



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -GDS

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GDS

A MEDIÇÃO DO IMPACTO DA CONEXÃO DE USINAS EÓLICAS SOBRE A QUALIDADE DA ENERGIA DAS REDES ELÉTRICAS

Luiz F. W. de Souza	Alex J. de C. Mello	Angela C. S. L. Guimarães	Guilherme C. Rodrigues
Cepel	Cepel	Chesf	Eletrobrás

RESUMO

As usinas eólicas têm participado cada vez mais da geração de energia elétrica no Brasil. Por suas características particulares, associadas à variação estocástica dos ventos, os aerogeradores se comportam de maneira diferente de outras instalações da rede elétrica. Este artigo discute os requisitos de qualidade de energia para conexão de aerogeradores às redes elétricas de transmissão. A partir da revisão das características de operação das usinas eólicas, mostra-se que os requisitos atualmente adotados não avaliam adequadamente o impacto dos aerogeradores sobre a qualidade de energia da rede. O artigo sugere algumas formas de se resolver o problema.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Eólica, Qualidade de energia, IEC 61400-21, Aerogeradores, Medição

1.0 - INTRODUÇÃO

A participação da geração eólica nas matrizes energéticas em todo o mundo vem aumentando significativamente e deve crescer ainda mais nos próximos anos. Estimava-se que a União Européia, em 2010, teria 22% da sua geração de eletricidade através de fontes renováveis e que a energia eólica contribuiria com a principal parcela dessa geração (1).

No Brasil, diferentemente de outros países, as usinas hidrelétricas geram cerca de 76% da energia elétrica consumida (2). Mesmo assim, a matriz energética vem se diversificando e o número de usinas eólicas vem aumentando a cada ano. Estima-se que o país tenha um potencial eólico real de cerca de 30 GW. Dos mais de 1300MW aprovados pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia da Eletrobrás (3), até hoje, encontram-se em operação quase 40 projetos de Usinas de Geração Eólica. Em dezembro de 2009, com o fechamento do Leilão Exclusivo de Eólica (4), mais de 1600MW em projetos deverão ser integrados ao Sistema Elétrico Brasileiro (SIN) através de 70 novos acessos. Acrescentando as novas contratações dos leilões de Fontes Renováveis e de Energia de Reserva em agosto de 2010, até 2013 o Brasil atingirá um total de 4597MW em potência instalada.

Devido às variações de potência gerada inerentes à fonte, a integração das usinas eólicas à rede e sua operação acarreta em algumas dificuldades (5). Para permitir uma melhor eficiência e controlabilidade das usinas eólicas, há

uma tendência a se usar aerogeradores de velocidade variável e conversores eletrônicos de potência para conectá-los à rede.

Do ponto de vista da qualidade da energia fornecida pelas redes elétricas, a conexão de aerogeradores pode impactar o desempenho do sistema quanto a harmônicos e flutuações de tensão. A operação das usinas eólicas possui características particulares que as diferenciam de outros acessantes à rede elétrica, requerendo uma abordagem diferente para avaliação do seu impacto na qualidade da energia elétrica. Hoje, os Procedimentos de Rede praticamente não estabelecem requisitos de qualidade de energia elétrica específicos para aerogeradores, observando suas particularidades, quando do acesso às redes de transmissão. Por isso, é necessário estabelecer requisitos específicos de medição de qualidade de energia para a conexão de usinas eólicas às redes elétricas.

O objetivo deste trabalho é discutir a medição de qualidade de energia como requisito de acesso de usinas eólicas às redes elétricas. Inicialmente, se fará uma breve revisão das principais tecnologias de geração eólica, a forma como elas impactam a qualidade de energia elétrica da rede e sua dependência com a velocidade do vento. Os critérios atuais de medição para conexão de usinas eólicas à rede básica são discutidos. A medição da qualidade de energia proposta pela norma IEC 61400-21 é apresentada, com ênfase em suas principais características, no trabalho desenvolvido no Cobei para produzir uma versão brasileira da norma e nos esforços para se desenvolver um sistema de medição capaz de realizar as medições da forma recomendada. Os requisitos de medição para conexão à rede básica e a norma de avaliação da qualidade de energia dos aerogeradores são analisados de forma comparativa, destacando-se suas semelhanças e diferenças. Baseando-se nesta comparação, o trabalho é concluído apresentando sugestões de critérios de medição para conexão de aerogeradores às redes elétricas.

2.0 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO EÓLICA E QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

A tecnologia de aerogeradores tem evoluído rapidamente e a cada dia surgem novas configurações de máquinas elétricas, conversores e controladores. A energia elétrica é produzida por geradores elétricos ligados à turbina eólica diretamente ou através de um sistema de transmissão mecânica. A conexão à rede elétrica pode ser feita diretamente ou através de conversores de eletrônica de potência. As combinações destes equipamentos e tecnologias produzem diferentes configurações. As principais configurações são:

- Gerador de Indução Diretamente Conectado à rede (GIDC): em geral, essa tecnologia utiliza geradores do tipo rotor gaiola, um sistema de transmissão mecânica para ligar o gerador à turbina e bancos de capacitores chaveados na conexão à rede.
- Gerador de Indução de Dupla Alimentação (GIDA): são geradores de indução do tipo rotor bobinado, com o estator ligado diretamente à rede elétrica, o rotor alimentado por um conversor eletrônico usualmente do tipo *back-to-back* e um sistema de transmissão mecânica para ligar o gerador à turbina.
- Gerador Síncrono com Conversor de Tensão (GSCT): são geradores síncronos, algumas vezes de ímãs permanentes, com ou sem sistema de transmissão mecânica ligando gerador e turbina, operando em velocidade variável e conectados à rede elétrica através de um conversor eletrônico, usualmente do tipo *back-to-back*.

Qualquer que seja a tecnologia de geração utilizada, uma característica importante dos aerogeradores é que sua potência gerada depende da velocidade do vento. A FIGURA 1 mostra um exemplo de curvas de potência de aerogeradores do tipo gerador síncrono com conversor de tensão.

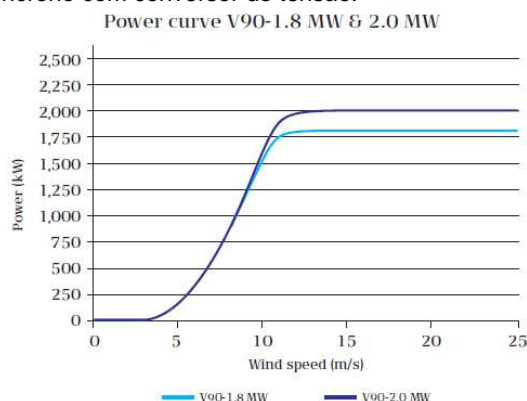


FIGURA 1 - Exemplos de curvas de potência de saída vs velocidade do vento para dois aerogeradores (13)

As séries temporais de medições da velocidade do vento, por sua vez, têm como principal característica uma grande variabilidade em módulo e em direção (15). As variações ocorrem em curta duração, com a ocorrência de rajadas, diariamente e ainda sazonalmente. A FIGURA 2 mostra a variação da velocidade média do vento por

trimestre na região de Fortaleza-CE (14). A FIGURA 3 mostra aproximações de curvas de frequência de ocorrências de velocidades do vento para diferentes velocidades médias, segundo a distribuição de Weibull (11).

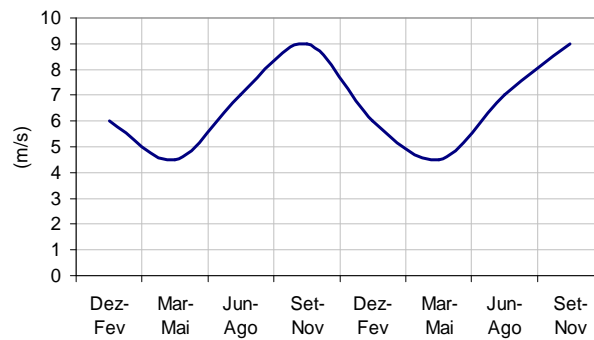


FIGURA 2 - Velocidade Média Trimestral do Vento a 50 m de Altura na Região de Fortaleza-CE

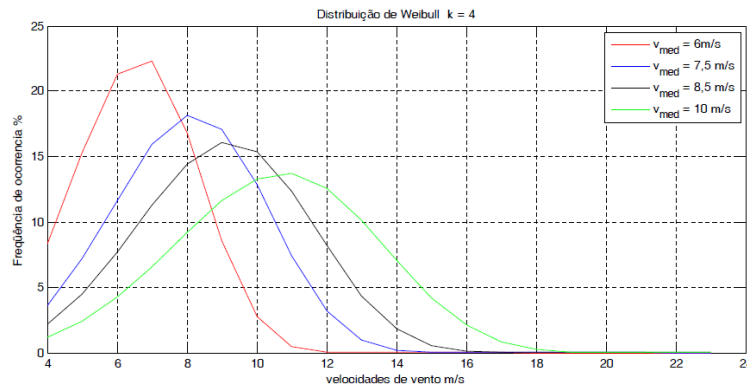


FIGURA 3 - Ocorrências de ventos para diferentes velocidades médias – Aproximação por Distribuição de Weibull

As características associadas à fonte primária de energia nas usinas eólicas (as variações de vento/potência) e a algumas das tecnologias de geração adotadas (o uso de eletrônica de potência na integração à rede elétrica) fazem com que surja uma preocupação com a qualidade da energia elétrica associada ao fornecimento de energia a partir dessas fontes (9). Alguns pontos se destacam:

- A variabilidade dos ventos e sua consequente variação de geração de potência, o efeito “sombra” da torre, as operações de chaveamento e as partidas e paradas de unidades podem produzir flutuações de tensões na rede elétrica que têm, como efeito, a cintilação de lâmpadas, podendo causar incômodo visual. Este é um problema causado pelas usinas eólicas.
- A utilização de conversores eletrônicos de potência para integração de alguns tipos de aerogeradores à rede elétrica tem como efeito a produção de harmônicos de corrente, que por sua vez podem causar distorções de tensão na rede elétrica. Este também é um problema causado pelas usinas eólicas.
- Variações de tensão de curta duração podem causar a desconexão de aerogeradores da rede elétrica. Neste caso, a usina eólica é vítima. O efeito da perda de uma significativa parcela de geração eólica pode levar a problemas de desempenho do sistema elétrico. O assunto não será abordado neste IT.

Conclui-se que os níveis de distorção harmônica e flutuação de tensão introduzidos por um aerogerador são dependentes da potência gerada, que por sua vez depende da velocidade do vento. Assim, a qualidade da energia elétrica associada a um aerogerador depende indiretamente da velocidade do vento. Sua medição deverá considerar a velocidade do vento como um parâmetro relevante, seja diretamente, seja através da potência gerada.

3.0 - REQUISITOS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA PARA CONEXÃO DE NOVOS AGENTES AO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

Os procedimentos de rede (7), em seu submódulo 3.4, tratam de critérios específicos para o acesso de geradores eólicos à Rede Básica. Esses critérios envolvem estudos, requisitos de operação, suportabilidade a afundamentos de tensão (*low-voltage ride-through*) e qualidade de energia.

Para a medição da qualidade de energia associada às usinas eólicas, o submódulo 3.4 dos procedimentos de rede do ONS faz referência ao submódulo 2.8, que trata do gerenciamento do desempenho da Rede Básica. As principais características referentes a harmônicos e flutuação de tensão de novas instalações são:

- Indicadores de flutuação de tensão: são definidos indicadores a partir do Pst e Plt obtidos através de medidores que usem o protocolo definido na IEC 61000-4-15 (11). Os indicadores são:
 - PstD95%: maior valor de percentil de 95% do Pst, medido diariamente, ao longo de uma semana;
 - PltS95%: percentil de 95% do Plt medido ao longo de uma semana;
- Indicadores de harmônicos de tensão: são definidos a partir da medição de harmônicos em janelas de 10 minutos, de acordo com o protocolo definido na IEC 61000-4-7 (12). Tanto para a distorção harmônica total (DHT) quanto para os harmônicos individuais, o indicador é definido como o percentil de 95% ao longo de uma semana, ou seja, é o valor que não é excedido em mais do que 5% em uma semana.
- São definidos limites globais (que consideram todos os agentes operando simultaneamente e podem ser medidos) e limites individuais (que consideram os efeitos de apenas um agente e só podem ser obtidos por simulação) tanto para flutuação quanto para harmônicos de tensão.

O acesso de novos agentes à Rede Básica é tratado no item 15 do submódulo 2.8. Com referência a medição de qualidade de energia, tratada no submódulo como apuração de indicadores, os seguintes itens são destacados:

- As campanhas de medição devem ser realizadas por períodos de sete dias;
- Devem ser realizadas campanhas de medição imediatamente antes e após a conexão da usina eólica à Rede Básica;
- As campanhas de medição podem envolver medições de indicadores de flutuação, desequilíbrio e harmônicos de tensão;
- Dependendo do tipo de instalação, *i. e.*, se há equipamentos não lineares, devem também ser medidas correntes harmônicas. Note-se que, apesar disso, não há uma definição de limites para correntes harmônicas a serem injetadas pela usina eólica.

4.0 - MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA DE AEROGERADORES: A IEC 61400-21

4.1 Características da Norma

Para definir e padronizar procedimentos de medição da qualidade de energia associada a aerogeradores, a IEC criou a norma 61400-21, "Medição e Avaliação da Qualidade de Energia de Aerogeradores Conectados à Rede Elétrica" (8). Desde 2002, o Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Telecomunicações e Iluminação (Cobei) criou uma comissão de estudo para adaptar o trabalho realizado na IEC às condições brasileiras e produzir as normas nacionais para aerogeradores, incluindo a NBR-IEC 61400-21 (10).

Dentre as particularidades das medições de qualidade de energia de aerogeradores está o fato da duração de uma campanha de medição depender da velocidade do vento. Segundo a IEC 61400-21, é necessário obter certo número de amostras de indicadores de qualidade de energia para cada faixa de vento pré-especificada. A duração da medição dependerá da ocorrência e da variação dos ventos. O esquema de medição de qualidade de energia recomendado pela norma é mostrado na Figura 4.

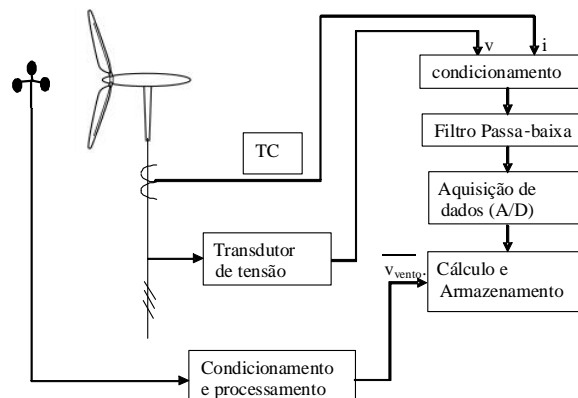


FIGURA 4 - Esquema de medição da qualidade da energia elétrica de um aerogerador segundo a IEC 61400-21

Na figura, aparecem esquematicamente o aerogerador, o anemômetro para medir a velocidade do vento e os transdutores de tensão e corrente. Além disso, aparecem os seguintes módulos do sistema de medição:

- i. Condicionamento de Sinal: fornece isolamento, proteção e interface entre os transdutores de tensão e corrente e o sistema de aquisição e processamento de sinais;
- ii. Filtro passa-baixa: fornece a filtragem anti-aliasing, que evita a sub-amostragem do sinal;
- iii. Aquisição A/D: converte o sinal analógico em digital;
- iv. Cálculo e armazenamento de dados: transforma os dados brutos em indicadores de qualidade de energia.

A potência ativa gerada por um aerogerador é função da velocidade do vento, por isso a IEC 61400-21 estabelece que a medição de qualidade de energia de aerogeradores depende desta velocidade. A Figura 4 mostra um bloco auxiliar de condicionamento e processamento da velocidade do vento.

Os principais itens presentes na norma são sumarizados a seguir:

- Potência elétrica do aerogerador: definição das potências dos aerogeradores, como ativa em diferentes escalas de tempo, reativa e aparente;
- Flutuação de tensão: neste parâmetro se incluem as variações de tensão e cintilação (flicker), definidos para diferentes condições de operação do aerogerador. A medição de flutuação de tensão utiliza o flickermeter, definido na IEC 61000-4-15, em um circuito elétrico simulado, contendo uma fonte de corrente, dada pela corrente medida no aerogerador, e uma fonte de tensão, obtida a partir da tensão medida nos terminais do aerogerador.
- Componentes Harmônicas de Corrente: definidas para as turbinas eólicas com conversores de frequência. A medição é baseada na IEC 61000-4-7 e inclui componentes de alta frequência (acima do 50º harmônico, com $f > 3000$ Hz) e inter-harmônicas.
- Variações de Tensão de Curta Duração: a norma prevê a realização de ensaios para obter características de suportabilidade do aerogerador a afundamentos de tensão. Nestes ensaios, são produzidos afundamentos de tensão nos terminais do aerogerador pela aplicação de curtos-circuitos através de reatâncias na rede elétrica.

4.2 Desenvolvimento de um sistema de medição

Conforme resultado dos últimos leilões, as empresas do Grupo Eletrobrás terão usinas eólicas em seus parques geradores, além de agentes de geração conectados às suas instalações (6). Assim, a capacitação tecnológica será fundamental para a realização de medições da qualidade da energia associada a aerogeradores e avaliação do impacto de usinas eólicas na qualidade da energia da rede elétrica.

Há diversos medidores comerciais de qualidade de energia elétrica disponíveis no mercado que fazem medições de flutuação de tensão e harmônicos de acordo com as normas IEC (11)(13). No entanto, a IEC 61400-21 apresenta particularidades que necessitam de medidores específicos, ainda não disponíveis comercialmente. O Cepel, a Chesf e a Eletrobrás vêm realizando um projeto de pesquisa visando ao desenvolvimento de um sistema de medição capaz de atender aos requisitos desta norma. Este sistema obterá indicadores de potências ativa e reativa, flutuação de tensão e harmônicos. A Figura 5 mostra um diagrama da etapa de processamento e armazenamento de dados, como previstos na norma.

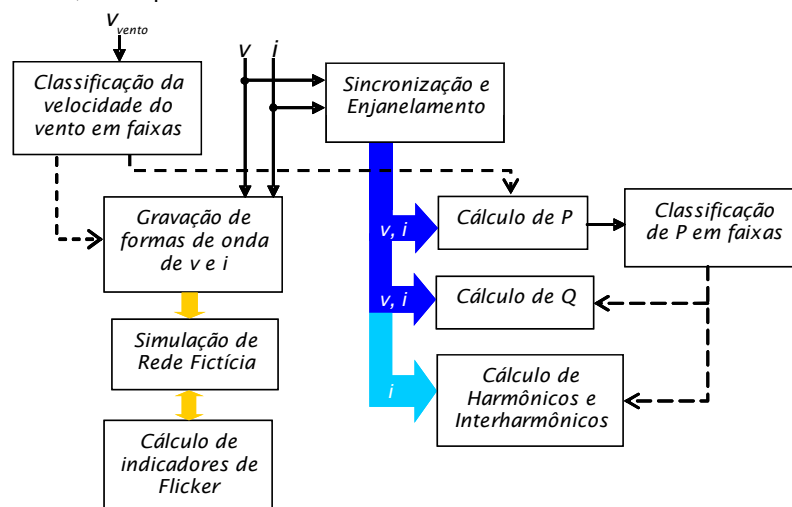


FIGURA 5 - Diagrama do processamento e armazenamento de dados segundo a IEC 61400-21

5.0 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS REQUISITOS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA

Os procedimentos de rede têm por objetivo caracterizar o impacto da conexão da usina eólica na qualidade de energia da rede. Já a norma IEC 61400-21 tem por objetivo caracterizar a qualidade da energia gerada pelos aerogeradores. Os procedimentos se preocupam em avaliar a qualidade da tensão da rede elétrica, enquanto a IEC 61400-21 avalia a corrente produzida pelos aerogeradores, seja diretamente, caso dos harmônicos, seja indiretamente, caso das flutuações de tensão, como visto na seção 4. Assim, é importante deixar claro que os documentos não são diretamente comparáveis.

Por outro lado, a avaliação dos aerogeradores através da IEC 61400-21 tem por objetivo levantar informações sobre a injeção de corrente visando a avaliar seu impacto sobre a rede elétrica à qual a usina será conectada, através de estudos, cálculos e simulações. A própria norma IEC 61400-21 possui algumas diretrizes de como fazer essa avaliação, eventualmente fazendo referência a outros documentos da IEC. Portanto, de certa forma, a norma IEC 61400-21 também pode ser utilizada na avaliação do impacto das usinas eólicas na rede, sendo até referenciada nos procedimentos de rede.

A Tabela 1 mostra um resumo da comparação das principais características dos procedimentos e da norma.

Tabela 1 – Comparação dos procedimentos e da norma IEC 61400-21		
	Procedimentos de Rede	IEC 61400-21
Objetivo	Qualidade da tensão na rede	Impacto da corrente produzida
Duração	Uma semana	Variável, em função dos ventos
Harmônicos	Tensão até 50ª ordem	Corrente até 50ª ordem
	Corrente até 50ª ordem (para equipamentos não lineares)	Corrente, inter-harmônicos Corrente, alta frequência (até 9 kHz)
Flutuação	Medição de Pst e Plt	Medição de Pst
		Estimação do coeficiente de flutuação
Protocolos	IEC 61000-4-7 (harmônicos)	IEC 61000-4-7 (harmônicos)
	IEC 61000-4-15 (flutuação)	IEC 61000-4-15 (flutuação)

Em uma campanha de medição tradicional, é selecionada uma semana de medição com característica de operação considerada típica. Os comportamentos das cargas no sistema elétrico costumam seguir padrões associados a características e hábitos dos consumidores. O ciclo das atividades sócio-econômicas pode ser tipificado em uma semana: jornada de trabalho de cinco ou seis dias; horário comercial; descanso noturno e aos domingos; etc. Eventuais mudanças de comportamento, associadas, por exemplo, a variações de temperatura em diferentes estações, podem ser consideradas na escolha da época de medição.

Por outro lado, o período de medição da qualidade da energia de aerogeradores depende não pode ser previsto antecipadamente. O comportamento de uma usina eólica não é necessariamente caracterizado em uma semana de medição ou em qualquer outro período fixo de tempo. As características de operação de uma usina eólica dependem essencialmente da velocidade do vento, sobre a qual não se tem controle. O período de medição da qualidade da energia de aerogeradores é dependente da ocorrência de ventos em determinadas faixas de velocidade. Isto pode se dar diretamente, como na medição de flutuação de tensão e potências ativas, ou indiretamente, como na medição de potências reativas e harmônicos, que dependem da ocorrência de potências de saída em determinadas faixas da potência, que é função da velocidade do vento.

6.0 - SELEÇÃO DO PERÍODO DE MEDIÇÃO E IMPACTO NOS INDICADORES

A correlação entre a velocidade do vento, a qualidade da corrente injetada por um aerogerador e a qualidade da tensão no ponto de conexão à rede de transmissão precisa ser investigada para que se possam definir procedimentos de medição mais adequados para a conexão de usinas eólicas. A Figura 6(a) mostra um circuito equivalente para análise do impacto do aerogerador na distorção harmônica da rede, onde I_n é a corrente harmônica injetada pelo aerogerador. A Figura 6(b) mostra um exemplo de algumas correntes harmônicas produzidas por um aerogerador do tipo Gerador Síncrono com Conversor de Tensão (GCST), medidas de acordo com a IEC 61400-21. Nota-se a variação dos harmônicos com a potência; alguns harmônicos, como o 11º, são mais elevados a potências mais baixas.

A Figura 2 e a Figura 3 ilustram a variação sazonal e a probabilidade de ocorrência dos ventos. Vê-se que a probabilidade de ocorrência de ventos diminui à medida que se aproxima da faixa de 15 m/s. Essa probabilidade é tanto menor quanto menor for a velocidade média do vento. Considerando-se a sazonalidade da velocidade média

do vento, a seleção do período adequado se torna essencial para a medição de qualidade de energia associada a um aerogerador. As correntes mostradas na Figura 6(b) terão maior ou menor probabilidade de ocorrência em função da velocidade média do vento à época da medição. A Figura 7(a) mostra a frequência esperada de ocorrências de corrente de 2º harmônico para períodos de diferentes velocidades médias. Já a Figura 7(b) mostra a frequência esperada de ocorrências de corrente de 11º harmônico para períodos de diferentes velocidades médias. Percebe-se que, caso seja feita a medição de uma semana em diferentes épocas do ano, com diferentes velocidades médias de vento, os maiores valores de corrente harmônica podem ocorrer com maior ou menor frequência, levando a diferentes impactos no V_n medido (Figura 6(a)). Por exemplo, a medição em uma época de velocidade média do vento de 6 m/s possivelmente avaliaria corretamente o 11º harmônico, mas subestimaria o impacto do 2º harmônico.

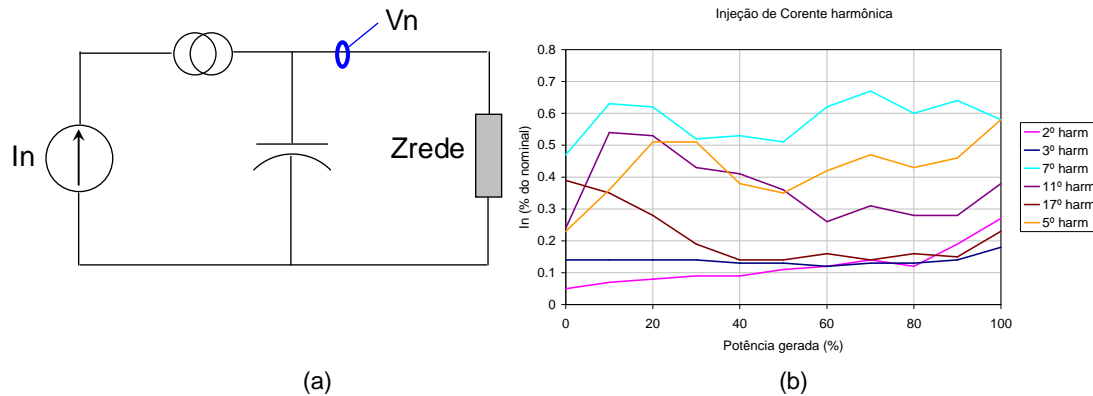


FIGURA 6 – (a) Circuito equivalente para avaliação do impacto de um aerogerador; (b) Injeção de correntes harmônicas de um aerogerador do tipo GSCT.

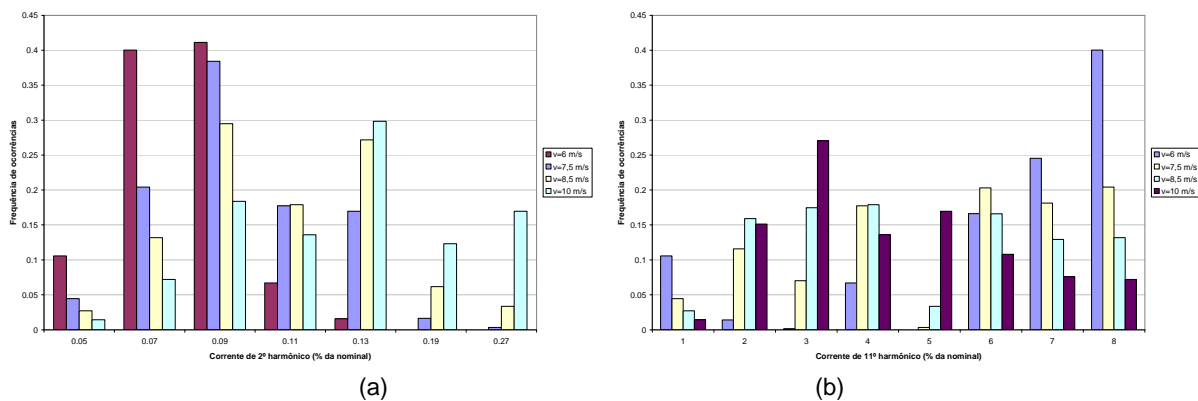


FIGURA 7 – Injeção de correntes harmônicas em função da velocidade média do vento: (a) 2ª ordem (b) 11ª ordem

Uma campanha de medição em um trimestre de baixas velocidades médias de vento pode resultar em:

- subestimação dos impactos da usina na qualidade de energia da rede, caso seja feita uma medição por uma semana, como definido nos procedimentos de rede;
- duração excessiva da medição, caso seja feita uma medição de acordo com a IEC 61400-21, dada a baixa probabilidade de ocorrências de ventos com valores médios próximos a 15 m/s.

Por outro lado, quando se pensa em medições como parte de requisitos de acesso às redes elétricas, como as exigidas pelo ONS, pode ser inviável esperar o período de maiores ventos para realizar a medição. Os procedimentos de medição devem contemplar as especificidades dos aerogeradores, especialmente no que se refere a variações na velocidade do vento, sem no entanto deixar de atender seus objetivos de avaliar o impacto das usinas sobre a qualidade da tensão da rede, se possível de forma prática

7.0 - CONCLUSÃO

A inserção de geradores eólicos na rede elétrica, do ponto de impacto sobre a qualidade da energia elétrica, traz uma série de novos desafios aos profissionais de engenharia do Setor Elétrico. Os Procedimentos de Rede estabelecem critérios de medição adequados a cargas, instalações e equipamentos tradicionais, cujos impactos sobre a rede podem ser suficientemente caracterizados em uma semana de medição. Todavia, devido à natureza aleatória da geração de energia pelos aerogeradores, este procedimento não é adequado para usinas eólicas.

A IEC 61400-21 estabelece critérios de medição de qualidade de energia para aerogeradores. Embora o objetivo seja caracterizar o comportamento de aerogeradores individuais quanto à qualidade da energia, algumas de suas filosofias podem servir de referência para medições do impacto de usinas eólicas na qualidade de energia da rede.

Baseando-se no que foi discutido no artigo, sugerem-se alguns procedimentos a serem adotados em medições de qualidade de energia associadas à conexão de aerogeradores à rede elétrica:

- A corrente de saída da usina deve ser sempre medida. Recomenda-se, quando possível, a medição da corrente de um aerogerador;
- As potências ativa e reativa médias da usina eólica devem ser registradas periodicamente, a cada 10 minutos, simultaneamente aos registros de harmônicos e flutuação de tensão;
- A velocidade do vento próxima a algum aerogerador da usina eólica deve ser registrada, seja por medição direta, seja por medição indireta;
- Sempre que possível, deve ser realizada a medição em um período em que a velocidade média do vento seja historicamente elevada;
- A duração total da medição deve ser estendida por um período suficiente para se ter ao menos 5 períodos de 10 minutos de registros em cada faixa de potência gerada pela usina.

Essas recomendações visam prover os acessantes, as concessionárias e o ONS de mais informações para uma melhor avaliação do impacto das usinas eólicas sobre a qualidade de energia elétrica da rede. No entanto, dada a complexidade do assunto e seus possíveis desdobramentos técnicos e comerciais, sugere-se uma maior discussão entre os agentes interessados, através de Grupos de Trabalho específicos, visando a elaboração de procedimentos de medição de qualidade de energia adequados às usinas eólicas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IOV, F., HANSEN, A.D., SORENSEN, P., CUTULULIS, N.A. Mapping of Grid Faults and Grid Codes, Risø-R-1617, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark, Roskilde, Denmark, July 2007.
- (2) MME. "Balanço Energético Nacional 2007: Ano Base 2006: Sumário Executivo", Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2007.
- (3) Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia da Eletrobrás – PROINFA, notícia disponível no endereço <http://www.proinfa.com.br>, 2011.
- (4) ANEEL, notícia disponível no endereço <http://www.aneel.gov.br>, 2011.
- (5) MME. "Proinfa - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas", apresentação em PDF, www.mme.gov.br, outubro de 2008.
- (6) GUIMARÃES, A. C. S. L., CARVALHO Fo., P. B. A Geração Eólica e os Desafios para a Operação do Sistema Elétrico Brasileiro. Anais do X EDAO - Encontro Para Debates de Assuntos da Operação, São Paulo, 9 a 13 de novembro de 2008.
- (7) ONS. Procedimentos de Rede. Disponível em <http://www.ons.org.br/procedimentos/index.aspx>, fevereiro de 2010.
- (8) IEC 61400-21, "Wind turbine: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines", 2nd Edition, 2009.
- (9) SORENSEN, P. *et al.*, Power Quality Issues on Wind Power Installations in Denmark, Proceedings of IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, Florida, USA, 24 a 28 de junho de 2007.
- (10) ROSAS, P. A. C., RODRIGUES, G. C., MIRANDA, M. S., VIEIRA, W., GUIMARÃES, A. C. S. L., SILVA, S. R., MEDEIROS, F. C., SOUZA, L. F. W. Proposta de Norma Brasileira para Medição e Avaliação das Características da Qualidade da Energia de Aerogeradores - NBR/IEC 61400-21. Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belo Horizonte, 2008.
- (11) IEC 61000-4-15, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 15: Flickermeter - Functional and design specifications", 2008.
- (12) IEC 61000-4-7, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto", 2008.
- (13) VESTAS. V90-1.8 MW, V90-2.0 MW - Technical Brochure, disponível em <http://www.vestas.com/en/media/brochures.aspx>, fevereiro de 2010.

- (14) AMARANTE, O. A. C. BROWER, M., ZACK, J., SÁ, A. L. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001.
- (15) RODRIGUES, G. C. Utilização de Redes Neurais para Previsão de Ventos no Horizonte de 24 Horas, Dissertação de Mestrado, Coppe/UFRJ, 2007.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Luiz Felipe Willcox de Souza, nascido em Niterói-RJ, 1972, é engenheiro eletricitista formado em 1994 pela Universidade Federal Fluminense. Obteve seu mestrado em 1998 e seu doutorado em 2007, ambos em engenharia elétrica, com ênfase em eletrônica de potência, na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalha no CEPEL desde 1996, onde atualmente é gerente de projetos. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia, aplicações de eletrônica de potência e dinâmica de sistemas elétricos de potência.



Alex Jean de Castro Mello, nascido no Rio de Janeiro em 1965, é graduado como engenheiro eletrônico em 1990 pelas Faculdades Nuno Lisboa. Obteve seu mestrado no ano de 2000 em engenharia elétrica, com ênfase em eletrônica de potência, na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalha no CEPEL desde 1984, onde atualmente atua como Pesquisador. Suas principais áreas de interesse são qualidade de energia e aplicações de eletrônica de potência.



Angela Cristina de Souza Leitão Guimarães Nascida no Recife, PE em 1973, tem mestrado (2003) e Graduação (1995) em Engenharia Elétrica pela UFPE - Pernambuco. Trabalha na CHESF, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco desde 2003, Engenheira da Divisão de Estudos da Operação Elétrica. É membro individual do CIGRE.

Guilherme Camargo Rodrigues, nascido no Rio de Janeiro, RJ em 1975, é engenheiro eletricitista formado em 2000 pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ e Mestrado em 2007, pela COPPE/UFRJ. Trabalha na ELETROBRAS desde 2003, onde atualmente é gerente da Divisão de Projetos Corporativos de Eficiência Energética. É secretário da comissão de estudos CE-003:088.01 - Turbinas para Geração Eólica do COBEI.