

Impacto da Geração Eólica na Qualidade da Energia Elétrica

Stefânia de Oliveira Silva *
Vanessa Cristina Pereira Miranda **

* *Universidade Federal do Oeste da Bahia Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, BA (e-mail: sosilva4@gmail.com)*

** *Universidade Federal do Oeste da Bahia Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, BA (e-mail: vanessa.m2408@ufob.edu.br)*

Abstract: The growing concern with the environment and with the production of sustainable energy is characterized by the increasing insertion of wind generation plants in the energy matrices of many countries. However, it is necessary to relate the technical and regulatory requirements involved in the issue of connecting wind power generation systems to existing electrical networks. With this purpose, the article aims to identify some parameters of Electric Power Quality in Wind Turbines and their impacts when aggregated in large Wind Power Plants. In addition, real impacts of the Connection of Wind Power Plants on the Quality of Energy in the Electric System are presented, under the methodology of evaluating the impact from the perspective of the National Electric System Operator - ONS, with Electric Energy Quality Measurement Campaigns. In this way, we seek to understand how regulatory agencies in the electricity sector determine that wind turbines work in a safe and controlled way.

Resumo: A crescente preocupação com o meio ambiente e com a produção de energia sustentável é caracterizada pela crescente inserção de plantas de geração eólica nas matrizes energéticas de muitos países. Entretanto é preciso relacionar os requisitos técnicos e normativos envolvidos na questão da conexão de sistemas eólicos de geração de energia nas redes elétricas existentes. Com este propósito, o artigo tem como objetivo identificar alguns parâmetros de Qualidade de Energia Elétrica em Turbinas Eólicas e os seus impactos quando agregados em grandes Centrais Eólicas. Ademais, são apresentados impactos reais da Conexão de Centrais Eólicas sobre a Qualidade de Energia no Sistema Elétrico, sob a metodologia de avaliar o impacto sob a perspectiva do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, com Campanhas de Medição de Qualidade de Energia Elétrica. Desta forma, busca-se assim, entender como as agências reguladoras do setor elétrico determinam que turbinas eólicas funcionem de forma segura e controlada.

Keywords: Wind turbines; Power Quality; Electrical System; Wind Power Plants; Campanhas de Medição.

Palavras-chaves: Turbinas Eólicas; Qualidade de Energia; Sistema Elétrico; Centrais Eólicas; Measurement Campaigns.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade vem passando por um avanço acelerado, gerando diversas alterações no modo de viver. E nesse contexto, as fontes renováveis passaram a ganhar destaque a fim de diversificar a matriz energética dos países dependentes do uso do petróleo.

A energia eólica foi uma das que obteve maior êxito nos últimos anos, devido a maturidade no desenvolvimento da tecnologia, associado aos baixos custos operacionais e pouco uso de espaço territorial, conforme Maia (2017). Este tipo de geração vem experimentando um crescimento expressivo no mundo ao alcançar 514,8 GW de potência instalada no ano de 2017. No período de dez anos, essa capacidade instalada evoluiu à taxa média de 18,8% ao ano, conforme GWEC (2021). Porém, ao longo desse mesmo período, a indústria se apresentou com tendência de desaceleração, obtendo menores taxas de crescimento.

Apesar disto, olhando para o futuro, as perspectivas para a fonte eólica continuam promissoras, em razão do aumento da competitividade da tecnologia dos aerogeradores e da maior conscientização da humanidade sobre o impacto da queima de combustíveis fósseis sobre o clima, fator que vem contribuindo para maior pressão pelo uso de fontes de energia mais limpas.

De acordo com a Associação Mundial de Energia Eólica, WWEA (2019), dados preliminares indicam que em 2018 foram acrescidos mais 53,9 GW de capacidade instalada em todo o mundo. Além disso, o Conselho Global de Energia Eólica, GWEC (2021), divulgou em março o Relatório Global de Energia Eólica de 2021, no qual mostra que a indústria eólica mundial estabeleceu um novo recorde em 2020, com 93 Gigawatts de novas instalações, apresentando um aumento de 53% em relação ao ano anterior. Hoje em todo o mundo, existem 743 GW de capacidade de energia eólica, ajudando a evitar mais

de 1,1 bilhão de toneladas de CO₂, o equivalente às emissões anuais de carbono da América do Sul. Os Estados Unidos e a China ainda são os dois maiores mercados de energia eólica, dado que em 2020, alcançaram um crescimento recorde em instalações, somando 75% das novas instalações.

O Brasil encontra-se em um momento de grande desenvolvimento econômico e, por consequência, de grande aumento da demanda por energia elétrica que cresce a taxas ainda maiores em relação ao crescimento do Produto Interno Bruto - PIB. Em 2017 ultrapassou o Canadá na capacidade instalada, ocupando a 8ª posição do ranking mundial. Em 2020 passou a ocupar a 7ª posição, com uma marca de 19 GW de capacidade instalada, o que representa 10% da matriz elétrica nacional. Segundo previsão da Abeeólica (2020), o Brasil deve alcançar cerca de 30,2 GW de potência instalada em 2024.

O primeiro passo importante para a inserção da energia eólica no Brasil foi dado com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Segundo os procedimentos estabelecidos, foram assinados contratos de compra e venda de energia com prazo de vinte anos a partir da data planejada para entrada em operação comercial, viabilizando a construção de Centrais Eólicas. Assim, diversos fabricantes da cadeia industrial eólica se instalaram no país, pois previram um índice de nacionalização de equipamentos e serviços. Além da contribuição para o crescimento da oferta de energia, ocorreu um crescimento econômico, qualificação de mão de obra e geração de empregos. Portanto, a Energia Eólica demandou diversos estudos e com eles vieram os problemas de conexão. Algumas concessionárias, sem o devido conhecimento, desconsideraram a importância de estudos mais aprofundados para a conexão das Centrais Eólicas, e não foram exigidas a realização de campanhas de medição para avaliar a qualidade de energia que estava sendo entregue.

De acordo com o Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede, ONS (2011), quando ocorrem solicitações de acesso de agentes de geração, cujas instalações não lineares possam comprometer o desempenho da Rede Básica, como é o caso das Centrais Eólicas, devem ser realizadas análises fundamentais em indicadores de Qualidade de Energia Elétrica – QEE. As medições oferecem uma avaliação do impacto da nova instalação considerando as condições sistêmicas no momento de sua conexão. As informações obtidas pela medição permitem verificar o desempenho real, sem a necessidade da utilização de recursos de modelagem da rede elétrica, que como se sabe, retratam o efeito da instalação no Ponto de Acoplamento Comum - PAC de forma aproximada, e tanto quanto possível, conservadora. Por outro lado, a realização dos estudos possibilita uma avaliação prospectiva do efeito da nova instalação no sistema. Nesses estudos devem ser consideradas diversas configurações sistêmicas no horizonte de operação disponível, incluindo condições de emergência, que poderão não ocorrer, necessariamente, durante as campanhas de medição. Assim sendo, os procedimentos, os estudos e medições têm caráter complementar, pois se referem a momentos e situações diversas.

Portanto, este artigo tem como objetivo apresentar as normas e metodologias atualmente utilizadas para a análise do impacto da integração de Centrais Eólicas ao Sistema Elétrico Brasileiro por meio da realização de Campanhas de Medição de Qualidade de Energia. Para tal feito, foram realizadas comparações entre normas internacionais e as adotadas nacionalmente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, além da realização de um estudo de caso com seus resultados.

2. ENERGIA DAS CENTRAIS EÓLICAS NO SISTEMA ELÉTRICO

O impacto da conexão das Centrais Eólicas e outras cargas não lineares no Sistema Elétrico tem sido alvo de estudos por muitos pesquisadores. A preocupação dos Operadores de Sistema em relação ao impacto vem crescendo diante da inserção da Geração Eólica na Rede Elétrica, do qual muito tem se comentado sobre as técnicas para a realização das campanhas de medição, instrumentos utilizados e as grandezas a serem analisadas. O Brasil possui mecanismos de análise que são descritos tanto nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, quanto nos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

As centrais eólicas brasileiras apresentam características particulares, tais como grande potência, elevada distância dos centros de carga e uso intensivo do sistema de transmissão. Este perfil acarreta uma demanda de estudos e análises dos impactos na estabilidade do Sistema Elétrico durante a ocorrência de faltas.

O Submódulo 3.6 dos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, estabelece os requisitos técnicos mínimos para a conexão de centrais na rede básica, como suportar subtensões decorrentes de faltas “*Fault Ride-Through*”. Ademais devem ser capazes de operar em regime permanente numa larga faixa de frequência, sem atuação de relés de sub e sobrefrequência temporizados; geração/absorção de reativos com fator de potência devendo variar de 0,95 capacitivo a 0,95 indutivo, quando solicitado pelo ONS. As instruções para a realização dos estudos e das medições da qualidade de energia relacionados ao acesso de cargas não lineares, além de indicar os instrumentos de medição homologados para realização das campanhas de medição, faz recomendações quanto aos transdutores de tensão.

Ao se tratar da análise de estabilidade da rede, existe uma grande diferença entre os impactos de um único aerogerador no Sistema Elétrico e os impactos de uma Central Eólica. Existem diversas técnicas para levar em consideração os efeitos de cancelamentos de picos de potência. Além disso, estatisticamente, a ocorrência de picos simultâneos de potência é reduzida com a distribuição espacial dos aerogeradores em diversas áreas geográficas. Rosas (2003) e Ackermann (2012) indicaram que o aumento de aerogeradores numa central eólica tende a suavizar a variação da potência gerada devido a picos de turbulência. Este fator acontece visto que as rajadas de vento não alcançam todas as turbinas simultaneamente. Por outro lado, a distribuição das centrais ao longo do espaço geográfico, principalmente ao se espalharem entre áreas com diferentes padrões,

tais como litoral, serras e desertos, buscam suavizar as variações diurnas e sinóticas da velocidade do vento. Este efeito torna-se de grande benefício para ajudar a reduzir o impacto sobre a estabilidade do sistema elétrico. Uma simulação deste efeito é apresentada na Fig. 1.

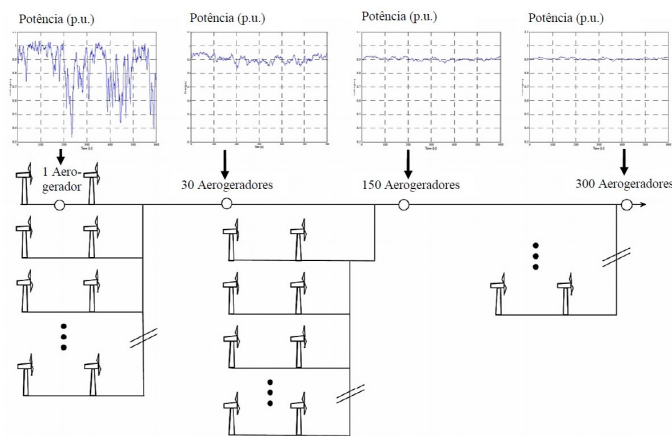


Fig. 1. Efeito de suavização da potência de Centrais Eólicas - *Smoothing Effect* (Fonte: Rosas (2003))

É uma das maiores preocupações dos operadores do sistema elétrico quanto à penetração de grandes blocos de energia eólica na rede estão relacionados com a confiabilidade de suprimento. A grande perturbação causada pelas centrais eólicas é pela desconexão em resposta aos afundamentos de tensão, problema que pode ser resolvido por meio da implementação do sistema de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas - *Low Voltage Ride Through Fault*. Assim, foi proposto a implantação de centros de despacho de Centrais Eólicas, que permitiriam uma maior penetração dessa fonte de energia sem a necessidade de investimentos no sistema de transmissão. Por meio da limitação ativa da potência das usinas, torna-se possível uma capacidade instalada de Usinas Eólicas maior que a capacidade de transmissão do sistema.

3. IMPACTOS DA ENERGIA EÓLICA NA REDE ELÉTRICA

Na maior parte do mundo a Energia Eólica supre apenas uma pequena fração da demanda elétrica total. Entretanto, em algumas regiões, principalmente na Europa, a eólica representa uma fatia significativa do total da energia consumida.

Os aerogeradores possuem particularidades no funcionamento e integração com a rede elétrica quando comparadas aos meios tradicionais de geração de energia, dos quais são afetadas por redes locais e globais. Algumas diferenças básicas consistem no sistema de controle, dado que as turbinas eólicas são diferentes, mediante uso recorrente de conversores de potência. Outro fator é a força motriz geradora, o vento, que é tipicamente um fenômeno sujeito a variações ocasionais, não sendo, portanto, controlável. E para finalizar, as dimensões do gerador eólico quando comparadas às dos geradores convencionais, passam a ser necessário um grande número de unidades para compor a usina. Em suma, os impactos são classificados em termos de horizonte temporal e tecnologia dos aerogeradores.

A influência dos aerogeradores nas redes locais de energia depende da tecnologia, ou seja, operação à velocidade fixa ou variável. Aerogeradores de velocidade fixa utilizam geradores de indução, que na ocorrência de faltas equilibradas, essas contribuem apenas para as correntes do tipo subtransitórias. Para faltas desequilibradas, a contribuição das turbinas eólicas para o valor da corrente de falta é integral. Para aerogeradores de velocidade variável, tipo geradores de indução de dupla alimentação - DFIG, em princípio já sofrem influências nas correntes de falta na rede, pois os mesmos estão associados a conversores de potência, que são sensíveis à sobrecorrentes, do qual faz com que o sistema seja rapidamente desconectado da rede.

Para os impactos na redes globais, as turbinas à velocidade fixa, como gerador de indução com rotor em gaiola de esquilo, um grave problema que pode ocorrer é a sobre-velocidade do rotor. O disparo ocorre devido à ocorrência de uma falta no sistema e a consequente queda de tensão dessa falta gera um grave desequilíbrio entre a potência mecânica gerada pelo vento e a potência gerada à rede. Após cessada a falta, outro problema ocorre que é a absorção de reativos do gerador por meio da rede, contribuindo para retardar a recuperação de tensão na rede. Caso a tensão do sistema não seja restabelecida para valores nominais rapidamente, as turbinas tendem a acelerar e absorver mais potência reativa. Assim, percebe-se que turbinas de velocidade fixa compostas por geradores de gaiola de esquilo não são capazes de ajudar na manutenção da estabilidade da rede, fato que é fundamental para que se possa entregar ao consumidor uma energia de qualidade. Para as turbinas de velocidade variável, um risco para a estabilidade do sistema é a grande sensibilidade dos conversores de potência às variações de tensão e corrente. Assim, se o sistema tiver uma grande presença deste tipo de turbina (atual tendência do mercado), e essas se desconectarem para pequenas e médias variações de tensão, uma grande queda de tensão irá afetar todo o sistema de energia. Visando evitar esse problema, os códigos de rede em geral estabelecem os níveis de afundamentos de tensão para os quais as turbinas eólicas devem suportar sem se desconectar, evitando assim, grandes perdas de potência de geração.

Assim, o comportamento dos aerogeradores em relação às redes elétricas é diferente, necessitando de um tratamento pormenorizado.

4. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NAS CENTRAIS EÓLICAS

Segundo Sankaran (2017), Qualidade de Energia Elétrica - QEE é um conjunto de limites elétricos que permitem que um determinado equipamento funcione conforme especificações sem a perda significativa de desempenho ou da expectativa da vida útil. Desta forma, o ONS instituiu os Procedimentos de Rede que são as normas a serem seguidas por todos os agentes conectados à Rede Básica. Além destes procedimentos, existem também o PRODIST, que são as normas a serem seguidas pelas distribuidoras de energia e agentes conectados em sua rede, sendo estes procedimentos um pouco menos exigentes quanto à QEE. Ambos os procedimentos aplicam-se, inclusive, aos geradores eólicos.

Como a potência gerada dos parques eólicos estão aumentando, às vezes até superando a potência de usinas já tradicionais como termelétricas e pequenas centrais hidrelétricas, o comportamento dessas novas instalações devem seguir alguns parâmetros ditados pelos Códigos de Rede, visando contribuir para a manutenção dos valores nominais de tensão, frequência e estabilidade. Ou seja, as novas instalações eólicas devem suprir os requisitos modernos de qualidade de energia.

As principais grandezas de QEE contidos nos procedimentos aplicáveis ao Sistema Elétrico Brasileiro referem-se a distorção harmônica de tensão, flutuação de tensão (flicker), desequilíbrio de tensão, variação da tensão de curta e longa duração, nível da tensão de fornecimento e indicadores de continuidade do serviço.

A crescente penetração de cargas não lineares, a exemplo da Eólica, têm Impacto na Qualidade de Energia, do qual exigiu que os agentes de operação e regulação do sistema tomassem medidas mais proativas de maneira a medir e garantir níveis satisfatórios de QEE. Sistemas de monitoramento contínuo e pontual estão sendo cada vez mais utilizados, com fundamental importância a estabilização de padrões de aceitação para os distúrbios na qualidade da energia provocada pelos agentes conectados ao sistema elétrico.

Diante das dificuldades financeiras e logísticas impossibilitarem o monitoramento da qualidade de energia contínua em todas as subestações e barramentos do sistema elétrico, torna-se necessário realizar ao menos campanhas de rotina de medição. Entretanto, a quantidade de dados armazenados pelos medidores ao longo do tempo seria substancialmente grande e não teriam uma maneira direta de se comparar com determinados padrões ou até mesmo entre medições realizadas em períodos ou locais diferentes. Desta forma, é primordial um banco de dados referente à Qualidade de Energia, com o propósito de avaliar os níveis de distúrbios na rede mediante com ações mitigadoras, de tal maneira que possa se ter um diagnóstico do desempenho global quando comparado com padrões vigentes.

Conforme os Procedimentos de Rede do ONS, de maneira a verificar e garantir que a conexão de uma Central Eólica ao Sistema Interligado Nacional – SIN não produza impactos negativos no tocante à QEE, cabe ao agente conectante de cargas não lineares, caso dos geradores eólicos, realizar as medições de QEE sob a forma de campanha de medição, segundo Silva (2013). A campanha de medição pode ser dividida em duas etapas, sendo primeiro uma campanha pré-operacional e depois a operacional. A medição pré-operacional deve ser realizada durante um período de sete dias consecutivos, do qual devem ser evitados períodos que contenham feriados ou desligamentos programados. No caso da medição operacional, esta também deve ser realizada por um período mínimo de sete dias consecutivos e imediatamente após a entrada em operação da instalação. O período da medição deve ser estabelecido considerando que pelo menos noventa por cento das unidades geradoras que compõem o complexo eólico estejam em operação ao longo de todo o período de medição. E que a produção durante esse período de medição, corresponda no mínimo, àquela estabelecida pelo seu fator de capacidade anual previsto através dos estudos eólicos.

5. MEDIÇÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA EÓLICA

Para analisar a Qualidade da Energia Elétrica, alguns indicadores foram especificados na campanha de medição de uma Central Eólica com 67 Turbinas Eólicas de mesmo modelo. Foi realizada apenas a campanha de medição pós operacional, no qual alguns dados foram cedidos pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco - CHESF. Os aerogeradores são de tecnologia de velocidade variável, DFIG, fornecimento de reativos através de bancos de capacitores e controle de potência aerodinâmica através do controle de pitch. A Central Eólica totaliza 140,7 MW de capacidade instalada.

O local selecionado para a realização das medições foi a Subestação Russas II no Ponto de Acoplamento Comum do Parque Eólico com entrada de linha de transmissão, conforme apresentado na Fig. 2

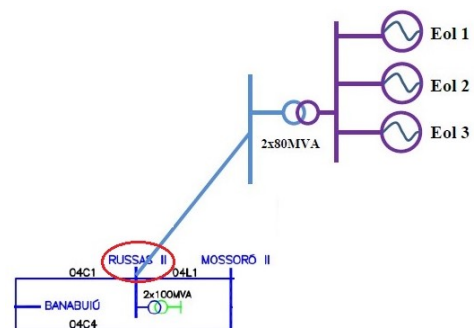


Fig. 2. Diagrama unifilar simplificado (Fonte: CHESF)

Para realização das medições foram utilizados transdutores de tensão atualmente instalados na entrada de linha do Parque Eólico, um transformador de potencial capacitivo – TPC e um transformador de corrente - TC. Apesar dos transdutores não serem os mais indicados para a medição, principalmente em decorrência dos harmônicos, foi optado por sua utilização a fim de se evitar intervenções com ações complementares de instalação de transdutores distintos. Dado que além das perdas causadas pela parada para sua energização, podem vir a aumentar o risco de perturbação e ocorrência na operação do sistema em uma eventual falha no equipamento.

Durante o período da medição, o Parque Eólico obteve uma produção de 14.595 MWh, equivalente a um fator de capacidade de 61,7%. Tendo em vista que o fator de capacidade no período avaliado foi maior do que o previsto para o Parque Eólico na média anual, pode-se considerar que o período definido para a medição atende às recomendações do ONS.

Dado a medição realizada no barramento da rede básica, foram considerados os valores limites globais para avaliar e comparar o desempenho dos indicadores de QEE. A Fig. 3 apresenta a tendência de potência ativa gerada pela central.

Para avaliar o desempenho do indicador de Distorção de Tensão Harmônica Total no ponto de acoplamento comum do parque, foram medidos os indicadores previstos nos Procedimentos de Rede, com o percentil de 95%, e

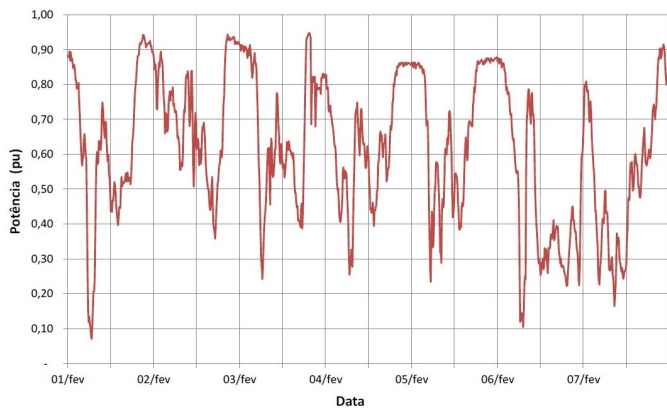


Fig. 3. Potência ativa gerada pelo parque na campanha de medição.

os indicadores previstos na norma IEC 61400-21, com o percentil 99%. O gráfico de tendência de Distorção de Tensão Harmônica Total – DTHT está apresentado na Fig. 4. Na Fig. 5 apresenta os histogramas de DTHT para as fases A, B e C, respectivamente.

Para realizar a avaliação do desempenho do indicador DTHT, foram calculados os sete valores diários em que o nível de DTHT foi excedido em apenas 5% das medições para cada fase. Dentro dos indicadores de distorção, DTHT95% e DTHT99%, apresentaram valores abaixo dos limites globais de desempenho, do qual o padrão estabelecido pela ONS é de 3%.

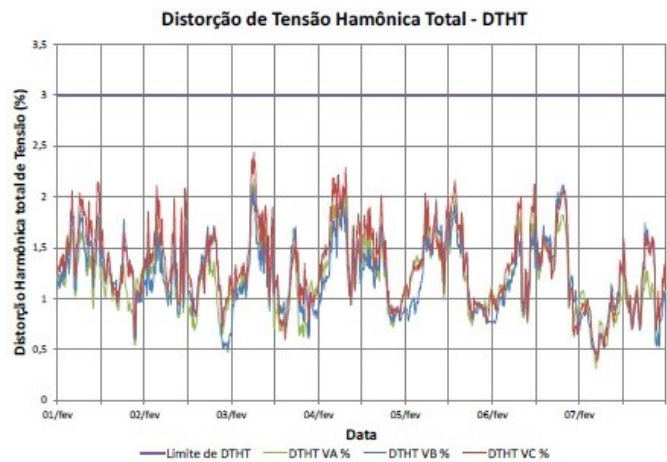


Fig. 4. Distorção Harmônica Total de Tensão

Da mesma forma que foi avaliado o DTHT, analisou o desempenho do indicador de Flutuação de Tensão de Curta Duração. Foram calculados os sete valores diários em que o Pst (*Probability Short Term*) foi excedido em apenas 5% das medições, chegando-se ao PstD95%. Para se realizar uma comparação mais rígida, foi calculado de maneira similar os indicadores PstD99% conforme IEC 61400-21. O valor máximo de PstD95% para as três fases foram 0,15; 0,16 e 0,14, respectivamente. E para o valor máximo do PstS99% foram, 0,82; 0,50 e 0,43.

A medição que visa avaliar o desempenho do indicador de desequilíbrio de tensão no PAC do Parque Eólico, em geral, tem pouca influência, entretanto, é importante analisá-lo, uma vez que está previsto em normas internacionais e,

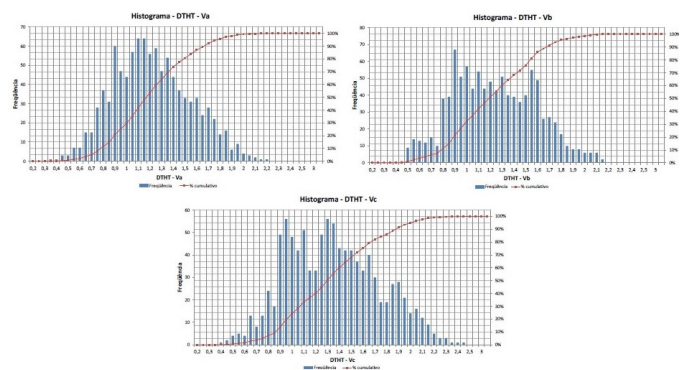


Fig. 5. Histogramas de DTHT nas fases A, B e C

mais especificamente, nos Procedimentos de Rede. A Fig. 6 apresenta a tendência do Fator de Desequilíbrio de tensão.

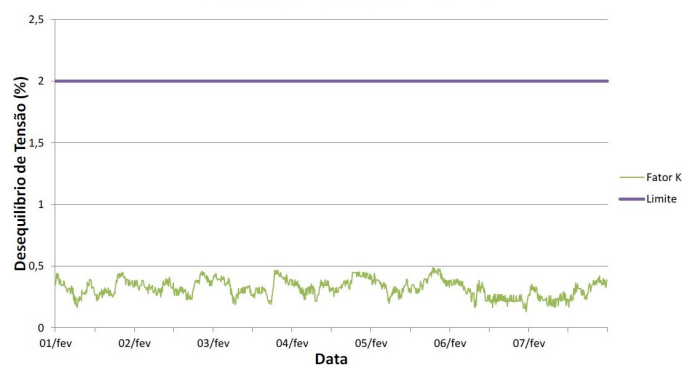


Fig. 6. Tendência do indicador de Desequilíbrio de Tensão.

Para avaliação do desempenho, foi necessário calcular os valores diários em que a grandeza foi superada em 5% das medições. Com valor final, o indicador foi representado pelo somatório dos valores globais inferiores e superiores KS95% e KS99%, respectivamente. Como resultado, alcançou um valor de KS95% de 0,46% e KS99% de 0,48%, mostrando dentro dos valores padronizados do limite global de 2%.

Outro fator é que o desequilíbrio cresce proporcionalmente à potência gerada pelo parque conforme é apresentado na Fig. 7, porém o aumento é muito suave. Assim, pode-se concluir que o impacto na QEE não é tão significativo.

Durante o período da medição não foi detectado nenhuma Variação de Tensão de Curta Duração – VTCD. Entretanto para caráter de pesquisa, foi avaliado o evento em outro momento. O afundamento de tensão ocorreu na fase B, chegando ao valor de 0,547 pu. O evento apresentou uma duração muito curta, voltando a valores acima de 0,9 pu em apenas 90ms. Durante o ocorrido, o parque eólico apresentou uma geração média de aproximadamente 50.000 kW.

De acordo com a Fig. 8, o evento de VTCD não teve um afundamento de tensão tão severo, entretanto, foi o suficiente para tirar o Parque Eólico de operação. Este fato representou uma perda de geração.

Na Fig. 9, observa-se que o parque saiu de operação durante o evento de VTCD, no qual fica evidente que o

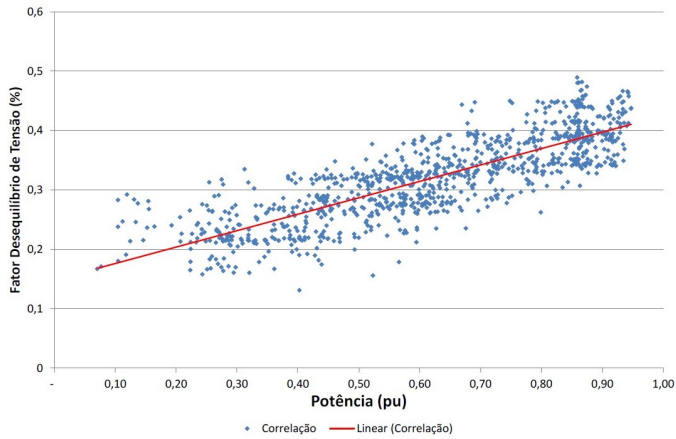


Fig. 7. Correlação entre Desequilíbrio de tensão e potência gerada.

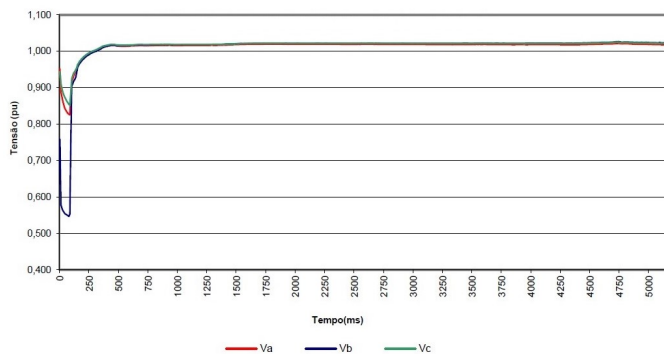


Fig. 8. Tensão durante um VTCD.

parque não atendeu aos requisitos de *Fault Ride Through* previstos nos Procedimentos de Rede. Eventos como estes podem trazer problemas à estabilidade do sistema elétrico local.

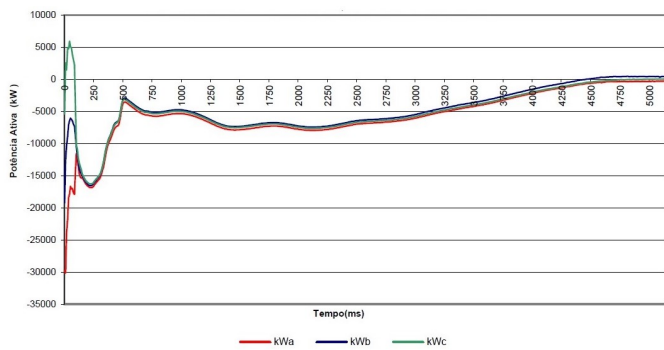


Fig. 9. Potência Ativa durante um VTCD.

6. CONCLUSÃO

Como forma de avaliar os impactos foi realizado um estudo abordando alguns dos problemas relacionados à conexão de Centrais Eólicas no direcionamento da QEE. Foram usados como referência os requisitos técnicos exigidos pelos Procedimentos de Rede do ONS e do PRODIST.

Como atualmente as tecnologias de aerogeradores mais utilizados são as de velocidade variável, foi analisado suas

vantagens e desvantagens do ponto de vista de impacto na rede. E para os indicadores de QEE previstos nos Procedimentos de Rede, particularmente os relacionados à tensão, tais como Distorção Harmônica, Flutuação de Tensão e Desequilíbrio foram apresentados os limites globais.

Diante da natureza da geração eólica, alguns procedimentos podem se apresentar inadequados, devido a aleatoriedade dos ventos, ou seja, a geração nominal das centrais podem não coincidir com os períodos da medição, o que pode resultar em condições de contorno incorreta. Desta forma é necessário estabelecer metas para medições do impacto das centrais Eólicas sobre a QEE que deveriam ser seguidos pelos Procedimentos de Rede do ONS.

Na análise, foi possível observar o nível de Distorção Harmônica de Tensão do ponto de acoplamento comum que apresentou redução com o aumento da geração de energia. Apesar de os níveis de Tensão estarem adequados, apresentam valores próximos aos limites regulatórios e a conexão de novos parques pode ser restrita a diferentes tecnologias.

A tecnologia utilizada dos aerogeradores apresentam grandes flutuações, apesar de não ter sido percebido durante as medições. Isso indica que em condições específicas, talvez critérios de qualidade de energia exigirão a opção por diferentes tecnologias de turbinas eólicas, sendo preferida máquinas com grande impacto.

A inserção da Energia Eólica no Sistema Elétrico acarreta em uma série de preocupações e desafios aos Operadores do Sistema e a todos os profissionais envolvidos no Setor Elétrico. O impacto sobre a Qualidade de Energia Elétrica deve ser amplamente estudado e discutido a fim de se evitarem problemas maiores no futuro.

REFERÊNCIAS

- Ackermann, Thomas (Ed.). Wind power in power systems. John Wiley & Sons, 2012.
- Associação Brasileira de Energia Eólica. Boletim Anual de Geração Eólica – 2020. São Paulo: Abeeólica, 2020.
- Global Wind Report 2021. Council, Global Wind Energy, 2021.
- Maia, Thiago Alburquerque. Análise da inserção de energia eólica na matriz elétrica brasileira - 2017.
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Procedimentos de Rede. Submódulo 2.8, Revisão 2.0, Brasil, 2011.
- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição, Revisão 4, Brasil, 2012.
- Rosas, Pedro. Dynamic influences of wind power on the power system. 2003.
- Sankaran, C. Power quality. CRC press, 2017.
- Silva, Marcio Rilton Vieira da et al. Relatório de estágio: Companhia Hidrelétrica do São Francisco CHESF. 2013.
- World Wind Energy Association. Wind power capacity worldwide reaches 600 gw, 53, 9 gw added in 2018.