

Lead institution: Universidade de São Paulo	
Supervisor name: Carlos Frederico Meschini Almeida	Department: EPUSP PEA – ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS
Recipient: https://sites.usp.br/rcgi/opportunities/ Ref: 24PDR305 – Postdoctoral Fellowship Deadline for submission: December 01th, 2024	Type: Postdoctoral Period: 40 hours week Number of months: 18 Intended beginning date: January, 2025
Project title: (Portuguese and English) SOLUÇÕES DE FLEXIBILIDADE PARA AUMENTAR A CAPACIDADE DE HOSPEDAGEM DE RECURSOS DE ENERGIA DISTRIBUÍDOS ("FLEXHOSTCAP") FLEXIBLE SOLUTIONS TO INCREASE THE HOSTING CAPACITY OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES ("FLEXHOSTCAP")	
Research theme area: (Portuguese and English) O projeto de pesquisa está relacionado com a análise de inserção de recursos energéticos distribuídos (REDs) em redes de transporte de energia elétrica, envolvendo o estudo da integração de fontes de energia distribuídas, como sistemas de geração renovável (solar, eólica, biomassa, etc.), e tecnologias de armazenamento em redes de distribuição e transmissão de eletricidade. Nesse contexto, a correlação entre dados de operação do sistema de transporte de energia elétrica, corte de geração eólica e eventos climáticos é uma área complexa de pesquisa e análise que envolve a interconexão entre diversos fatores do sistema energético e as variáveis climáticas. Este estudo busca entender como eventos climáticos afetam tanto a operação da rede de transmissão quanto a produção de energia eólica, que, por sua natureza, é intermitente e dependente das condições meteorológicas. De forma mais específica, pode-se colocar: <ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema de Transporte de Energia Elétrica O sistema de transporte de energia elétrica (ou rede de transmissão) é responsável por levar a energia gerada em diferentes usinas, incluindo parques eólicos, até os centros de consumo. A operação eficiente desse sistema depende de vários fatores, incluindo: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de Transmissão: O limite técnico da rede para transportar energia sem sobrecarregar as linhas de transmissão. • Estabilidade da Rede: A necessidade de manter a frequência e a tensão dentro de limites operacionais adequados para garantir a qualidade e confiabilidade do fornecimento. • Fluxos de Carga: A variação na quantidade de energia elétrica transportada, que depende da demanda e da oferta de eletricidade em tempo real. 2. Corte de Geração Eólica (<i>Curtailment</i>) O <i>curtailment</i> (corte de geração) é um mecanismo que ocorre quando a produção de energia eólica precisa ser reduzida ou interrompida, apesar da disponibilidade de vento, por motivos técnicos ou econômicos, como: <ul style="list-style-type: none"> • Limitações na Capacidade de Transmissão: Quando a rede de transmissão não pode absorver toda a energia gerada pelos parques eólicos. • Congestionamento na Rede: Quando há muita energia sendo transmitida por uma linha específica, gerando sobrecarga e a necessidade de limitar a geração. 	

- **Baixa Demanda:** Quando a oferta de energia excede a demanda, especialmente em momentos de alta geração eólica, é necessário reduzir a produção para equilibrar o sistema.

3. Eventos Climáticos

Os eventos climáticos afetam diretamente a geração de energia eólica e a operação da rede de transmissão. Os principais fatores climáticos que influenciam a correlação são:

- **Velocidade e Direção do Vento:** A produção de energia eólica depende da intensidade do vento. Ventos muito fortes podem causar a interrupção das turbinas para evitar danos.

- **Tempestades e Fenômenos Meteorológicos Extremos:** Tempestades severas, como furacões ou tempestades de gelo, podem danificar linhas de transmissão ou resultar na desconexão de partes do sistema.

- **Variação Sazonal do Clima:** Durante certos períodos do ano, a produção eólica pode ser alta (por exemplo, em regiões com ventos sazonais), aumentando a pressão sobre a rede de transmissão.

4. Correlação entre os Fatores

A correlação entre esses três elementos pode ser estudada para entender as dinâmicas e desafios operacionais que surgem na integração da energia eólica à rede de transporte. A análise envolve a coleta de dados operacionais do sistema de transmissão, dados de geração eólica e dados climáticos. Alguns padrões emergentes incluem:

a. Impacto Climático sobre a Geração Eólica e o *Curtailement*

- **Ventos Fortes e *Curtailement*:** Quando eventos climáticos geram ventos muito fortes, a produção eólica pode aumentar drasticamente, levando ao excesso de oferta em relação à capacidade de transmissão. Nessas situações, o *curtailement* é necessário para evitar sobrecarga na rede.
- **Ventos Fracos e Baixa Geração:** Durante períodos de calma, a baixa produção eólica pode gerar desequilíbrios no sistema, forçando o operador a aumentar a geração de outras fontes, como térmicas ou hidrelétricas.
- **Eventos Extremos (tempestades):** Esses eventos podem causar desligamentos temporários de turbinas eólicas para evitar danos mecânicos, resultando em cortes repentinos de geração que impactam diretamente o fluxo de energia na rede.

b. Congestionamento de Redes de Transmissão

- **Capacidade de Absorção da Rede:** Durante períodos de alta produção eólica, especialmente em regiões com infraestrutura de transmissão limitada, as redes podem ficar congestionadas. Isso resulta em *curtailement* frequente e em uma redução da eficiência do sistema.
- **Eventos Climáticos Severos:** Tempestades podem danificar infraestruturas de transmissão (como linhas ou subestações), obrigando o sistema a operar com capacidade reduzida e levando a cortes de geração eólica mesmo em condições de vento favorável.

c. Impacto de Mudanças Climáticas

- **Alterações nos Padrões de Vento:** Mudanças climáticas de longo prazo podem alterar os padrões de vento regionais, impactando a previsibilidade da geração eólica e criando novos desafios para a operação do sistema de transmissão.
- **Maior Frequência de Eventos Extremos:** Tempestades e outros fenômenos climáticos intensos e frequentes, como secas severas ou ondas de calor, podem aumentar a vulnerabilidade do sistema elétrico e exigir uma revisão nas políticas de *curtailement* e gestão de redes.

5. Ferramentas para Estudo

A análise dessas correlações requer o uso de ferramentas avançadas de modelagem e análise de dados, como:

- **Modelos de Previsão Climática:** Modelos como o WRF (*Weather Research and Forecasting*)

podem ser usados para prever condições de vento e outros eventos climáticos, integrando essas previsões em simulações de geração eólica.

- Análise Estatística e *Machine Learning*: Técnicas de regressão, correlação cruzada, séries temporais e aprendizado de máquina são utilizadas para identificar padrões e prever o impacto dos eventos climáticos na operação da rede e nos cortes de geração eólica.
6. Desafios e Soluções
- Desafios: A principal dificuldade está em gerenciar a intermitência da energia eólica e garantir que a infraestrutura de transmissão consiga lidar com as flutuações na oferta de energia. Além disso, a imprevisibilidade dos eventos climáticos extremos aumenta a complexidade da operação do sistema.
 - Soluções: A implementação de tecnologias de redes inteligentes (*smart grids*), armazenamento de energia (baterias e sistemas hidrelétricos reversíveis) e algoritmos avançados de previsão climática e otimização do *curtailment* podem ajudar a mitigar os impactos climáticos e melhorar a eficiência da rede.

The research project is related to the analysis of the insertion of distributed energy resources (DERs) in electricity transmission networks, involving the study of the integration of distributed energy sources, such as renewable generation systems (solar, wind, biomass, etc.), and storage technologies in electricity distribution and transmission networks. In this context, the correlation between data on the operation of the electricity transmission system, wind generation outages and weather events is a complex area of research and analysis that involves the interconnection between several factors of the energy system and climate variables. This study seeks to understand how weather events affect both the operation of the transmission network and the production of wind energy, which, by its nature, is intermittent and dependent on weather conditions. More specifically, the following can be stated:

1. Electricity Transmission System

The electricity transmission system (or transmission network) is responsible for taking the energy generated in different plants, including wind farms, to the consumption centers. The efficient operation of this system depends on several factors, including:

- Transmission Capacity: The technical limit of the grid to transport energy without overloading the transmission lines.
- Grid Stability: The need to maintain frequency and voltage within adequate operational limits to ensure the quality and reliability of supply.
- Load Flows: The variation in the amount of electrical energy transported, which depends on the demand and supply of electricity in real time.

2. Wind Generation Curtailment

Curtailment is a mechanism that occurs when wind energy production needs to be reduced or interrupted, despite the availability of wind, for technical or economic reasons, such as:

- Transmission Capacity Limitations: When the transmission grid cannot absorb all the energy generated by wind farms.
- Grid Congestion: When there is too much energy being transmitted through a specific line, generating overload and the need to limit generation.
- Low Demand: When the energy supply exceeds demand, especially during periods of high wind generation, it is necessary to reduce production to balance the system.

3. Weather Events

Weather events directly affect wind power generation and the operation of the transmission grid. The main weather factors that influence the correlation are:

- Wind Speed and Direction: Wind power production depends on wind intensity. Very strong winds can cause turbines to be shut down to prevent damage.

- Storms and Extreme Weather Events: Severe storms, such as hurricanes or ice storms, can damage transmission lines or result in parts of the system being disconnected.

- Seasonal Weather Variation: During certain periods of the year, wind production can be high (for example, in regions with seasonal winds), increasing the pressure on the transmission grid.

4. Correlation between Factors

The correlation between these three elements can be studied to understand the dynamics and operational challenges that arise in the integration of wind energy into the transmission grid. The analysis involves collecting operational data from the transmission system, wind generation data, and weather data. Some emerging patterns include:

a. Climate Impact on Wind Generation and Curtailment

- High Winds and Curtailment: When weather events generate very strong winds, wind production can increase dramatically, leading to excess supply relative to transmission capacity. In these situations, curtailment is necessary to avoid overloading the grid.
- Low Winds and Low Generation: During calm periods, low wind production can generate imbalances in the system, forcing the operator to increase generation from other sources, such as thermal or hydroelectric.
- Extreme Events (storms): These events can cause temporary shutdowns of wind turbines to avoid mechanical damage, resulting in sudden generation cuts that directly impact the flow of energy in the grid.

b. Transmission Grid Congestion

- Grid Absorption Capacity: During periods of high wind production, especially in regions with limited transmission infrastructure, grids can become congested. This results in frequent curtailment and reduced system efficiency.
- Severe Weather Events: Storms can damage transmission infrastructure (such as lines or substations), forcing the system to operate at reduced capacity and leading to wind generation outages even in favorable wind conditions.

c. Impact of Climate Change

- Changes in Wind Patterns: Long-term climate change can alter regional wind patterns, impacting the predictability of wind generation and creating new challenges for transmission system operations.
- Increased Frequency of Extreme Events: Storms and other intense and frequent weather events, such as severe droughts or heat waves, can increase the vulnerability of the power system and require a review of curtailment policies and network management.

5. Study Tools

The analysis of these correlations requires the use of advanced modeling and data analysis tools, such as:

- Climate Forecasting Models: Models such as WRF (Weather Research and Forecasting) can be used to predict wind conditions and other weather events, integrating these predictions into wind generation simulations.
- Statistical Analysis and Machine Learning: Regression, cross-correlation, time series and machine learning techniques are used to identify patterns and predict the impact of weather events on grid operation and wind generation outages.

6. Challenges and Solutions

- Challenges: The main difficulty lies in managing the intermittent of wind energy and ensuring that the transmission infrastructure can cope with fluctuations in energy supply. In addition, the unpredictability of extreme weather events increases the complexity of system operation.
- Solutions: The implementation of smart grid technologies, energy storage (batteries and reversible hydroelectric systems) and advanced climate forecasting and curtailment optimization algorithms can help mitigate climate impacts and improve grid efficiency.

Abstract (Portuguese and English)

O candidato irá colaborar com os pesquisadores do projeto FLEXHOSTCAP da TOTAL ENERGIES, junto ao Centro de Pesquisa para a Inovação de Gases de Efeito Estufa da POLI-USP na Universidade de São Paulo. O presente projeto é motivado porque a inserção de REDs em redes de transporte de energia elétrica é um campo promissor que alia inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e eficiência energética. Nesse contexto, a correlação entre os dados de operação do sistema de transporte de energia elétrica, o *curtailment* da geração eólica e os eventos climáticos é uma área de grande importância para a gestão de sistemas de energia intermitente. Entender essas interações é fundamental para aumentar a resiliência da rede elétrica, melhorar a integração de fontes renováveis e desenvolver estratégias que minimizem os impactos das variações climáticas e operacionais.

The candidate will collaborate with researchers from the FLEXHOSTCAP project of TOTAL ENERGIES, together with the Center for Research on Greenhouse Gases Innovation at POLI-USP at the University of São Paulo. This project is motivated by the fact that the insertion of DERs in electricity transmission grids is a promising field that combines technological innovation, environmental sustainability and energy efficiency. In this context, the correlation between the operation data of the electricity transmission system, the curtailment of wind generation and climate events is an area of great importance for the management of intermittent energy systems. Understanding these interactions is essential to increase the resilience of the electricity grid, improve the integration of renewable sources and develop strategies that minimize the impacts of climate and operational variations.

Description (Portuguese and English)

O candidato contribuirá alinhado aos seguintes objetivos do projeto:

1. Analisar cenários em regiões que enfrentam frequentemente o corte de geração eólica, identificando causas recorrentes, tecnologias usadas e políticas implementadas.
2. Coletar dados históricos de operação de parques eólicos, incluindo medições de geração, níveis de corte de geração, e dados de transmissão elétrica (carga, fluxo de potência, tensões e frequências).
3. Obter séries temporais de dados meteorológicos (velocidade e direção do vento, temperatura, pressão atmosférica, etc.) em regiões de estudo, correlacionando-os com os eventos de *curtailment*.
4. Criar uma linha temporal e geográfica dos eventos de *curtailment*, associando-os a condições operacionais da rede e a eventos climáticos extremos ou de alta intermitência.
5. Analisar o impacto de políticas tarifárias e incentivos regulatórios no *curtailment*, investigando se há incentivos que possam reduzir ou aumentar o corte de geração e como políticas públicas podem ser ajustadas.
6. Avaliar o custo-benefício de diferentes soluções técnicas e regulatórias propostas para mitigar o *curtailment*, considerando tanto os custos de implementação quanto os ganhos potenciais com a redução de perdas de geração.
7. Desenvolver modelos preditivos para prever quando e onde o *curtailment* pode ocorrer, com base em dados operacionais e climáticos, usando ferramentas de machine learning e análise de séries temporais.

The candidate will contribute with the following project objectives:

1. Analyze scenarios in regions that frequently face wind generation curtailment, identifying recurring causes, technologies used, and policies implemented.

2. Collect historical data on wind farm operations, including generation measurements, generation curtailment levels, and electrical transmission data (load, power flow, voltages, and frequencies).
3. Obtain time series of meteorological data (wind speed and direction, temperature, atmospheric pressure, etc.) in study regions, correlating them with curtailment events.
4. Create a temporal and geographic timeline of curtailment events, associating them with grid operational conditions and extreme or high-intermittency weather events.
5. Analyze the impact of tariff policies and regulatory incentives on curtailment, investigating whether there are incentives that can reduce or increase generation curtailment and how public policies can be adjusted.
6. Assess the cost-benefit of different technical and regulatory solutions proposed to mitigate curtailment, considering both implementation costs and potential gains from reducing generation losses.
7. Develop predictive models to predict when and where curtailment may occur, based on operational and climate data, using machine learning tools and time series analysis.

Requirements to fill the position. (Ex: specific experience, minimum or maximum years after concluding the course) (Portuguese and English)

Este projeto é adequado para um candidato altamente motivado e proficiência em inglês. É fundamental que o candidato tenha formação sólida em engenharia elétrica ou energética, ou ciência de dados, ou economia de energia. Especializações em sustentabilidade energética, política energética, análise de mercado de energia ou modelagem climática são altamente desejáveis. O pesquisador trabalhará com ferramentas de simulação do mercado de energia (por exemplo, o SDDP, da PSR) para avaliar cenários de oferta e demanda sob diferentes condições climáticas. Proficiência em análise de grandes volumes de dados climáticos e de mercado, utilizando ferramentas como Python, R, Matlab ou Excel Avançado é necessário.

This project is suitable for a highly motivated candidate with proficiency in English. It is essential that the candidate has a solid background in electrical or energy engineering, or atmospheric sciences or meteorology, or energy economics. Specializations in energy sustainability, energy policy, energy market analysis, or climate modeling are highly desirable. The researcher will work with energy market simulation tools (e.g., PSR's SDDP) to simulate supply and demand scenarios under different climate conditions. Proficiency in analyzing large volumes of climate and market data, using tools such as Python, R, Matlab, or Advanced Excel is required.

Funding Notes: This post-doctoral research assistantship is funded by FUSP. The assistantship will cover a standard maintenance stipend of R\$ 9.500,00 per month. the candidate will also have access to all services offered by USP (sports, cultural activities, library, student housing, health service, subsidized food service, etc.).

Work place: INOVA POWER - Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 370 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-020



Documents/Information to be Sent:

Ref: 24PDR305

- 1) Access the link <https://sites.usp.br/rcgi/opportunities/>
- 2) Find the Position Ref: 24PDR305
- 3) Click on Application to apply

Deadline: December 01th, 2024

In case you have any question, please write to rcgi.opportunities@usp.br