



GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

MONITORAMENTO, ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS DE CONVERSORES UTILIZADOS EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

NELSON CLODOALDO DE JESUS(1); GUSTAVO RODRIGUES DOS SANTOS(1); WILLIAN SOUZA DE JESUS(1); THIAGO PEREIRA FRANCO(1); LUIZ MARLUS DUARTE(1); JOÃO LUCAS GONÇALVES NASCIMENTO(1)
GSÍ ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA(1)

RESUMO

Este informe técnico tem como objetivo apresentar os resultados da investigação, diagnóstico e análise de falhas em conversores estáticos de potência utilizados em sistemas de geração de energia eólica. Serão apresentados os principais resultados das medições de qualidade da energia realizadas nos conversores, tanto no lado de conexão com a rede elétrica quanto no lado dos geradores, bem como a metodologia adotada para a identificação e definição das principais causas relacionadas às falhas dos conversores estáticos de potência instalados no sistema elétrico em análise.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade da Energia Elétrica, Conversores Estáticos de Potência, Medições, Causa Raiz, Geração Eólica.

1.0 INTRODUÇÃO

Independente da topologia adotada e da configuração dos geradores que compõem os sistemas de conversão de energia eólica em elétrica, a topologia mais comum de conversores estáticos utilizada nestas aplicações é do tipo *back-to-back* para os conversores instalados no lado do gerador e no lado da rede, com uma tensão em corrente contínua intermediária, parte do sistema que é denominado *Link DC* (1), (2). Nesse contexto, os conversores estáticos representam parcelas significativas em relação aos índices de falhas e consequentes paradas não programadas dos sistemas de geração de energia eólica. Devido à complexidade desses tipos de equipamentos e seus componentes internos, os mesmos podem ser afetados por uma série de fatores, sejam relacionados em termos da instalação, aspectos climáticos, desempenho dos conversores ou da própria operação do sistema.

A investigação de problemas relacionados às taxas de falhas dos conversores estáticos de potência, identificação das causas, impactos operacionais e propostas de melhoria de sua confiabilidade são temas de grande relevância para os sistemas renováveis de geração, abrangendo diversos aspectos multidisciplinares (1), (3), (4), (5), (6).

O complexo eólico objeto desta análise consiste em quatro parques eólicos, contendo um total de 50 aerogeradores, localizados no litoral do nordeste brasileiro, apresentando ocorrências repetitivas de falhas de operação devido a queimas de equipamentos, especialmente se tratando dos módulos dos conversores estáticos de potência. Esses equipamentos apresentam a configuração com conversores do tipo "*full converter*" operando em paralelo, com sistemas de resfriamento dos semicondutores (IGBTs) por meio da circulação de líquido, estando os mesmos instalados em regiões próximas à costa marítima e em ambiente com a presença de dunas móveis.

Para esta avaliação foram verificados os indicadores de desempenho do sistema através de uma análise comparativa entre as taxas de falhas de diferentes instalações com o mesmo tipo de tecnologia empregada no controle da geração das turbinas eólicas, destacando-se um maior índice de falhas nos referidos parques, além de uma maior indicação e recorrências de alarmes e eventos na rede elétrica em que estão conectados. Diante do desafio de identificação das principais causas raízes e análise dos modos de falhas dos componentes e conversores, foi realizada uma ampla averiguação das condições operacionais do sistema, através de medições de qualidade de energia nos conversores instalados em unidades das centrais de geração eólica, avaliação das medições na subestação de conexão, levantamento de dados e informações com as equipes de campo, dados dos registros históricos dos sistemas supervisórios, correlações entre as taxas de falhas, alarmes e parâmetros operacionais, a partir da investigação dos modos de falha e características dos equipamentos após as ocorrências.

Foram observados determinados padrões dos alarmes que surgem nos instantes em que as falhas ocorrem. Na maioria absoluta das falhas, ocorrem atuações de fusíveis no *Link DC* e/ou do disjuntor principal de acoplamento com o sistema, bem como indicações de alarmes de sobrecorrentes, sobretensões, *trip* dos conversores e detecção de subtensões no sistema, as quais são registradas nos mesmos instantes das falhas, resultando em danos significativos aos componentes, que implicam em muitos casos, na substituição completa dos módulos de potência afetados durante as ocorrências.

2.0 - CONVERSORES ESTÁTICOS DE POTÊNCIA EM SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Os conversores estáticos de potência são componentes fundamentais destinados aos controles utilizados em grande parte das atuais turbinas de geração de energia eólica (1). Esses equipamentos são normalmente do tipo *back-to-back* e estão localizados entre o lado do gerador e o lado de baixa tensão do transformador de acoplamento dos aerogeradores e conexão com a rede coletora do sistema elétrico (*Grid*). Os módulos de conversores são empregados nos sistemas de geração de energia eólica através de seu controle, incluindo acionamentos com operação em velocidades variáveis, determinadas em função das variações da velocidade do deslocamento das massas de ar que passam pelas pás das turbinas eólicas. Os equipamentos ainda devem atender aos requisitos dos códigos de rede (*Grid Code*) para as variações de tensão de curta duração, com flexibilidade para os modos de operação em termos de controle de tensão, fator de potência ou injeção de potência reativa. As topologias mais usuais dos conversores estáticos no controle da geração eólica são as seguintes (3):

- Geradores de indução duplamente alimentados (DFIG), com conversores de potências parciais;
- Geradores de indução do tipo gaiola de esquilo, com conversores de potência plena;
- Geradores síncronos de ímã permanente ou excitados, com conversores de potência plena.

As tecnologias embarcadas nos conversores utilizados no controle e operação de sistemas de geração eólica consistem basicamente em pontes modulares de IGBTs, conectadas no lado da máquina e no lado da rede. A Figura 1 mostra dois exemplos de conversores estáticos, ou seja, com e sem a conversão plena de potência (*Partial/Full-Scale Power Converter*), ambos utilizados em aplicações de centrais de geração de energia eólica (1).

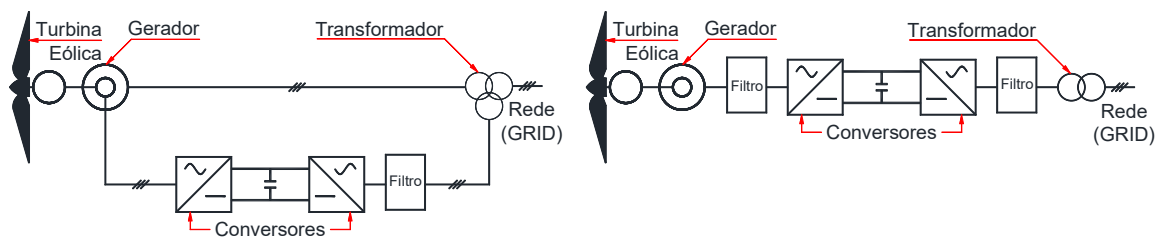


FIGURA 1 - Conversores estáticos de potência utilizados em sistemas de geração de energia eólica do tipo DFIG (à esquerda) e *full converter* (à direita).

A Figura 2, por sua vez, mostra um exemplo da topologia do sistema em análise, composto por três conversores em paralelo em cada lado dos sistemas de geração e de conexão à rede.

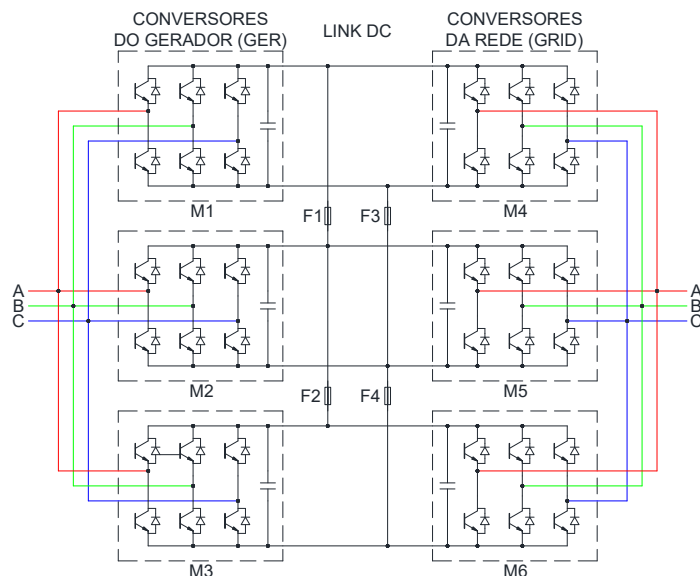


FIGURA 2 - Exemplo de módulos de conversores estáticos utilizados em sistemas de geração de energia eólica na configuração do tipo *full converter*.

3.0 - FALHAS DE OPERAÇÃO DE TURBINAS EÓLICAS

As falhas dos sistemas de geração de energia eólica podem se manifestar em suas diversas partes construtivas, portanto, é natural que as possíveis causas de falhas envolvendo um sistema eletromecânico de conversão de energia cinética em energia elétrica passem a considerar aspectos ambientais, mecânicos, elétricos e térmicos.

Nesse sentido, deve-se levar em conta os aspectos relacionados às partes de funcionamento dos aerogeradores, tais como o sistema mecânico, estrutural, gerador, controles, sistemas auxiliares e, em especial, os sistemas elétricos de conversão. De acordo com (4), as principais causas de falhas em sistemas eletrônicos são classificadas em sete grupos, levando em conta os parâmetros de temperatura, umidade, vibração, contaminação, componentes, sistema elétrico e testes de qualificação.

As taxas de falhas em sistemas de geração de energia são dadas pelo número de falhas por ano por turbina, mas o mesmo conceito pode ser adotado para a análise das taxas de falhas específicas aos conversores, normalizando pelo número de conversores de acordo com a topologia do sistema.

Conforme levantamento e análise comparativa entre as taxas de falhas de diferentes tipos de conversores (3) têm-se, em média, 0,48 falhas de conversores de potência por turbina eólica em um ano. Tem-se ainda um valor de 0,16 falhas especificamente para os módulos de potência por turbina, incluído os próprios módulos de IGBTs, placas de controle e disparo, capacitores do *Link DC*, barramentos, sistemas de resfriamento, equipamentos de manobras, entre outros. Nesse contexto (2), (3), a taxa de falha de um determinado componente ou equipamento é definida de acordo com a equação (1):

$$TF = \frac{\sum_{i=1}^I N_i}{\sum_{i=1}^I X_i \cdot T_i} = \frac{N}{T} \quad (1)$$

Sendo:

TF - Taxa de falha;

N_i - número de eventos de falhas do componente no intervalo de tempo i ;

X_i - número total de componentes avaliados no intervalo de tempo;

T_i - duração do intervalo de tempo.

4.0 - METODOLOGIA DE ANÁLISE DAS CAUSAS DE FALHAS DOS CONVERSORES ESTÁTICOS

Para os sistemas relacionados à operação dos conversores estáticos, especificamente neste caso sendo do tipo *full converter* com sistemas de resfriamento por líquido, verificou-se que os principais componentes afetados são os próprios módulos de potência e os componentes semicondutores (IGBTs), seguidos dos fusíveis e capacitores do *Link DC* e dos próprios sistemas eletrônicos de controle e disparo.

Como proposta de metodologia de análise do desempenho do sistema e dos conversores estáticos, de um modo geral, foram considerados para análise das causas e modos de falhas dos conversores os itens relacionados a seguir:

- Levantamento de dados e inspeções em campo;
- Realização de medições de qualidade de energia e transitórios nos conversores do sistema;
- Análise de medições de qualidade da energia elétrica nos sistemas de média tensão;
- Análise dos dados das ocorrências, alarmes e parâmetros dos sistemas supervisórios;
- Verificação dos limites de operação e suportabilidade dos equipamentos;
- Dados de consumo dos conversores e indicadores de desempenho;
- Informações da análise sobre os modos de falha informados pelos fabricantes;
- Utilização do mapeamento e movimentação dos conversores estáticos da frota do complexo eólico;
- Verificação de manuais e documentos de análise das falhas dos conversores e componentes;
- Matriz de priorização de potenciais riscos;
- Avaliação de módulos reparados e verificação de atendimento às recomendações técnicas;
- Simulações do sistema com o modelo no *software* de transitórios eletromagnéticos ATP;
- Correlações e tendências entre parâmetros de operação e as taxas de falhas dos módulos de potência;
- Análise e identificação das principais causas das falhas;
- Propostas de alternativas, recomendações e plano de ação para melhoria do desempenho do sistema.

Com base em todas as informações disponibilizadas, resultados de medições, diagramas de causas e efeitos (Diagrama de *Ishikawa*), foi proposta a avaliação conjunta de especialistas com características multidisciplinares para suporte à análise, conforme será detalhado posteriormente. Apresentam-se inicialmente os resultados obtidos nas medições simultâneas realizadas nos conversores de potência do tipo *back-to-back*, seguida de um resumo dos principais itens e resultados que conduziram e nortearam o processo de determinação das principais causas e possíveis propostas para a tomada de decisões visando a melhoria de desempenho dos sistemas de conversão.

5.0 - RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES DA OPERAÇÃO DOS CONVERSORES

Através de medições de qualidade da energia elétrica realizadas em determinadas unidades do complexo eólico em análise foi possível verificar o comportamento típico dos sistemas de geração. Para isso, foram realizadas medições simultâneas nos conversores estáticos de potência instalados no lado do gerador e da rede, conforme será apresentado a seguir.

A Figura 3 ilustra as tensões e correntes eficazes medidas no conversor do lado do gerador, enquanto a Figura 4 apresenta o comportamento das mesmas grandezas medidas na saída do conversor conectada à rede. O comportamento da potência ativa, reativa e aparente, registrado em ambas as medições para uma das unidades de geração de energia do sistema pode ser verificado na Figura 5.

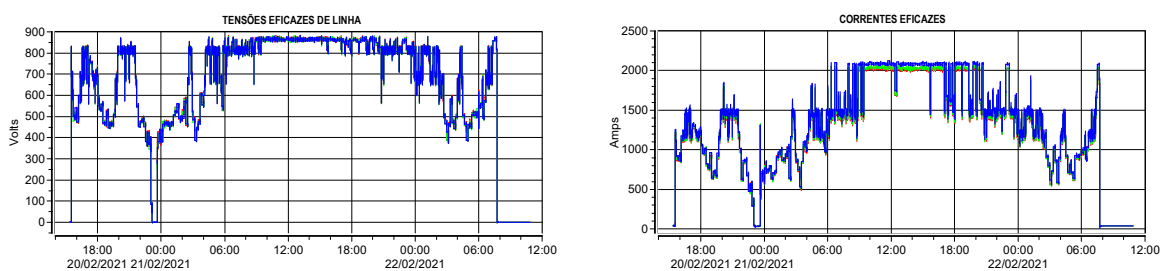


FIGURA 3 - Tensões e correntes eficazes medidas nos conversores estáticos do lado do gerador.

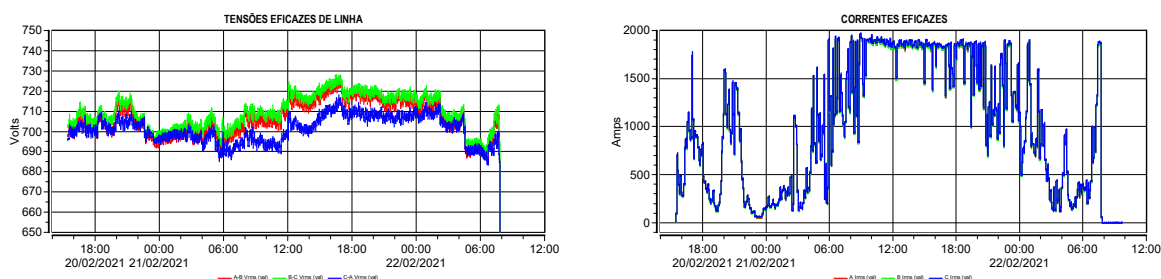


FIGURA 4 - Tensões e correntes eficazes medidas nos conversores estáticos do lado da rede.

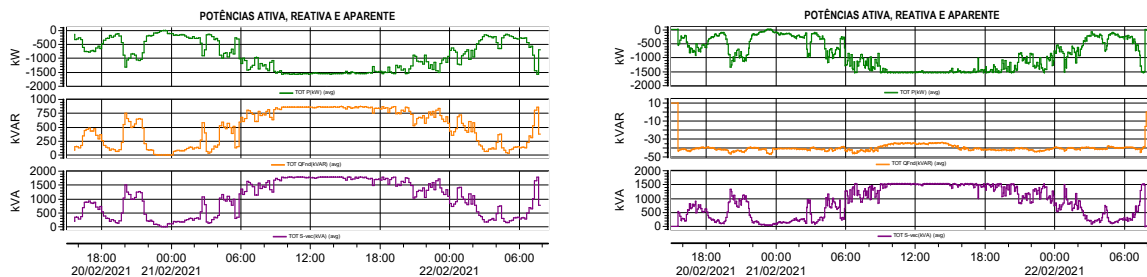


FIGURA 5 - Comportamento das potências medidas nos conversores do lado do gerador e da rede.

As medições das frequências das tensões de operação, respectivamente para os conversores localizados do lado do gerador e da rede, estão ilustradas conjuntamente na Figura 6, notando-se variações mais significativas nas medições realizadas durante o monitoramento no lado da máquina do aerogerador, como esperado.

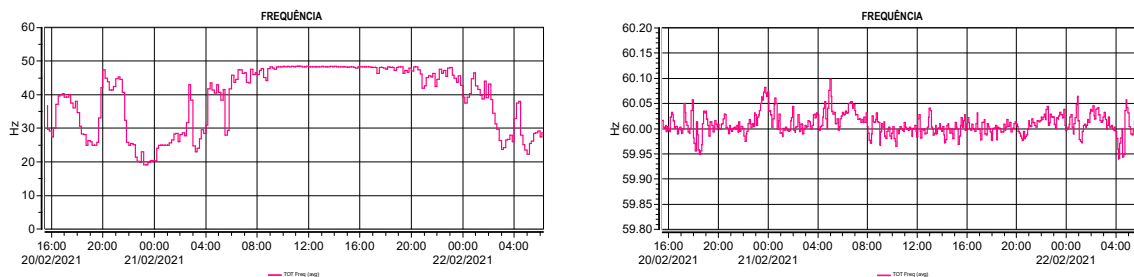


FIGURA 6 - Comportamento das frequências medidas nos conversores do lado do gerador e da rede.

A título de comparação, na Figura 7, estão detalhadas as formas de onda das tensões e correntes durante a condição de geração plena do sistema, registrada na medição do lado do conversor conectado ao lado do aerogerador, enquanto que a Figura 8 ilustra as formas de onda das tensões e correntes para a mesma condição de operação, considerando as medições na saída do conversor conectado à rede do sistema elétrico.

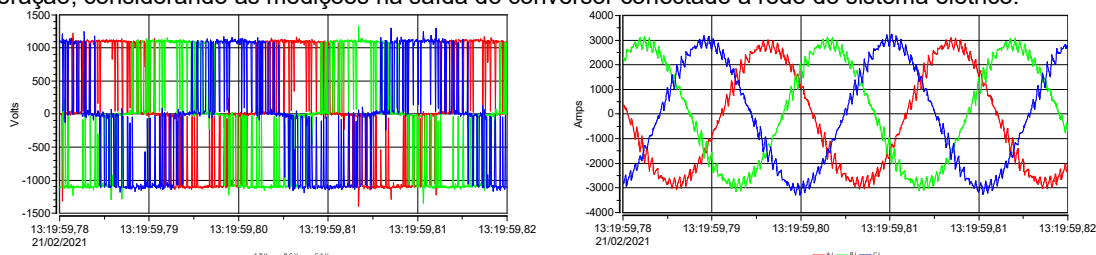


FIGURA 7 - Formas de onda das tensões e correntes nos conversores do lado do gerador.

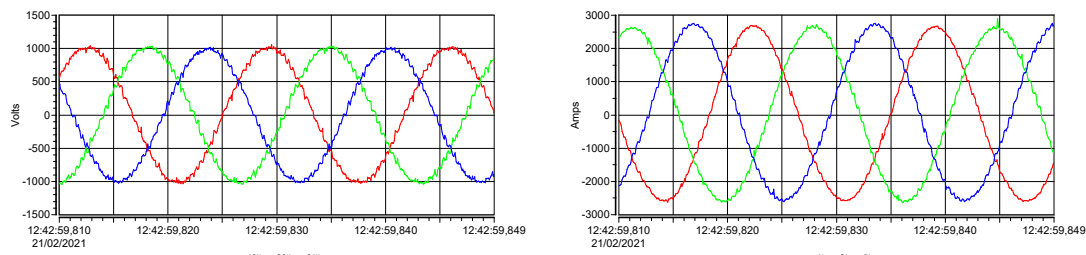


FIGURA 8 - Formas de onda das tensões e correntes nos conversores do lado da rede.

Durante as etapas das medições realizadas em conjunto com as inspeções e levantamento de dados em campo, foram também realizadas medições amostrais específicas para comparação entre os carregamentos dos módulos operando em paralelo, sendo que em uma dessas análises foi registrado um forte desequilíbrio entre as correntes de uma mesma fase na comparação entre os três módulos de potência, resultando em assimetrias e desequilíbrios no sistema. Após a identificação desse desequilíbrio, também foi realizada uma comparação entre as três fases do conversor que apresentou esse desequilíbrio. Ambos os casos estão ilustrados na Figura 9 a seguir.

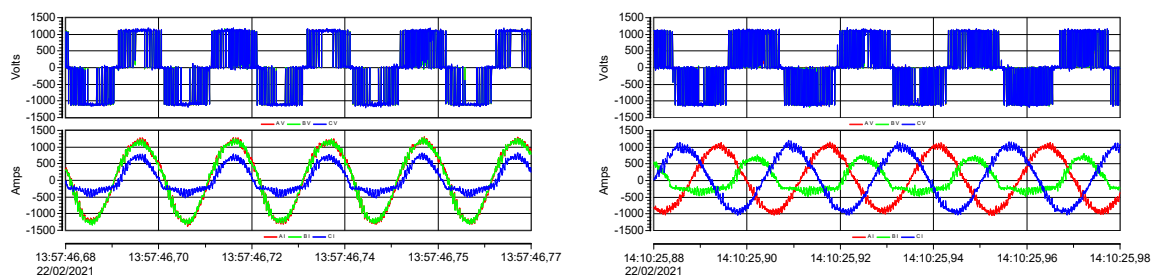


FIGURA 9 - Registro de operação em meia onda e desequilíbrios entre as fases dos conversores.

Adicionalmente, foram registrados alguns comportamentos transitórios durante as medições de qualidade de energia. A Figura 10 mostra as tensões e correntes durante o comando de energização e início da atuação dos chaveamentos dos conversores no lado do gerador. Também são apresentadas as formas de onda das tensões e correntes durante um dos desligamentos da rede de média tensão programados durante os testes em campo.

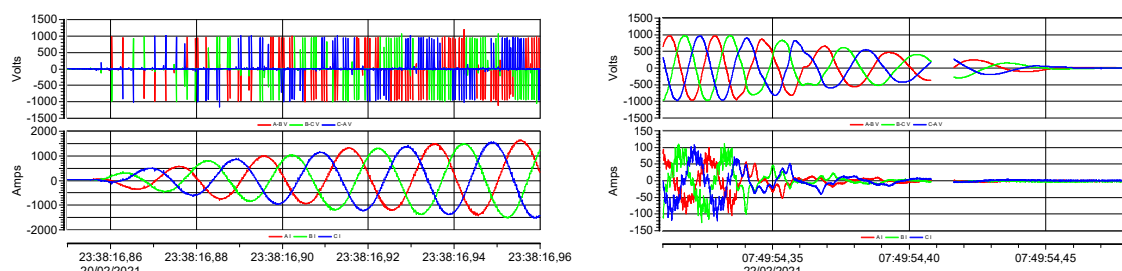


FIGURA 10 - Registro das tensões e correntes nos conversores durante energização e desligamento do sistema.

6.0 - ANÁLISE DAS CAUSAS DE FALHAS DE CONVERSORES

No processo de levantamento das possíveis causas raízes das falhas dos conversores foram considerados os principais itens associados aos dados técnicos e características das instalações, a partir do estudo e verificação dos mecanismos e modos de falhas dos conversores, com base em pesquisas e referências específicas sobre o tema, verificando-se as diversas possibilidades de ocorrências de falhas prematuras, faltas, curtos-circuitos, degradação de componentes e operações desequilibradas, conforme (2), (5), (6), (7), (8). Paralelamente, utilizou-se a massa de dados dos sistemas supervisórios, medições, inspeções, avaliação das documentações técnicas de especificação e de fabricantes, dados históricos das ocorrências e a matriz de priorização com o apoio de especialistas de áreas correlatas, tais como projeto, engenharia, sistemas de controle, operação e manutenção.

Apresenta-se na Figura 11 o diagrama base de causa e efeito (Diagrama de *Ishikawa*), utilizado em conjunto com as análises complementares do sistema, considerando os resultados de ações já implementadas e novas propostas para melhoria da confiabilidade dos sistemas elétricos e de resfriamento, redução de possíveis contaminações, plano de procedimentos técnicos frente às características das centrais de geração de energia e as condições de funcionamento impostas aos sistemas de controle e potência dos conversores.

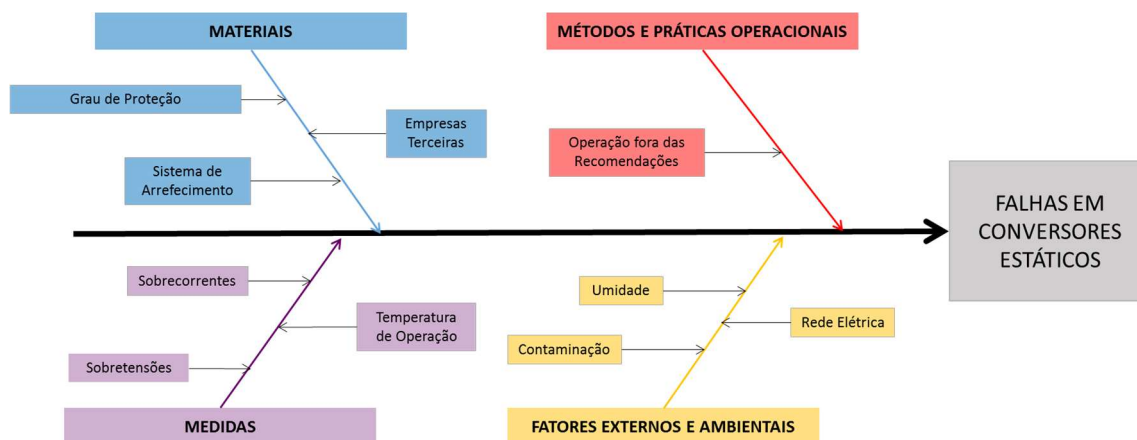


FIGURA 11 - Diagrama de causa-efeito utilizado na determinação das causas raízes das falhas de conversores.

A partir dos dados disponibilizados nos sistemas de supervisão dos aerogeradores foi possível realizar algumas relações entre determinados tipos de alarmes registrados. A Figura 12 apresenta o gráfico da correlação entre os

alarmes relacionados aos eventos de variações de tensão na rede (FRT - *Fault Ride Through*) e sobretensões detectadas nos conversores estáticos, onde é observada uma correlação moderada ($R^2=0,46$) entre esses alarmes.

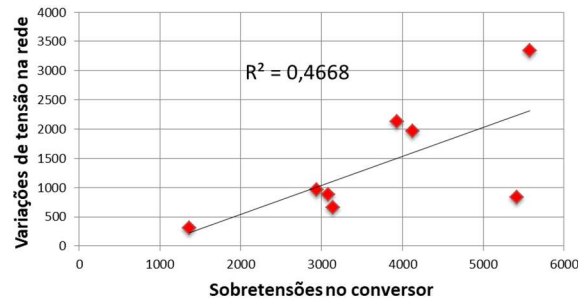


FIGURA 12 – Correlação moderada entre alarmes registrados nos sistemas supervisórios dos aerogeradores.

A Figura 13 apresenta os gráficos das correlações entre os alarmes relacionados às altas temperaturas nos conversores e baixa pressão no sistema de arrefecimento, bem como as correlações entre as sobrecorrentes e desequilíbrios (*phase sharing*). Em ambos os casos, são observadas correlações fortes entre os alarmes ($R^2>0,8$).

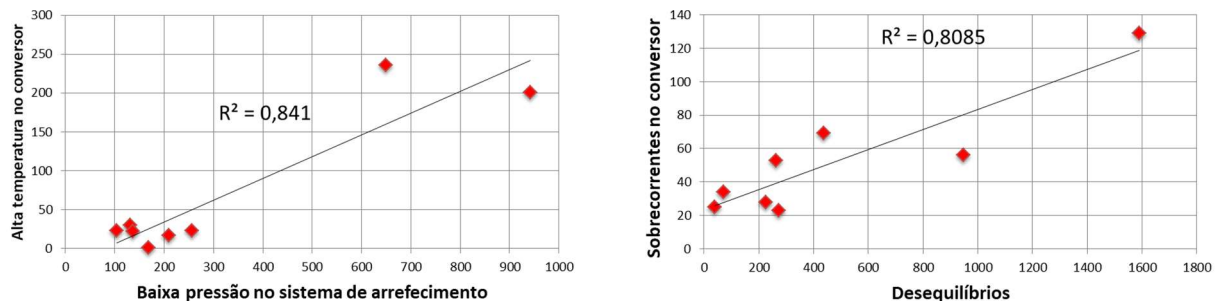


FIGURA 13 - Correlações fortes entre alarmes registrados nos sistemas supervisórios dos aerogeradores.

Como forma complementar de análise da influência das grandezas de interesse ao longo do período de operação do complexo eólico, em relação ao total de falhas dos conversores de potência, foram relacionados os números de incidências de determinados alarmes, ambos normalizados pelos respectivos indicadores médios com base anual, obtendo-se os gráficos das tendências e do comportamento de alguns dos alarmes determinísticos que podem implicar no aumento da taxa de falhas dos conversores. Neste caso, verificou-se que a presença de desequilíbrios resulta na ocorrência de sobrecorrentes, assim como acompanham as características de aumentos das falhas com elevações das temperaturas de operação associadas às indicações de baixa pressão no sistema de resfriamento. Os gráficos de tendências referentes a essa análise estão mostrados a seguir, sendo na Figura 14 (a), apresentados os resultados equivalentes às taxas de falhas, desequilíbrios e sobrecorrentes, na Figura 14 (b), relacionada aos alarmes de baixa pressão e temperaturas e na Figura 14 (c), as relações com as variações nas tensões da rede e sobretensões. Nota-se também que as ocorrências de sobretensões, embora ocorram junto a alguns eventos de variações na rede externa, seguem um padrão de registro distinto dos demais quanto às falhas.

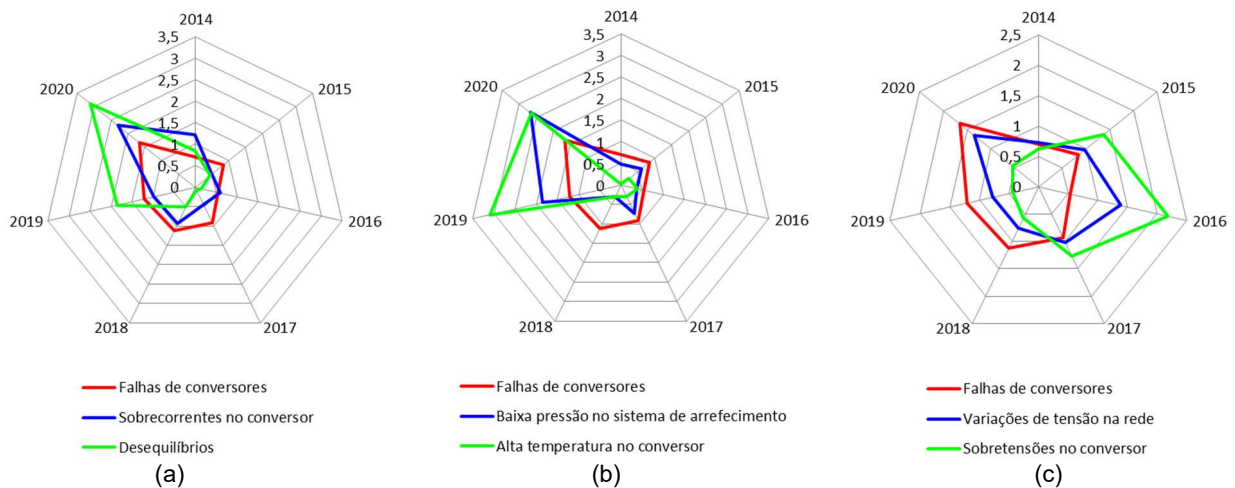


FIGURA 14 - Gráficos de tendências das principais variáveis associadas às falhas e indicação de alarmes.

Com base no exposto, se determinou que os principais aspectos das falhas dos conversores estão relacionados aos itens de medidas (sobrecorrentes, sobretensões e temperaturas de operação), fatores externos e ambientais, devido às severidades das condições ambientais, contaminações, umidade e oscilações de rede, métodos, com condições de operação fora das recomendações técnicas ideais, necessidade de tratamentos imediatos para determinados alarmes, além do item materiais e equipamentos, associados à utilização de materiais diferentes da especificação técnica, aliado ao grau de proteção (IP - *ingress protection*) intrínseco dos painéis dos conversores e desempenho dos sistemas de resfriamento, contribuem concomitantemente para o aumento das falhas recorrentes de equipamentos e redução de sua vida útil, implicando em sobrecorrentes e severos danos aos componentes dos conversores, resultando, nos casos mais extremos, em explosões e carbonização dos módulos de potência.

A Figura 15 ilustra o aumento dos níveis de risco das falhas à medida que ocorrem interseções entre os potenciais fatores, aumentando as probabilidades de falhas a partir de condições críticas que ocorram simultaneamente.

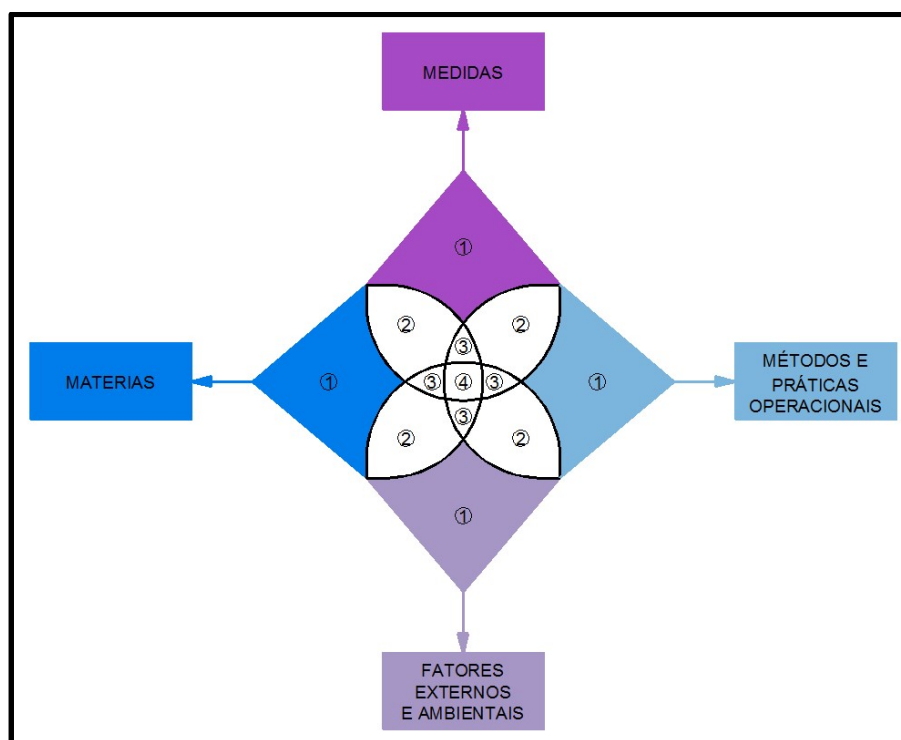


FIGURA 15 - Mapa de risco envolvendo os principais fatores relacionados às falhas dos conversores estáticos.
7.0 - CONCLUSÕES

Este informe técnico apresentou uma avaliação do desempenho do sistema elétrico de geração de energia eólica utilizando medições de qualidade da energia elétrica nos aerogeradores e demais informações relacionadas aos sistemas supervisórios dos equipamentos e às respectivas taxas de falhas dos conversores estáticos de potência.

Com base nos critérios de análise e metodologia multidisciplinar aplicada ao referente caso, foram considerados os parâmetros de probabilidade e impacto das possíveis causas que afetam os aspectos funcionais dos equipamentos, relacionados aos grupos compostos por medidas, seguida dos fatores externos e ambientais, além dos itens associados aos métodos e materiais. Neste sentido, as sobrecorrentes foram definidas simultaneamente como causa e efeito durante a manifestação de falhas dos componentes, fato comprovado categoricamente pela maioria absoluta das indicações e registros dos alarmes típicos que se manifestam exatamente nos instantes das falhas dos conversores. Além do item relacionado às sobrecorrentes, elencado como a causa principal e diretamente relacionada aos modos e mecanismos de falhas dos conversores, foram consideradas as ocorrências de eventos de sobretensões e as temperaturas de operação.

Destaca-se ainda que algumas turbinas localizam-se muito próximas à costa (próximas ao mar) e outras estão em áreas susceptíveis ao deslocamento de dunas móveis nos entornos das instalações, promovendo possíveis contaminações dos conversores por particulados e impactos diretos no desempenho e operação dos sistemas de

controle e potência associados aos conversores instalados nesse sistema, além de diversas perturbações que se apresentam frequentemente nos distúrbios dos sistemas elétricos de distribuição e transmissão.

Deve-se destacar as correlações positivas entre as taxas de falhas e os principais alarmes avaliados, indicando principalmente os aspectos de operação em relação às pressões do sistema de resfriamento e respectivas temperaturas de operação dos módulos dos conversores, assim como às incidências de desequilíbrios e manifestação de sobrecorrentes. Com isso, foi recomendado evitar a operação de módulos de potência com componentes semicondutores (pontes de IGBTs) de substratos cerâmicos distintos nas operações em paralelo, devido às diferenças entre suas características térmicas e de resfriamento, uma vez que essa condição impacta na degradação de módulos que a princípio estariam em bom estado por conta de maiores níveis de desequilíbrios de potências e, especialmente, das temperaturas de operação dos semicondutores (IGBTs).

As causas raízes foram determinadas e relacionadas aos modos de falhas dos componentes, pois na medida em que se tem a operação com reincidências de diversos alarmes, aumenta-se a tendência de redução da vida útil de componentes e consequentes riscos de falhas. Com base no exposto e na análise realizada conjuntamente com os setores de engenharia e operação do sistema de geração, foram propostas recomendações técnicas, fornecendo subsídios para um plano de ação específico de acompanhamento, baseando-se nas principais causas e incidências de alarmes, no sentido de acompanhar as condições de operação, visando diminuir efetivamente as taxas de falhas dos conversores estáticos instalados nos parques deste complexo eólico.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) - BLAABJERG, F., LISERRE, M. Power electronics converters for wind turbine systems. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, no. 2, March/April, 2012.
- (2) - FISCHER, K., STALIN, T., RAMBERG, H., WENSKE, J., KARLSSON, R., THIRINGER, T. Investigation of converter failure in wind turbines. Elforsk, November 2012.
- (3) - FISCHER, K., PELKA, K., TEGTMEIER, B., CORONADO, D., BROER, C., WENSKE, J. Reliability of power converter in wind turbines: exploratory analysis of failure and operating data from a worldwide turbine fleet. 0885 - 8993© 2013IEEE.
- (4) - FISCHER, K., STALIN, T., RAMBERG, H., WENSKE, J., WETTER, G., KARLSSON, R., THIRINGER, T. Field-experience based root-cause analysis of power-converter failure in wind turbines. 0885 - 8993© 2013 IEEE.
- (5) - LU, B., SHARMA, S.K. A literature review of IGBT fault diagnostic and protection methods for power inverters. IEEE Transactions of Industry Applications, Vol. 45, no. 5, September/October 2009.
- (6) - CHEN, N., CHIMENTO, F., NAWAZ, M., WANG, L. Dynamic characterization of parallel-connected high-power IGBT modules. ABB Corporate Research. Forkasgrand 7, SE - 72178 Vasteras, Sweden.
- (7) - WANG, H., BLAABJERG, F., MA, K., WE, R. Design for reliability in power electronics in renewable energy systems – status and future. Center of Reliable Power Electronics (CORPE). Department of Energy Technology, Aalborg University.
- (8) - ABUELNAGA, A., NARIMANI M., BAHMAN, A.S. A review on IGBT module failure modes and lifetime testing. 2021.

DADOS BIOGRÁFICOS



Nasceu em Pindamonhangaba (SP) em 1970. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) em 1992 e mestrado pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1995. Trabalhou na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) e na AES Sul. Desde 2009 é consultor na GSI - Engenharia e Consultoria. É sócio fundador e atual Secretário Executivo da SBQEE. Possui mais de 180 artigos técnicos, publicados em revistas, conferências e congressos nacionais e internacionais. As áreas de interesse referem-se à Qualidade da Energia Elétrica, Sistemas Elétricos Industriais, Geração de Energias Renováveis e Transitórios Eletromagnéticos.

(2) GUSTAVO RODRIGUES DOS SANTOS

Nasceu em Taubaté (SP) em 1999. Atualmente cursa graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus de Guaratinguetá, e trabalha na área de estudos elétricos na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. As principais áreas de interesse referem-se a estudos de sistemas elétricos industriais, transitórios eletromagnéticos, qualidade de energia e energias renováveis.

(3) WILLIAN SOUZA DE JESUS

Nasceu em Pindamonhangaba (SP) em 1998. Atualmente, cursa a graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) e trabalha na área de estudos elétricos na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. É sócio da Sociedade Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE). As principais áreas de interesse referem-se a Estudos de Transitórios Eletromagnéticos, Qualidade de Energia e Energias Renováveis.

(4) THIAGO PEREIRA FRANCO

Nasceu em Mogi das Cruzes (SP) em 1998. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 2020, onde participou como aluno bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica - PET. Atualmente trabalha na área de estudos elétricos na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. Áreas de interesse: Análise e Simulações de Sistemas Elétricos para Avaliação de Curto-Circuito, Fluxo de Potência, Estabilidade Eletromecânica e Transitórios Eletromagnéticos.

(5) LUIZ MARLUS DUARTE

Nasceu em Taubaté (SP) em 1983. Possui graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) em 2009. Atualmente trabalha como sócio consultor na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. Áreas de interesse: Análise e Simulações de Sistemas Elétricos para Avaliação de Transitórios Eletromagnéticos, Curto-Circuito, Fluxo de Potência, Proteção e Seletividade.

(6) JOÃO LUCAS GONÇALVES NASCIMENTO

Nascido em Taubaté (SP) em 1998. Está graduando o curso de engenharia elétrica e eletrônica na Universidade de Taubaté - (UNITAU). Atualmente trabalha na empresa GSI - Consultoria e Engenharia Elétrica – Ltda. Trabalha com sistema elétrico de potência, Qualidade de energia elétrica e assistência a relatórios. Áreas de Interesse: Automação, eletrônica (dispositivos), sistema elétrico de potência e telecomunicação.