



# Estudo dos Supra-harmônicos Inseridos por Parques Eólicos em Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica

**Benhur Zolett** – Estudante de Engenharia de Energia, Autor.  
**Dr. Roberto Chouhy Leborgne** – Professor Orientador.

## Introdução

Esse projeto de pesquisa tem como objetivo o estudo das distorções harmônicas em alta frequência, comumente citadas na literatura como **supra-harmônicos**, nos sistemas de transmissão de energia elétrica causadas pela geração de **energia eólica**. Essas distorções são fruto da cadeia de conversão de energia presente nesses sistemas, a qual é baseada em **componentes não-lineares** com elevada frequência de comutação, principais emissores desses tipos de distorção harmônica. Nesse sentido, esse estudo avalia a inserção e a propagação de supra-harmônicos no **sistema de transmissão** de energia elétrica do **Rio Grande do Sul**, provenientes da geração de energia eólica na microrregião de Coxilhas de Santana. Os resultados são obtidos por meio de simulação numérica utilizando a plataforma MATLAB Simulink™.

## Contexto

### Microrregião de Coxilhas de Santana;

Localizada no oeste do estado do Rio Grande do Sul, como indicado na Fig. 1. Os principais municípios localizados nessa microrregião são: Uruguaiana, Santana do Livramento, Alegrete e Quaraí.

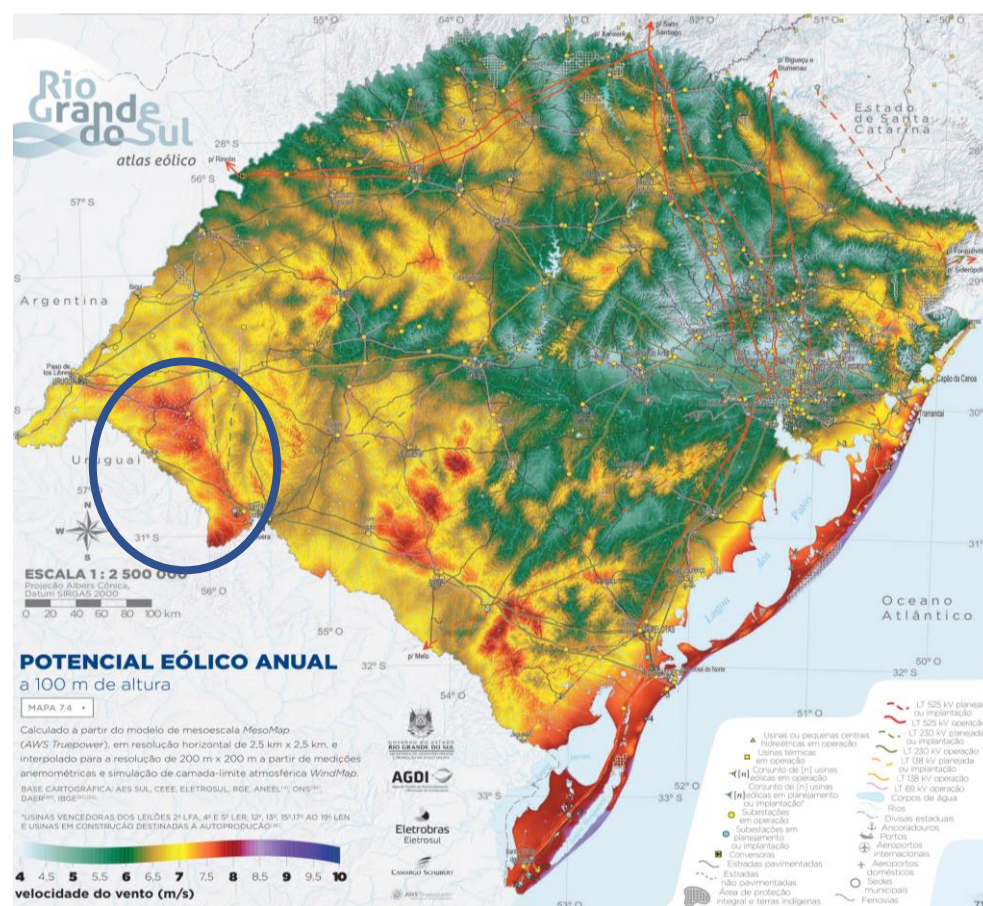


Fig. 1 – Mapa do Potencial Eólico Anual do Rio Grande do Sul para ventos a altura de 100m. Indicação em azul da microrregião de Coxilhas de Santana. Fonte [1].

**Principais Características:**  
 Potencial Eólico: 23 GW\* [1];

Interconexões ao Sistema Interligado Nacional (SIN): 4 Subestações com linhas de transmissão de 230 kV.

Potência Instalada atual: 163,2 MW [2];

\*A 100m de altura com ventos de 7m/s;

## Tecnologia Empregada;

Dois terços dos aerogeradores são Geradores Síncronos a Imãs Permanentes (PMSG). A Fig. 2 esquematiza a cadeia de conversão de energia realizada por esse tipo de aerogerador;

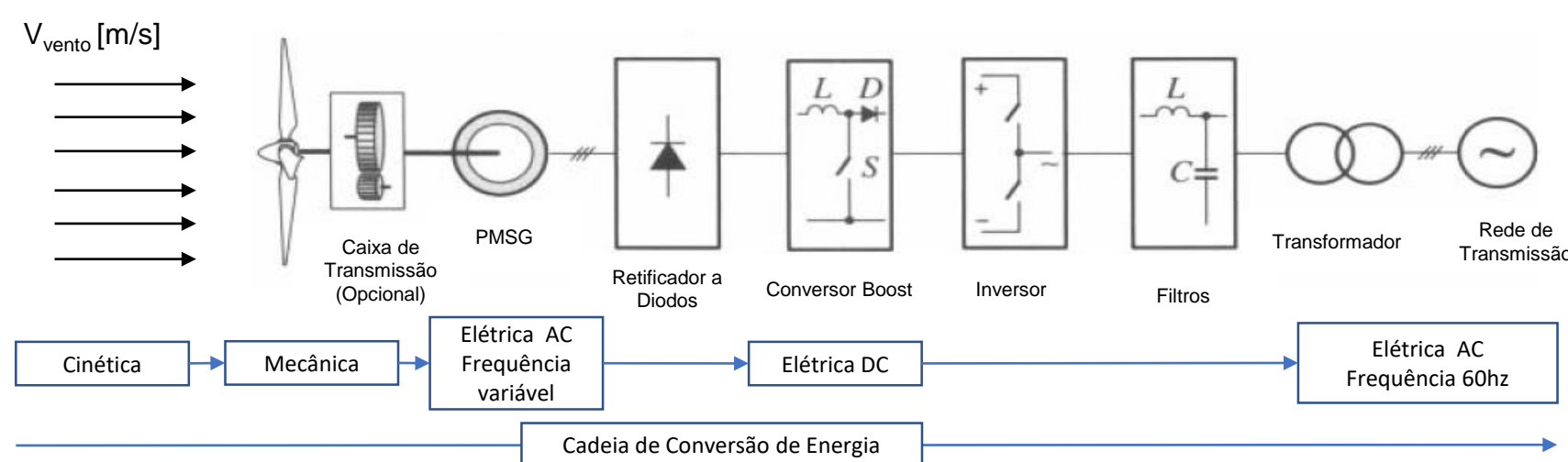


Fig. 2 – Esquematização da cadeia de conversão de energia de um aerogerador a imãs permanentes;

## Inversores – A Origem dos Supra-harmônicos

Os inversores usam elementos comutadores de alta frequência de comutação (IGBTs e MOSFETs) para sintetizar uma tensão sinusoidal a 60Hz a partir de uma tensão constante (Fig. 3). Os elementos comutadores introduzem componentes de tensão em alta frequência no sistema, os quais são chamados de Supra-Harmônicos e podem ser observados na Fig. 4.;

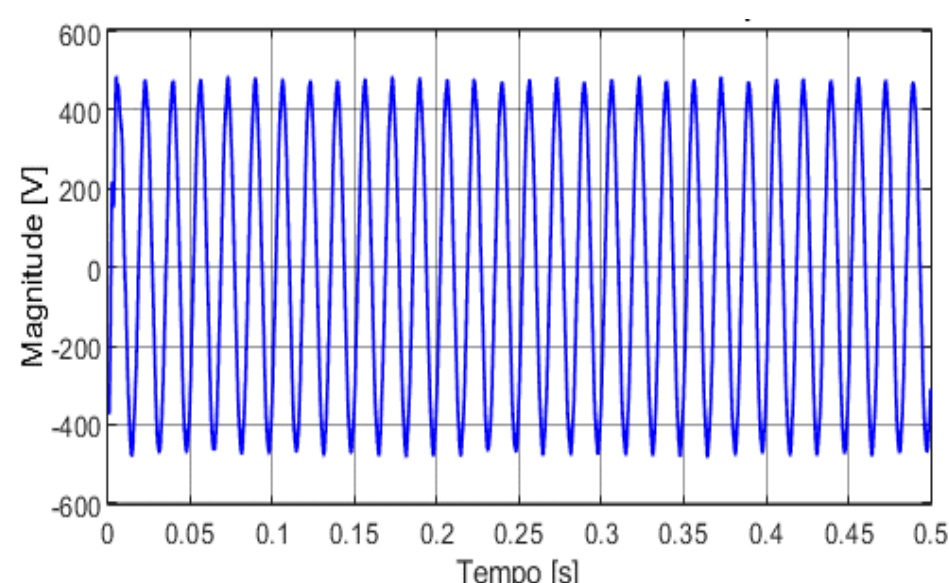


Fig. 3 – Tensão sinusoidal a 60Hz sintetizada pelo inversor;

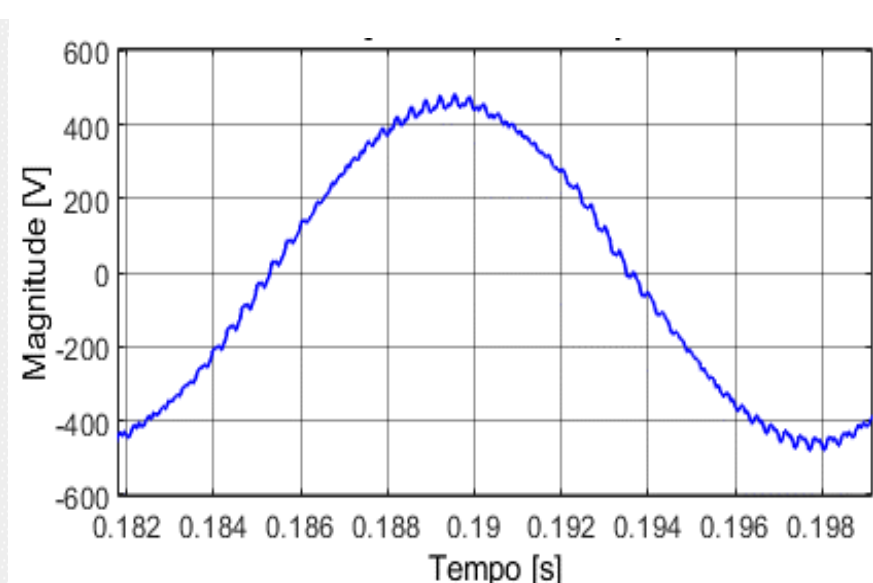


Fig. 4 – Ampliação da tensão sintetizada pelo inversor em torno de 0,19 segundos.;

## Metodologia

### Modelização do Sistema de Transmissão do Rio Grande do Sul (Fig. 5)

- Linhas de Transmissão
- Transformadores;
- Geradores;
- Cargas;
- Topologia;

**Modelo de Parque Eólico**  
 Modelo Equivalente (90 MW);  
 45 Aerogeradores PMSG;

### Simulações

Realizadas com o Software MATLAB Simulink™. Solução no domínio tempo discreto com tempo de discretização de  $2 \times 10^{-6}$  segundos.

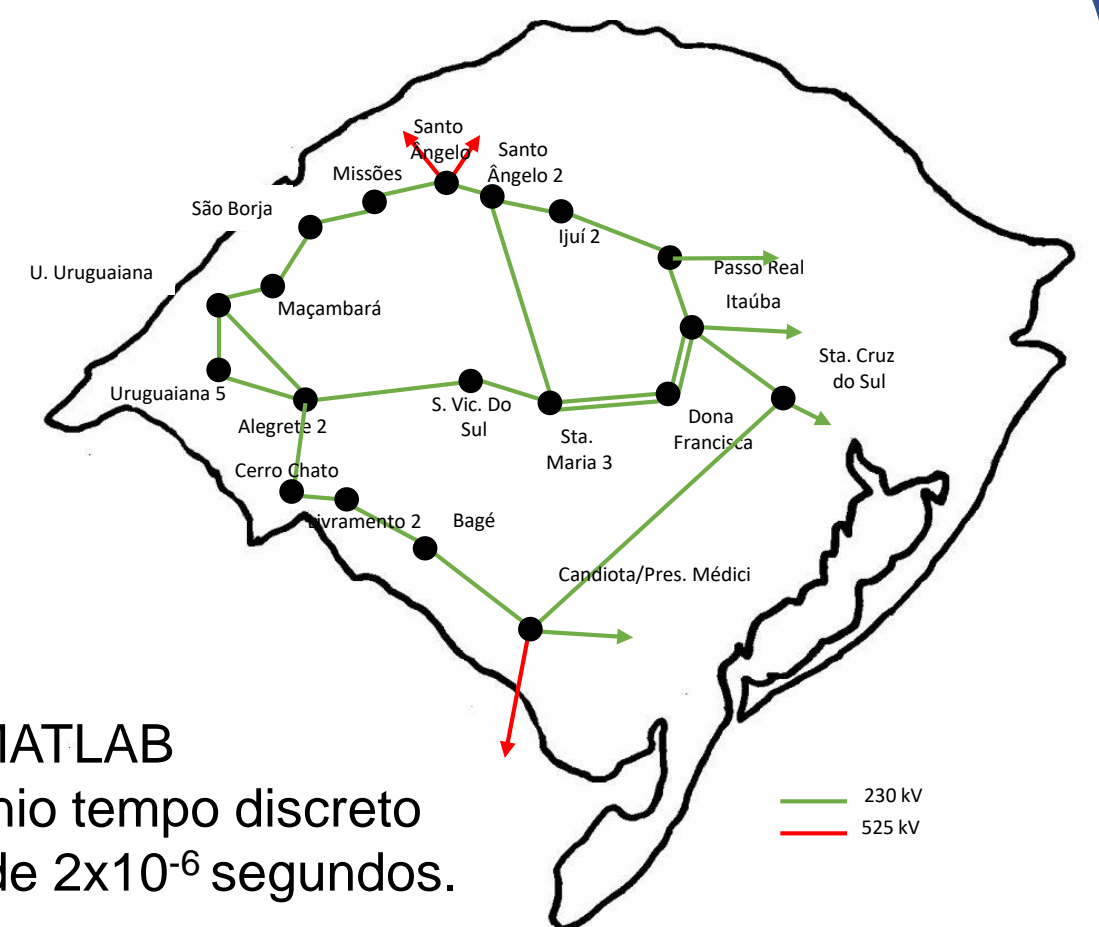


Fig. 5 – Sistema de transmissão modelado.

### Análise – Total Harmonic Distortion (THD)

Indicador de qualidade de energia elétrica que compara a potência da soma dos harmônicos presentes no sinal com a potência da componente fundamental a 60 Hz. É utilizado para quantificar a distorção total presente no sistema.

## Resultados

A Fig. 6 mostra a presença de harmônicos no ponto de conexão do parque eólico com o sistema de transmissão e a Fig. 7 evidencia a propagação dessas distorções para outros pontos do sistema.

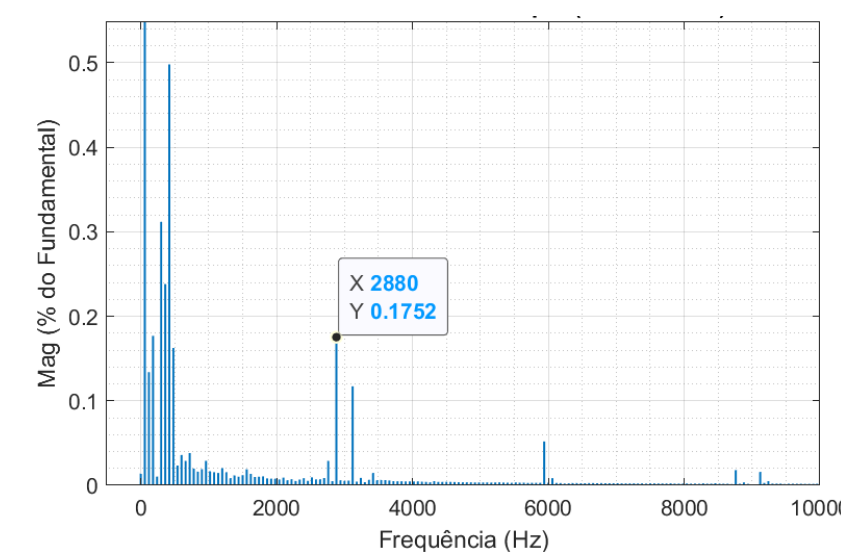


Fig. 6 – FFT da tensão no ponto de conexão do parque eólico. THD = 0,73%.

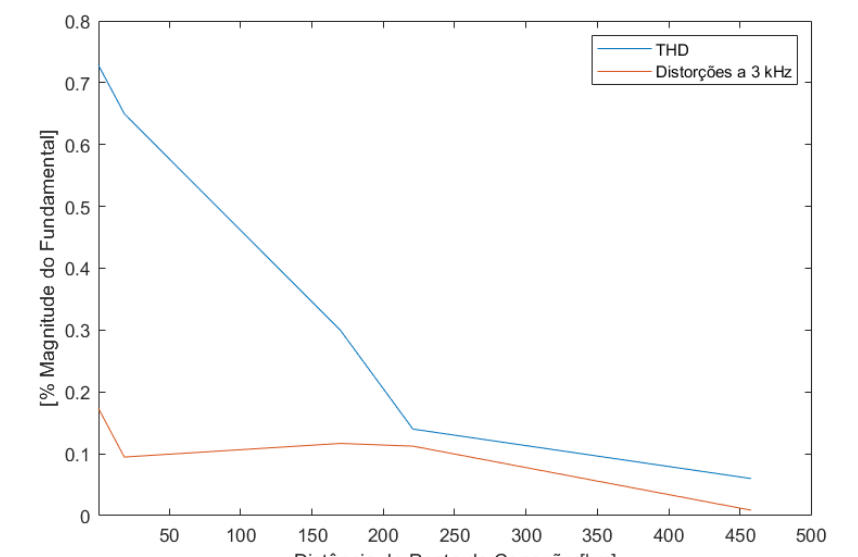


Fig. 7 – Propagação dos harmônicos no sistema de transmissão do Rio Grande do Sul.

Os resultados mostram a presença de harmônicos de baixa e de alta frequência que podem penetrar por quilômetros no sistema de transmissão. No entanto, a propagação dos harmônicos se dá de maneiras distintas, sendo que os harmônicos de alta frequência podem se propagar por maiores distâncias com atenuação mais branda.

## Conclusões

Fica evidente que os sistemas de geração de energia eólica utilizados no caso estudado introduzem harmônicos de alta frequência no sistema de transmissão ao qual estão conectados. Essas distorções são capazes de se propagar pelo sistema e atingirem pontos a centenas de quilômetros de distância do ponto de conexão do parque eólico. É importante, pois, estudar com maior atenção as possíveis consequências dessas distorções e como evitar a sua inserção e propagação no sistema de transmissão.

## Referências

- [1] “Atlas Eólico: Rio Grande do Sul”, Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2014.
- [2] “Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do SIN”, Operador Nacional do Sistema Elétrico. [Online]. Disponível em: [sindat.ons.org.br](http://sindat.ons.org.br).