

## ESTUDO DE CASO – RESOLUÇÃO DE FALHAS EM AEROGERADORES ADVINDAS DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE ALTA FREQUÊNCIA

Arthur Fernando Bonelli<sup>1</sup>, Pedro Augustho Biasuz Block<sup>1</sup>, Ivan Nunes Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MAB Engenharia, <sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia

[arthur.bonelli@mab-engenharia.com](mailto:arthur.bonelli@mab-engenharia.com), [pedro.block@mab-engenharia.com](mailto:pedro.block@mab-engenharia.com), [ivan@ufu.br](mailto:ivan@ufu.br)

### RESUMO

A necessidade da mudança da matriz energética mundial para uma matriz com baixa emissão de carbono já representa um paradigma inquestionável para a comunidade científica, para o setor produtivo, para a comunidade civil e para os governantes de uma forma geral. A geração eólica e a solar são as principais engrenagens desta transição energética, juntamente com sistemas de armazenamento de energia. Todavia, do ponto de vista de interfaceamento com a rede elétrica, muitos desafios ainda se fazem presentes, tais como questões vinculadas à intermitência e à qualidade da energia elétrica. No tocante à qualidade da energia elétrica, as distorções harmônicas têm sido o principal problema investigado na atualidade. E neste contexto, o presente trabalho pretende apresentar um estudo de caso real de resolução de problema de falhas em aerogeradores de um parque eólico, destacando as causas averiguadas, as medições feitas, a modelagem realizada e as soluções propostas.

#### Palavras-chaves:

Energia eólica; filtro harmônico; qualidade de energia elétrica; supraharmônico.

### ABSTRACT

The need to change the world's energy matrix to one with low carbon emissions already represents an unquestionable paradigm for the scientific community, for the productive sector, for the civil community and for governments in general. Wind and solar generation are the main gears of this energy transition, along with energy storage systems. However, from the point of view of interfacing with the electrical network, many challenges are still present, such as issues related to the intermittency and power quality. Regarding power quality, harmonic distortions have been the main problem currently being investigated. And in this context, the present work intends to present a real case study of solving the problem in wind turbines failures of a wind farm, highlighting the investigated causes, the measurements taken, the modeling carried out, and the proposed solutions.

#### Keywords:

harmonic filter; power quality; supraharmônico; wind energy.

## 1. INTRODUÇÃO

As fontes de energia renováveis estão a cada dia ganhando mais espaço na matriz energética mundial. Em particular no Brasil, a energia eólica e solar tem grande destaque. A eólica já está com 13,39% da

matriz energética. Já a energia solar fotovoltaica encontra-se em pleno desenvolvimento e ganhando espaço com empreendimentos de grande porte entrando em operação e já soma 4,97% da matriz energética (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2023).

Devido a características intrínsecas à fonte primária destas energias, no caso o vento e a radiação solar, há necessidade de trabalhar com tecnologias que possam compatibilizar a energia gerada nestas fontes com os requisitos de conexão do sistema elétrico. Via de regra, estas conexões são realizadas por conversores de frequência, os quais sincronizam a energia gerada com a tensão e a frequência da rede elétrica, otimizando, também, seu rastreamento de máxima potência de extração (BOSE, B.K., 2013).

Todavia, estes conversores possuem, dentre outros efeitos colaterais, a geração de distorções harmônicas de tensão e corrente (ARRILAGA, J., WATSON, B.R., 2004). Assim, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) solicita que os novos agentes acessantes ao Sistema Interligado Nacional (SIN) realizem estudos para analisar o impacto do empreendimento no sistema elétrico brasileiro.

A Norma Técnica 009/2016 – Rev.03 do ONS (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2019) define as regras para realizações dos estudos em parques eólicos e fazendas solares. Por sua vez, o Submódulo 2.9 dos Procedimentos de Rede do ONS (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2020) apresenta os valores de distorções harmônicas de tensão admissíveis.

No caso em que os resultados dos estudos, vinculados ao acesso de complexos eólicos ou solares, apresentarem valores de distorções harmônicas acima dos limites regulatórios, tem-se a necessidade de implementação de medidas mitigatórias, as quais podem ser compostas por filtros harmônicos passivos e/ou ativos (DUGAN, R.C., MCGRANAGHAN, M.F., SANTOSO, S., BEATY, H.W., 2002).

Ademais, tais complexos são obrigados a ter capacidade de fornecimento de potência reativa para de modo a ser capaz de manter seu fator de potência no intervalo entre 0,95 capacitivo e 0,95 indutivo. Detalhes desta exigência estão no Submódulo 2.10 dos Procedimentos de Rede do ONS (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2021b).

Todas estas análises, distorção harmônica e capacidade de fornecimento de reativo, são realizadas com referência no bay de conexão do complexo com o SIN, ou seja, no Ponto de Acoplamento Comum (PAC). Todavia, como estes pontos de conexão possuem elevados níveis de tensão, de 69 kV a 500 kV, comumente as soluções são implementadas nos barramentos de 34,5 kV da subestação coletora, tendo em vista a redução de custo. Ou seja, todas as análises para os estudos do ONS são feitas com referência em um barramento que não é, via de regra, o local de instalação das soluções.

Complementarmente, deve-se destacar que os complexos de energia renováveis possuem, em geral, características que propiciam o aumento da ocorrência de ressonâncias harmônicas, quais sejam:

- Os geradores são providos de conversores de frequência que produzem correntes harmônicas sendo estas, muitas vezes, em ordens não convencionais às existentes no sistema elétrico;
- Os alimentadores são, em grande parte, constituídos por cabos blindados em 34,5 kV, os quais possuem valores de capacitâncias relativamente altos;
- É comum a existência de bancos de capacitores e filtros harmônicos com estágios, instalados em barramentos compartilhados.

Diante do exposto acima, se torna de suma importância realizar avaliações de ressonâncias harmônicas quando das entradas dos bancos de capacitores e filtros harmônicos nos barramentos de média tensão, os quais comumente possuem tensão de 34,5 kV (34,5 kV). Todavia, como esta prática não é comum ao setor, já existem casos de problemas, advindos da instalação e operação destes equipamentos, os quais vão desde desligamentos do complexo até danos severos em equipamentos da subestação coletora, alimentadores e aerogeradores. Esses problemas poderiam ser evitados se houvessem um estudo prévio à implementação da solução de compensação de reativos e distorção harmônica. O artigo (BLOCK, P.A.B, BONELLI, A.F., BONELLI, M.L., 2022) apresenta um caso real de um complexo eólico de grande porte em que, caso a solução padrão fosse instalada, ou seja, fossem analisados apenas o impacto no PAC, conforme exigência do ONS, haveria grande possibilidade de ressonância nos barramentos de 34,5 kV com potenciais danos aos equipamentos elétricos da planta de geração eólica.

Dentro do contexto supradito, o presente artigo vem apresentar outro estudo de caso de queima de equipamentos dos aerogeradores em campo. Diversos aerogeradores de um específico circuito do parque tinham seus equipamentos dos serviços auxiliares constantemente queimando, acarretando custos

extremamente altos para substituição dos equipamentos e consideráveis perdas de geração por paradas dos aerogeradores.

Após uma investigação minuciosa em campo com a realização de diversas medições e simulações computacionais, foi possível identificar a raiz do problema e projetar uma solução para resolução deste.

## 2. O COMPLEXO DE GERAÇÃO EÓLICA E OS PROBLEMAS DE QUEIMA DE COMPONENTES

O citado complexo de geração eólica se situa na região nordeste do Brasil e possui aerogeradores tipo *Double-Fed Induction Generator* (DFIG). Assim, estes aerogeradores possuem máquina de indução com o estator acoplado diretamente à rede elétrica e rotor conectado à rede por meio de um conversor de frequência *back-to-back*.

Em relação aos fenômenos de falhas de equipamentos relatadas, estas se manifestaram na forma de queima de componentes que perfazem o sistema elétrico de controle, levando a interrupções do processo de geração de energia de distintas máquinas, em diversas ocasiões, o que levou consideravelmente os indicadores de indisponibilidade de máquina no complexo eólico em questão. Tais equipamentos eletrônicos são alimentados, neste tipo de aerogerador, através do terciário do transformador de conexão da máquina.

Neste contexto, vale ressaltar que houve, em um primeiro momento, algumas tentativas de se solucionar o problema, incluindo a contratação de empresas consultoras brasileiras e europeias. Assim, os trabalhos apresentados por tais empresas indicaram a presença de elevados níveis de distorções nas tensões em distintos pontos do complexo, sem que houvesse, todavia, uma avaliação conclusiva da interação entre as grandezas medidas e os problemas manifestados. Nesse sentido, foi apenas esclarecido que, de fato, havia problemas de qualidade de energia elétrica na rede, os quais poderiam justificar as queimas, até então, manifestadas.

Diante do exposto acima, a MAB Engenharia foi contratada para realizar uma análise criteriosa dos fenômenos que seriam responsáveis pelos fatos ocorridos e apresentar uma solução para tais distúrbios. Assim, foram realizadas diversas medições e análises em vários pontos do citado complexo, bem como a realização de simulações computacionais. Os serviços apresentados foram executados pela equipe da MAB Engenharia em parceria com a equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Uberlândia.

Por fim, foram apresentadas distintas soluções a serem implementadas para realização da mitigação dos problemas, as quais foram embasadas em estudos avançados envolvendo modelagens detalhadas da máquina, análises de interações harmônicas, oscilografias em campo e validação dos modelos e de soluções.

## 3. MEDIÇÕES DE CAMPO

Para realização das medições em campo foram utilizados analisadores de qualidade de energia elétrica classe A sincronizados via GPS e osciloscópios para análise de harmônicos de alta frequência (acima de 3 kHz). Assim, foram realizadas diversas medições em paralelo, as quais abordaram os seguintes pontos:

- Barramento de MT da subestação coletora;
- 07 locais distintos pertencentes a um aerogerador do alimentador mais problemático;
- 07 locais distintos pertencentes a um aerogerador do alimentador mais imune ao problema.

Durante as medições foram realizados diversos testes e investigações, como procedimento de energização de desenergização dos aerogeradores e do banco de capacitores da subestação coletora, bem como análise de circuito de malha de aterramento.

Com o decorrer das medições e avaliações, foram verificadas distorções harmônicas de altas frequências, sempre relacionadas a 2 kHz e seus múltiplos. Ou seja, 2 kHz, 4 kHz, 6 kHz e assim sucessivamente.

Estes harmônicos de alta frequências são comumente conhecidos, na literatura científica, como supra-harmônicos (RONNBERG, S., BOLLEN, M.H.J., LARSSON, A., LUNDMARK, M., 2014).

Um ponto importante de salientar é que as distorções harmônicas variavam muito a intensidade e ordem predominante dependendo do local e do momento da medição. Assim, em muitos locais, as maiores distorções estavam na ordem de 4 kHz, frequência esta em que os analisadores de qualidade de energia elétrica classe A padrão não conseguem mensurar, dificultando a busca pelo problema por meio do emprego de equipamentos convencionais de medição.

### 3.1 Medições na Subestação Coletora

Em relação às medições no barramento da média tensão da subestação coletora, têm-se, nas Figuras 1 e 2, a apresentação da oscilografia e o espectro harmônico da tensão, respectivamente. Estas medições evidenciam que as frequências de baixa ordem se apresentam em proporções bastante reduzidas, fato este que determina o pleno cumprimento os valores esperados pelos Procedimentos de Rede do ONS. Por outro lado, embora em proporções não tão elevadas, constata-se a presença de um conjunto de tensões harmônicas, com valores acima daqueles encontrados para as baixas frequências, cujos valores máximos se apresentam em torno de 1,5% e em frequências nas imediações de 4 kHz.

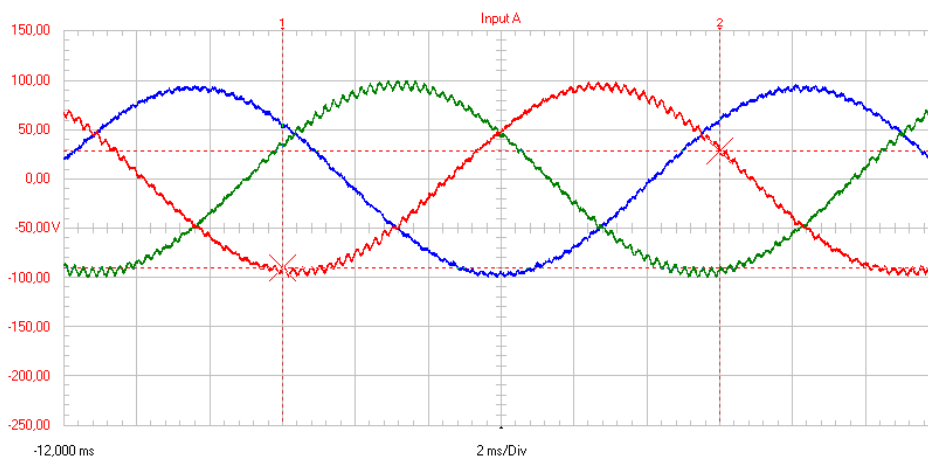


Figura 1 – Oscilografias das tensões trifásicas na MT da SE Coletora do Parque Eólico.

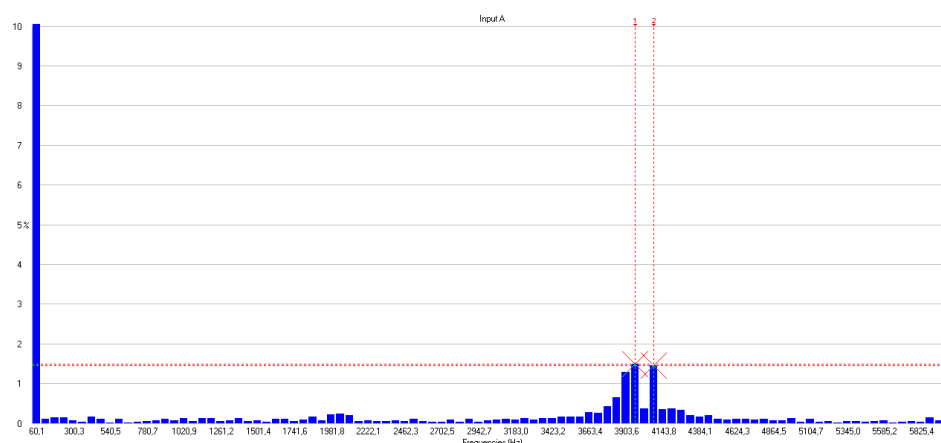


Figura 2 – Espectro harmônico da fase A na MT da SE Coletora do Parque Eólico.

### 3.2 Medições em Aerogerador de Alimentador Problemático

Como apresentado anteriormente, alguns alimentadores, do presente complexo, possuíam muitos aerogeradores com falhas constantes. Por outro lado, alguns alimentadores apresentavam baixo nível de

falha nos aerogeradores. Desta forma, serão apresentadas medições em um aerogerador com alto índice de falha e em outro com baixo índice de falha.

### 3.2.1 Medições em aerogerador com alto índice de falha (Aerogerador 1)

Dentre os diversos pontos mensurados no aerogerador, este trabalho selecionou, para efeito de ilustração e discussão, as medições em dois locais, a saber:

- Rede de MT da saída do transformador;
- Terciário do transformador (BT), o qual alimenta os sistemas de controle que apresentavam falhas.

Voltando-se às medições no barramento da média tensão da saída do Aerogerador 1, as Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, a oscilografia e o espectro harmônico da tensão neste barramento. As distorções aqui encontradas são nas mesmas frequências presentes na medição da subestação coletora, ou seja, estão na por volta de 4 kHz. Não obstante tratar-se da mesma rede, neste último ponto, os níveis de distorção se apresentam extremamente superiores àqueles anteriormente encontrados nas medições da SE. Isto aponta para o reconhecimento da existência de uma ressonância localizada, a qual conduziu a níveis de distorções nas mesmas ordens anteriores, todavia, em proporções de até 13,5% e com valores de pico superiores a 30% do nominal, ou, ainda, uma maior proximidade com a fonte geradora do problema.

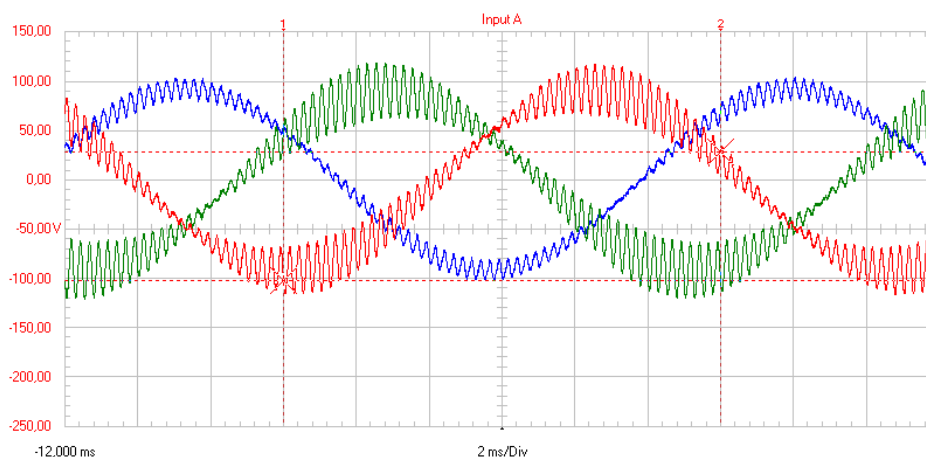


Figura 3 – Oscilografias das tensões trifásicas na MT do Aerogerador 1.

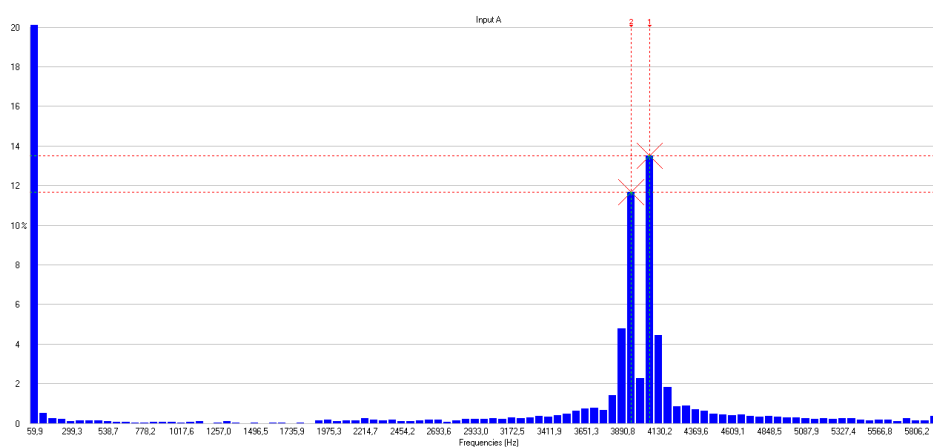


Figura 4 – Espectro harmônico da fase A na MT do Aerogerador 1.

Quanto às medições na saída de BT do transformador do Aerogerador 1, têm-se as Figuras 5 e 6 apresentando a oscilografia e o espectro harmônico da tensão, respectivamente. Também são verificadas distorções harmônicas de magnitudes elevadas nas proximidades dos 4 kHz, apresentando distorções máximas de 14,7% e valores de pico de 32% acima do nominal. As distorções aqui registradas se apresentam condizentes com aquelas verificadas para o barramento de MT.

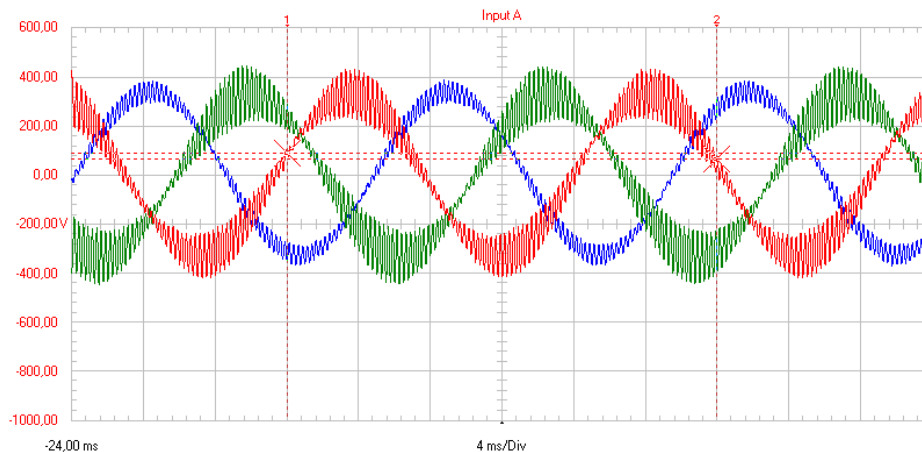


Figura 5 – Oscilografias das tensões trifásicas no lado de BT do transformador do Aerogerador 1.

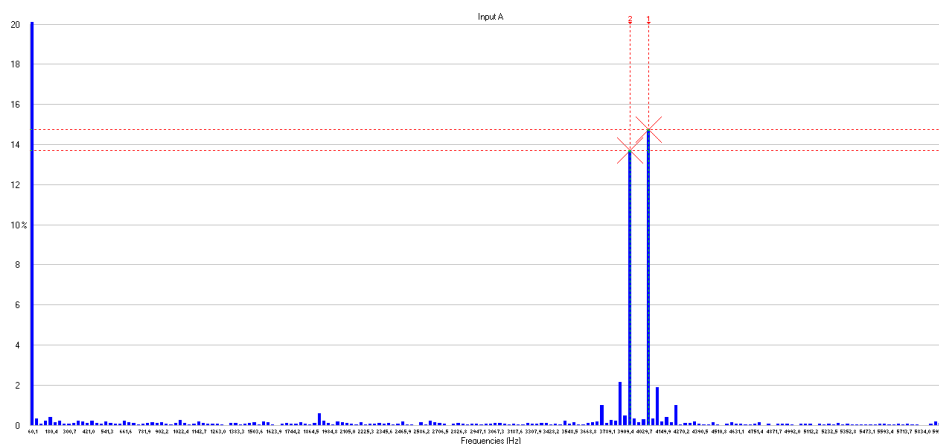


Figura 6 – Espectro harmônico da fase A no lado de BT do transformador do Aerogerador 1.

### 3.2.2 Medições em aerogerador com baixo índice de falha (Aerogerador 2)

Como para na análise anteriormente detalhada, este trabalho apresenta as medições em dois locais do Aerogerador 2, a saber:

- Rede de MT da saída do transformador;
- Terciário do transformador (BT), o qual alimenta os sistemas de controle que apresentam falhas.

Voltando-se às medições no barramento da média tensão da saída do Aerogerador 2, têm-se as Figuras 7 e 8 apresentando a oscilografia e o espectro harmônico da tensão, respectivamente. Nestas imagens verificam-se baixos conteúdo harmônico. Todavia, embora em proporções pequenas, são verificadas distorções nas imediações dos 4 kHz, cujo valor máximo é de 1%. Além disso, são também manifestados harmônicos em baixas frequências, cujo valor máximo é 2,1% de 2ª ordem. Já o valor pico apresentou magnitude equivalente à condição nominal.

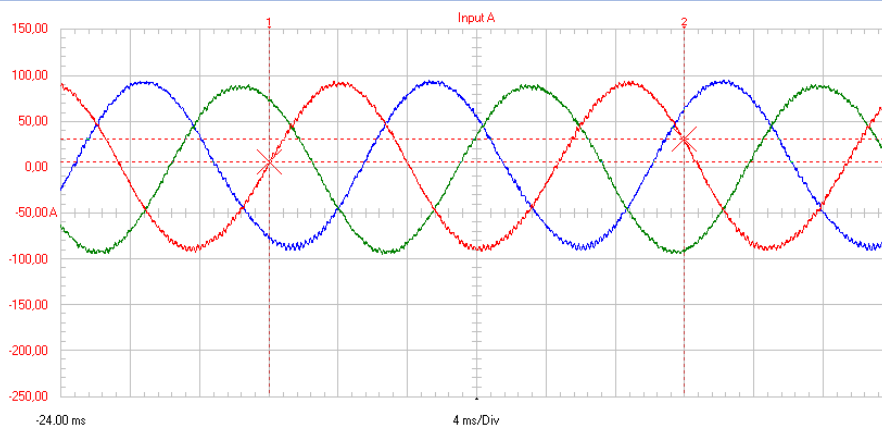


Figura 7 – Oscilografias das tensões trifásicas na MT do Aerogerador 2.

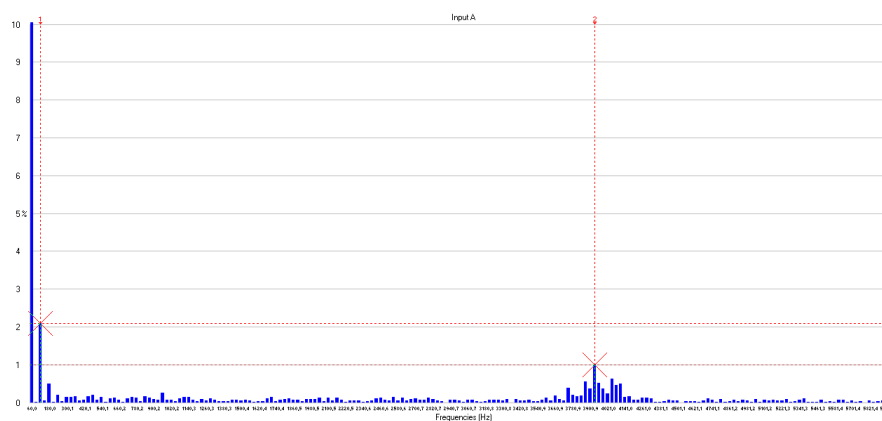


Figura 8 – Espectro harmônico da fase A na MT do Aerogerador 2.

Quanto às medições na saída de BT do transformador do Aerogerador 2, têm-se as Figuras 9 e 10 apresentando a oscilografia e o espectro harmônico da tensão, respectivamente. Como para a medição na MT, a presente medição resultou em um espectro harmônico com baixas magnitudes na faixa dos 4 kHz, cujo valor máximo é equivalente a 1,2%. Todavia, para esta medição, a predominância espectral se apresenta nos entornos dos 2 kHz, resultando em distorções com magnitude máxima de 2,5%. Os valores de pico apresentam um aumento de 5% com relação ao seu valor nominal.

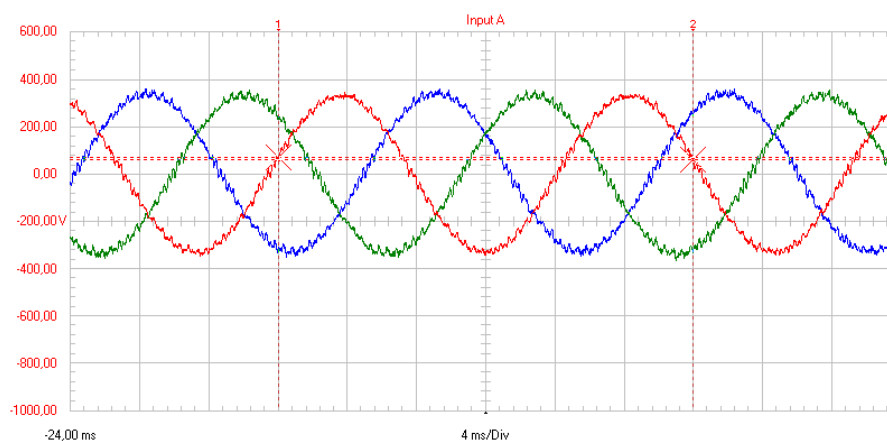


Figura 9 – Oscilografias das tensões trifásicas no lado de BT do transformador do Aerogerador 2.

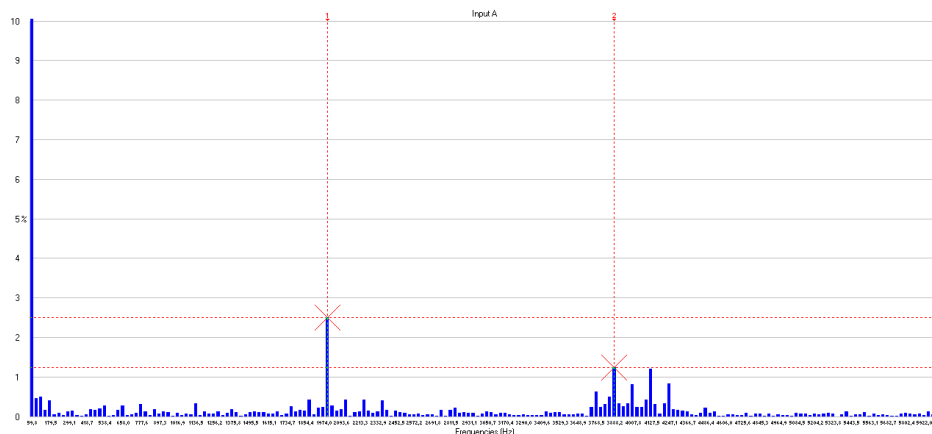


Figura 10 – Espectro harmônico da fase A no lado de BT do transformador do Aerogerador 2.

#### 4. MODELO COMPUTACIONAL

Foi realizada a modelagem computacional da rede interna do complexo eólico e dos aerogeradores DFIG no programa MATLAB/Simulink visando, sobretudo, a reprodução em ambiente computacional, das condições operacionais encontradas no presente complexo eólico, com destaque às questões associadas às distorções harmônicas. Assim, foram realizados estudos investigativos diversos objetivando a identificação da origem dos fenômenos responsáveis pelas anomalias operativas ocorridas em campo e apresentação de proposição de soluções para os problemas encontrados.

Objetivando avaliar o desempenho do modelo computacional implementado, foram realizadas simulações diversas, cujos resultados foram confrontados com respostas advindas das medições feitas em campo. Desta forma, foram comparadas variáveis de corrente e tensão na subestação coletora, nos terminais do transformador do aerogerador dentre outras variáveis do aerogerador, como a velocidade do rotor.

Deve-se destacar que a combinação de circuitos envolvendo fontes geradoras de harmônicos e a topologia de um sistema podem, via de regra, proporcionar regiões mais susceptíveis à manifestação de ressonâncias, as quais provocam amplificações harmônicas. De forma mais objetiva, dentro do contexto do arranjo, pode ocorrer a intensificação de anomalias, a exemplo de aumento das intensidades das tensões harmônicas devido a uma combinação entre efeitos indutivos e capacitivos advindos de linhas, cabos, transformadores, etc. Assim, foram realizadas simulações para identificação as áreas de maior vulnerabilidade, ou críticas, sob o ponto de vista de harmônicos.

#### 5. SOLUÇÕES

Diante de todo o sistema computacionalmente modelado e validado, voltou-se para a busca de soluções de mitigação dos problemas. Para tanto, foram apresentadas 4 possíveis soluções, as estão são detalhadas na sequência.

##### 5.1 Solução 1 – Filtragem na Subestação Coletora

A Solução 01 consistia na instalação de filtros harmônico nos barramentos de MT da subestação coletora. Esta estratégia tem como objetivo atenuar as distorções na forma de onda da tensão no complexo como um todo e evitar possíveis problemas futuros na instalação.

De fato, a Solução 01 foi efetiva na redução das distorções harmônicas no barramento da Subestação Coletora, todavia, não houve resultados expressivos para o circuito de BT dos aerogeradores críticos, o que não resolveria o problema da queima nos componentes dos aerogeradores.



## **5.2 Solução 2 – Filtragem na Média Tensão Próximo aos Aeroogeradores**

A Solução 02 também está associada com o emprego de filtros no circuito de MT do complexo, todavia em locais distintos dos elucidados anteriormente. Neste caso, os equipamentos são instalados nos terminais de cada circuito (próximo aos aeroogeradores).

Quanto à eficácia da Solução 02, os resultados esclarecem que esta reduziu as distorções harmônicas em todos os pontos analisados, principalmente quando se observou os valores próximos de 4 kHz, os quais são, a priori, as frequências causadoras da queima nos componentes instalados na BT dos transformadores dos aeroogeradores.

Tendo em vista que a Solução 02 é composta vários filtros de MT, sendo estes instalados em cada circuito mais próximo aos aeroogeradores, naturalmente esta proposta se apresenta com valores superiores aos anteriores.

## **5.3 Solução 3 – Filtragem no Lado de BT do Transformador dos Aeroogeradores**

Uma alternativa à instalação de filtros para mitigação das distorções a nível dos barramentos de MT é apresentada na forma de Solução 03. Esta está alicerçada na eliminação do problema de forma localizada aos pontos para os quais foram manifestados os problemas de danos de natureza física em componentes elétricos e respectivos impactos sobre a operação dos aeroogeradores. Tais recursos mitigatórios seriam aplicados diretamente nos terminais de BT do transformador, enrolamento esse que, se mostra com expressivos níveis de distorção diante das transferências dos efeitos manifestados na média tensão para os enrolamentos de baixa tensão. Em assim sendo, facilmente se compreende que, desta feita, os filtros se apresentam em escalas de tensão e potência bastante inferiores aos anteriormente considerados, conseqüentemente apresentando preços menores.

Como esperado, a Solução 03 praticamente não afetou os valores das distorções harmônicas nos barramentos e circuitos de média tensão, todavia, os resultados obtidos no enrolamento de BT foram eficazes.

## **5.4 Solução 4 – Filtragem na Subestação Coletora e no Lado de BT do Transformador dos Aeroogeradores**

A Solução 04 consiste numa fusão das soluções contempladas na Solução 01 e na Solução 03. Naturalmente, o seu objetivo está centrado numa alternativa visando a solução dos problemas de forma sistemática.

Tendo em mente que a estratégia ora considerada se apresenta como uma associação daquelas propostas como Soluções 01 e 03, o custo estimado de sua implementação, por conseguinte, corresponde a soma dos valores destas.

## **6. CONCLUSÕES**

Neste trabalho foi feita uma contextualização da importância da geração eólica no contexto da transição energética para uma matriz de baixo carbono, ressaltando o papel do Brasil nesta importante mudança de paradigma. Assim, foram evidenciados os desafios que ainda se fazem presentes no âmbito da qualidade da energia elétrica, com destaque a problemas envolvendo distorções harmônicas da forma de onda.

Então, de modo a contribuir com investigações científicas correlatas à mitigação de problemas relacionados com emissão harmônica, foi apresentado um estudo de caso real de falhas em aeroogeradores de um parque eólico no nordeste do Brasil. De forma complementar, foram apresentados os resultados de medições em campo, juntamente com uma análise do que estava ocorrendo naquela planta eólica. E, por fim, foi abordado um leque de soluções.

Diante do exposto, concluiu-se que problemas envolvendo teorias avançadas no campo da qualidade da energia elétrica estão cada vez mais presentes nas plantas eólicas brasileiras, os quais muitas vezes passam despercebidos pela maioria das medições de qualidade da energia elétrica, haja vista que parte destes problemas se encontram em faixas de frequência superiores às avaliadas pela maioria dos equipamentos de medição de qualidade de energia elétrica. Ademais, outros conceitos, tais como interações harmônicas, oscilações subsíncronas e supraharmônicos, ainda são muito pouco investigados em âmbito nacional e internacional.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 30 de junho de 2023.

ARRILAGA, J., WATSON, N. R. Watson, “Power system harmonics”, John Wiley & Sons, 2a Edição, England, 2004.

BLOCK, P.A.B, BONELLI, A.F., BONELLI, M.L., “Soluções de Filtragem Harmônica para Complexos Eólicos: Determinação dos Impactos na Média Tensão”, Brazil Windpower, Outubro de 2022.

BOSE, B.K., “Global energy scenario and impact of power electronics in 21st century. Industrial Electronics,” IEEE Transactions on, 60(7), 2638-2651, 2013.

DUGAN, R.C., MCGRANAGHAN, M.F., SANTOSO, S., BEATY, H.W., “Electrical Power Systems Quality”, McGra-Hill, 2ª Edição, Nova Iorque, 2002.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC 61000-3-6 – “Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems”, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC 61400-21-1 – “Wind energy generation systems – Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind turbines”, 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – NT 009/2016 Rev. 03 – “Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Acessos à Rede Básica ou aos Barramentos de Fronteira com a Rede Básica para Parques Eólicos, Solares, Consumidores Livres e Distribuidoras”, 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – PROCEDIMENTOS DE REDE – Submódulo 2.3 “Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos - Metodologia”, 2021a.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – PROCEDIMENTOS DE REDE – Submódulo 2.9 “Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica”, 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – PROCEDIMENTOS DE REDE – Submódulo 2.10 “Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão”, 2021b.

RONNBERG, S., BOLLEN, M.H.J., LARSSON, A., LUNDMARK, M., “An overview of the origin and propagation of Supraharmonics (2-150 kHz)”, Nordac, September 2014.