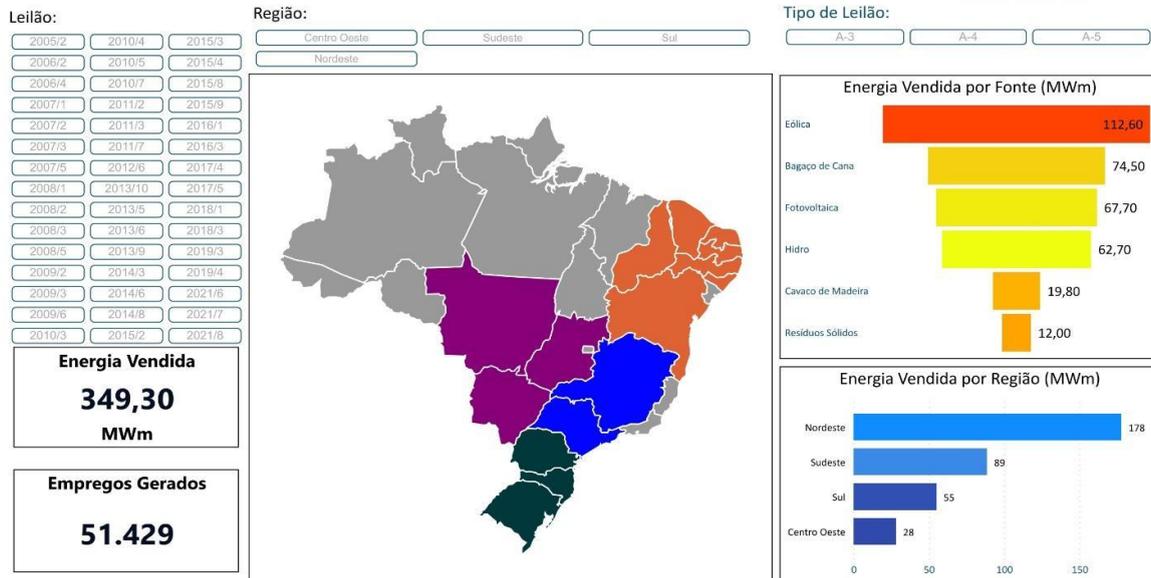
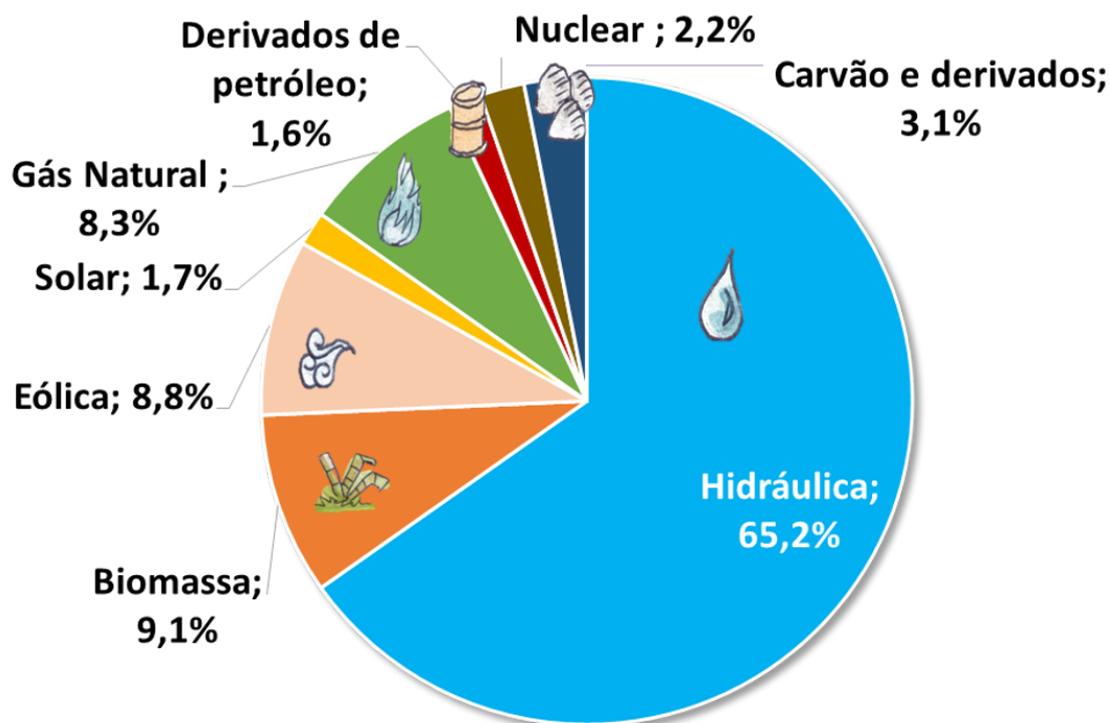


Figura 2: Venda de energia no ano de 2021.

Fonte: ANEEL (2021)

Portanto, conclui-se que a energia eólica, a fotovoltaica e a biomassa predominaram nestes leilões, havendo uma redução considerável da venda de energia advinda das hidrelétricas.

Todavia, segundo o relatório do Balanço energético nacional de 2021<sup>45</sup>, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética, as hidroelétricas permanecem como a principal fonte:



Então, pode-se concluir que os dados informados pela ANEEL apresentam um panorama sobre o mercado e os estímulos que este vem desenvolvendo, diferindo, ainda, da atual situação as quais as hidrelétricas são predominantes como fonte.

Não obstante deste cenário, há a previsão para funcionar em 2023 o primeiro laboratório<sup>46</sup> para ensaios de baterias para carros elétricos e híbridos do Brasil. Uma parceria entre o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) que visa capacitar e desenvolver tecnologias para garantir um melhor desempenho e segurança sobre as baterias.

Nessa toada, o Laboratório Nacional de Biorrenováveis do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) onde está situado o acelerador de partículas, Sirius, instalado

<sup>45</sup> Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021.

<sup>46</sup> Disponível em <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/09/brasil-vai-contar-com-laboratorio-para-testes-de-baterias-de-carros-eletricos>

em Campinas, interior de São Paulo, realiza estudos com biomassa, bem como analisa novas tecnologias para tornar mais eficiente as baterias dos carros elétricos e o armazenamento pelas células fotovoltaicas nos painéis solares<sup>47</sup>.

Nesta busca para atingir o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número sete da ONU<sup>48</sup> - garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos – o Brasil pretende manter as metas para 2050, mas segundo o Plano Nacional de Energia<sup>49</sup>, as metas para 2030 estão sendo revistas por conta da sazonalidade das energias renováveis, preços e demandas.

Cabe lembrar que diante deste cenário o qual a busca pela emissão de carbono zero é pujante, o Brasil ainda é escasso de Leis regulamentadoras suficientes e carente de um código elétrico, uma vez que novas matrizes energéticas e novos mercados, sobretudo internacionais, necessitam de diretrizes a fim de estabelecer uma segurança jurídica entre as partes, seja pelas licitações, pelos contratos, pelas compras de materiais ou até mesmo da exportação de energia.

Ademais, em 2007 foi criado o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) por meio da Lei 11.488 de 15 de junho de 2007<sup>50</sup>, em que promove incentivos para investimentos privados em novas obras de infraestrutura mediante a inexigibilidade de cobrança do PIS/Pasep e a Cofins.

Assim, a Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha tem incentivado o desenvolvimento do mercado e de negócios entre esses dois países, tal como apontou o representante do governo Alemão, Peggy Schulz<sup>51</sup>. A busca pela produção de hidrogênio verde pela Alemanha faz com que o Brasil se torne um parceiro. Há o investimento de 9 bilhões de euros para estimular a oferta de energias renováveis, pois a produção de hidrogênio verde através da eletrólise, só se tornará mais barata e acessível se utilizar essa matriz.

#### **4. Conclusões**

---

<sup>47</sup> Disponível em <http://conteudo.ebc.com.br/agencia/2020/sirius/>

<sup>48</sup> Disponível em <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>

<sup>49</sup> Disponível em [https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html#coll\\_7\\_2](https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html#coll_7_2)

<sup>50</sup> Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111488.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111488.htm)

<sup>51</sup> Disponível em <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53174094/alemanha-quer-o-brasil-como-parceiro-para-importacao-de-hidrogenio-verde>

Em suma, após esta breve análise do panorama brasileiro em relação à ampliação da produção de energias renováveis, conclui-se que há interesse para produzir novas matrizes energéticas, renováveis ou intermitentes. Mas, segundo um relatório da Airswift<sup>52</sup>, o Brasil é o quinto maior potencial de energia solar do mundo e é o sétimo no ranking mundial de produção de energia eólica, ou seja, embora o caminho esteja certo, a distância ainda é longa para ser um exemplo no uso de energia menos poluente e uma referência em exportação elétrica.

## Referências

Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021.

GOLDEMBERG, José. LUCON, Oswaldo. .REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007.

Disponível em

[https://www.ey.com/pt\\_br/agencia-ey/noticias/brasil-avanca-em-ranking-mundial-de-energia-renovavel](https://www.ey.com/pt_br/agencia-ey/noticias/brasil-avanca-em-ranking-mundial-de-energia-renovavel) Acesso em 15 de outubro de 2021.

Disponível em

<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira> Acesso em 15 de outubro de 2021

Disponível em

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjEyNy00OTNILWI1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>

Disponível em

<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/09/brasil-vai-contar-com-laboratorio-para-testes-de-baterias-de-carros-eletricos>

Disponível em <http://conteudo.ebc.com.br/agencia/2020/sirius/>

Disponível em

<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>

Disponível em [https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html#coll\\_7\\_2](https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html#coll_7_2)

Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111488.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111488.htm)

Disponível em

<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53174094/alemanha-quer-o-brasil-como-parceiro-para-importacao-de-hidrogenio-verde>

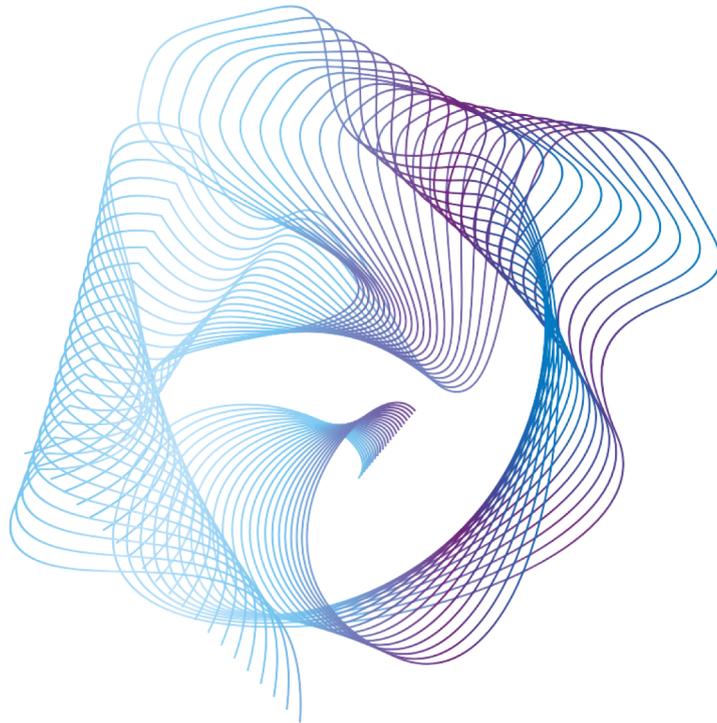
Disponível em <https://www.airswift.com/blog/renewable-energy-brazil>

---

<sup>52</sup> Disponível em <https://www.airswift.com/blog/renewable-energy-brazil>

Igor Cordeiro; Mariana Barbosa; Mariana Ciotta; Raiana Schirmer e Romário Carvalho, I Seminário Interdisciplinar de Energia: a interdisciplinaridade na pesquisa energética, São Paulo: Ed. IEE-USP, 2022

**Anais do I Seminário Interdisciplinar de Energia**  
A interdisciplinaridade na pesquisa energética



**Comissão Organizadora**

Igor Cordeiro  
Mariana Barbosa  
Mariana Ciotta  
Raiana Schirmer  
Romário Carvalho

