



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

FI/GDS/04
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

**AValiação DA INFLUÊNCIA DAS TENSÕES PRÉ-EXISTENTES NA REDE
SOBRE AS MEDIÇÃO DE CORRENTES HARMÔNICAS EM AEROGERAADORES
E A APLICAÇÃO DE PROBABILIDADES ÀS CORRENTES**

**Miguel Pires De Carli (*)
ELETROSUL**

**Rafael Eduardo Schneider Ristow
ELETROSUL**

RESUMO

Este Informe Técnico (IT) discute a influência das tensões harmônicas pré-existentes na rede sobre as medições de correntes em aerogeradores e a aplicação de probabilidades às correntes. Para isso, são apresentadas resumidamente metodologia utilizada no Brasil para avaliação das distorções harmônicas emitidas pelos parques eólicos e aspectos da IEC 61400-21 relacionados a medição e elaboração de extratos de correntes harmônicas de aerogeradores. Destaque é dado a um estudo de caso onde se demonstra o efeito das distorções de tensão sobre as medições de corrente nos aerogeradores e a redução dos valores das correntes harmônicas quando se utiliza o percentil 95 dos valores medidos.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de energia, Aerogeradores, Harmônicas

1.0 - INTRODUÇÃO

A participação da energia eólica na matriz energética brasileira tem crescido de forma expressiva. De acordo com ABEEólica, para o final de 2019 o Brasil deverá ter 16,3 GW de energia eólica em sua matriz. O aumento da inserção da energia eólica no sistema elétrico, muitas vezes concentrado em determinadas regiões, pode causar impactos na qualidade de energia elétrica do sistema, principalmente relacionados à distorção harmônica de tensão. Um dos motivos deste impacto são os retificadores e inversores utilizados nos aerogeradores de velocidade variável. Além disto, a rede interna dos parques eólicos, normalmente constituída por cabos subterrâneos e eventualmente bancos de capacitores instalados para compensação de reativos, pode provocar ressonâncias, que na presença das fontes harmônicas já existentes na rede, resultam em distorções inaceitáveis de tensão (1).

No Brasil, o Operador Nacional do Sistema (ONS) exige que um novo acessante ao sistema, seja de carga ou de geração, realize diversos estudos para verificar o impacto de seu empreendimento no sistema. Em um destes estudos, o acessante deve comprovar que a distorção harmônica de tensão gerada pelo seu empreendimento no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) atende aos limites estabelecidos nos Procedimentos de Rede (PR). Estes estudos devem ser executados conforme um relatório (2) complementar aos PR, que estabelece a metodologia a ser utilizada, conhecida como Método do Lugar Geométrico. A aplicação desta metodologia, conforme exigências do ONS, em conjunto com as características dos aerogeradores e do sistema elétrico, tem obrigado grande parte dos parques eólicos do Brasil a instalarem filtros para se adequarem aos limites de distorção exigidos nos PR.

Dentre as questões controversas envolvidas na aplicação desta metodologia para o caso dos parques eólicos estão as correntes harmônicas produzidas pelos aerogeradores e utilizadas como um dos dados de entrada no estudo. Tais correntes são fornecidas pelos fabricantes em forma de extrato e devem ser medidas conforme a norma NBR IEC 61400-21 (3), a qual estabelece procedimentos e condições de ensaio para a medição das correntes

(*) Rua Dep. Antônio Edu Vieira, n° 999 - Pantanal – DES – CEP 88040-901 - Florianópolis – SC – Brasil
(+55 48) 3231-7166 – Email: mcarli@eletrosul.gov.br

harmônicas geradas durante a operação contínua de um aerogerador. Segundo a norma, estes procedimentos e condições procuram eliminar a influência da rede sobre as correntes medidas de forma que um extrato seja válido para qualquer local que a máquina seja instalada. Todavia, a literatura menciona que um dos principais problemas de medições de harmônicos em aerogeradores são as distorções de tensão pré-existentes na rede. O grande problema é identificar e separar as correntes originadas no aerogerador e as provenientes da rede.

Neste sentido, o artigo apresentará análises de medições de correntes e tensões harmônicas em aerogeradores mostrando o efeito da distorção pré-existente na rede sobre as medições de corrente para a elaboração de extratos. Além disto, o artigo mostra as diferenças que se obtém nas correntes dos extratos quando se utiliza o percentil 95 das correntes medidas e não os máximos como recomenda a segunda edição da IEC 61400-21.

2.0 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HARMÔNICO DOS PARQUES EÓLICOS

Os estudos para avaliação do desempenho harmônico de parques eólicos devem ser realizados conforme recomendações do ONS em (2). Nestes estudos o acessante deve demonstrar que as distorções de tensão provocadas pelo seu empreendimento no PAC respeitam os limites de distorção harmônica definidos nos PR, caso contrário, filtros devem ser instalados a fim de reduzir as distorções até os valores permitidos.

Os limites de distorção harmônica de tensão que devem ser respeitados são definidos no Submódulo 2.8 (4) dos Procedimentos de Rede do ONS. Para avaliação dos impactos provocados por um agente nas distorções de tensão, devem ser utilizados os limites individuais de tensão harmônica, da 2ª a 50ª ordem, bem como o indicador DTHTS95%. Embora os PR permitam desprezar 5% das maiores distorções de tensão medidas, como é feito em (5) e (6), não é permitido qualquer tratamento probabilístico das distorções de tensão obtidas através de estudos.

2.1 Metodologia do Lugar Geométrico

O modelo requerido pelo ONS para a realização de estudos de distorção de tensão para a solicitação de acesso de novos empreendimentos à Rede Básica é baseado no procedimento clássico de projeto de filtros para sistemas de transmissão em corrente contínua, conforme IEC 62001 (7). Para o caso dos parques eólicos o modelo considera uma fonte de corrente harmônica de Norton constante I_h , que representa a injeção harmônica dos aerogeradores, em paralelo com a impedância da rede interna do parque Z_{lh} e com a impedância da rede externa Z_{Eh} representada por um LG. A Figura 1a e 1b apresentam o circuito utilizado para o cálculo das distorções de tensão geradas no PAC e um exemplo de LG representativo das impedâncias da rede externa.

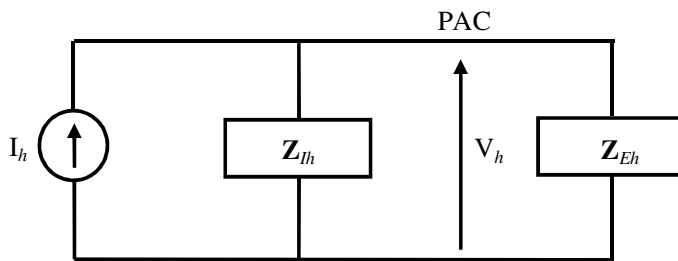


Figura 1a – Equivalente de Norton utilizado para o cálculo das distorções de tensão no PAC

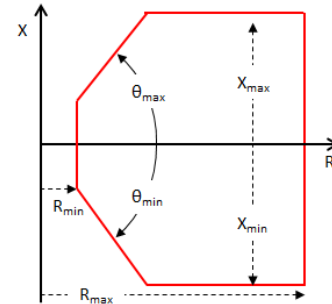


Figura 1b – Polígono hexagonal representativo de Z_{Eh}

A máxima distorção de tensão V_h é obtida minimizando o módulo da soma vetorial das admitâncias na Equação 1.

$$V_h = \frac{I_h}{|Y_{lh} + Y_{Eh}|} \quad (1)$$

Os níveis de emissão assim obtidos são comparados com os limites individuais definidos em (4), concluindo-se sobre o desempenho harmônico do acessante. Como é possível observar na Equação 1 as distorções calculadas são proporcionais a corrente I_h , portanto, é fundamental que a corrente utilizada no estudo não seja superestimada ou traga consigo a influência de correntes que estejam sendo absorvidas pelos aerogeradores.

3.0 - A NORMA IEC 61400-21

A NBR-IEC 61400-21 de "Medição e Avaliação da Qualidade de Energia de Aerogeradores Conectados à Rede Elétrica" é uma tradução da segunda edição da IEC 61400-21 e tem a finalidade de oferecer uma metodologia que

assegure a consistência e exatidão na apresentação, nos ensaios e na avaliação da qualidade da energia elétrica de aerogeradores conectados à rede elétrica.

Entre outros aspectos de qualidade de energia, a norma estabelece procedimentos para medição e apresentação de correntes harmônicas geradas durante a operação contínua de um aerogerador. Segundo a norma, estes procedimentos procuram eliminar a influência da rede sobre as correntes medidas de forma que um extrato de correntes harmônicas seja válido para qualquer local que a máquina seja instalada, todavia (1) menciona que um dos principais problemas de medições de harmônicos em aerogeradores são as distorções de tensão pré-existent na rede, tais como a 5ª e 7ª ordem harmônica. Outras referências como (8), (9) e (10) também relatam o problema.

3.1 Condições para Medição das Correntes Harmônicas

A seguir são apresentadas algumas condições estabelecidas na 2ª edição da norma que podem influenciar nas medições de correntes harmônicas, as quais devem ser medidas e documentadas:

- O DTHT, incluindo todos os harmônicos até a 50ª ordem, deve ser inferior a 5 % com a máquina desconectada;
- A frequência da rede não deve variar mais do que ± 1 % em relação à frequência nominal;
- A tensão medida nos terminais do aerogerador deve variar no máximo $\pm 10\%$ de seu valor nominal;
- O fator de desequilíbrio de tensão medido nos terminais do aerogerador deve ser inferior a $\pm 2\%$.

3.2 Elaboração de Extratos de Correntes Harmônicas

Como resultado de campanhas de medição, os valores das componentes individuais de correntes harmônicas e distorção total harmônica de corrente devem ser apresentados em tabelas (extratos) em porcentagem da corrente nominal e para a operação do aerogerador em intervalos de potência de 0, 10, 20, ..., 100 % da potência nominal. As correntes harmônicas inferiores a 0,1 % da corrente nominal do aerogerador não precisam ser relatadas.

Os resultados devem ser baseados em tempos de observação de 10 min para cada intervalo de potência apresentado anteriormente e devem ser para situações com a mínima distorção harmônica da rede. No mínimo nove séries temporais de 10 min devem ser coletadas para cada intervalo de 10 % da potência. A corrente harmônica cadastrada no extrato, para cada intervalo de potência, é aquela com maior magnitude entre todas as medidas naquele intervalo de potência. Adicionalmente a norma estabelece que medidas claramente influenciadas por ruídos de fundo devem ser descartadas, mas sem definir o que seriam ruídos de fundo.

3.3 A Terceira Edição da IEC 61400-21

Segundo (10) e apresentação realizada em um grupo de trabalho envolvendo ONS e ABEEólica (11), os procedimentos de medição e avaliação de harmônicos da 2ª edição da norma 61400-21 tem sido reportados como muito imprecisos e tem causado custos desnecessários em filtros passivos. Isto é principalmente devido ao fato que a versão atual da norma assume que os aerogeradores são uma fonte de corrente ideal negligenciando tanto a impedância interna do aerogerador como qualquer impacto da impedância da rede na geração de harmônicos (10). Por isso, a 3ª edição da norma deve apresentar procedimentos mais sofisticados de medição e um anexo com instrução de como identificar quais correntes harmônicas são afetadas pela distorção pré-existente na rede. A seguir são descritas brevemente algumas das técnicas apresentadas (11):

- Ângulo de fase dos harmônicos: pode ajudar a identificar a direção do fluxo de corrente harmônica ou verificar se a corrente harmônica está sincronizada com a frequência fundamental da rede.
- Variação diária dos harmônicos de corrente e tensão: se os harmônicos seguem um perfil diário de variação (característico da carga) é uma clara indicação da influência da distorção pré-existente na rede.
- Desligamento de aerogeradores e cargas vizinhas: consiste em desligar fontes não-lineares que possam estar influenciando a distorção de *background* durante as medições em um aerogerador.
- Análise dos harmônicos de corrente e tensão *versus* potência: análise da dependência e correlação entre estas grandezas.
- Filtros: medição das correntes harmônicas com os filtros dos aerogeradores ligados e desligados; ou medição das correntes harmônicas com os filtros conectados e os conversores desligados.
- Medições com uma carga padrão: medição das correntes harmônicas com o aerogerador isolado da rede e conectado a um conjunto carga/gerador.

Outra evolução que deve ocorrer na terceira edição da norma é que os valores das correntes harmônicas que serão registradas nos extratos serão os percentis 95 das correntes medidas e não mais o valor máximo obtido durante o período de medição. As modificações e evoluções propostas para a terceira edição da norma

demonstram a preocupação da indústria com a busca de modelos e dados que representem de forma mais fiel a real contribuição dos aerogeradores para as distorções da rede.

4.0 - ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste IT é realizado em aerogeradores do tipo *full converter* instalados nos parques eólicos Cerro Chato I, II e III, todos de propriedade da Eletrosul. Os parques totalizam uma potência de 90 MW e se conectam à Rede Básica na subestação Livramento 2 230 kV através de uma linha compartilhada, conforme apresentado de forma simplificada na Figura 2. Em cada um dos transformadores 230/34,5 kV se conectam 15 aerogeradores. Distante aproximadamente 50 km do parque, há uma conversora de frequência que é despachada ocasionalmente e consequentemente é energizada junto com seus filtros, os quais reduzem as distorções tanto no PAC do parque como nos terminais dos aerogeradores. É importante informar também que os aerogeradores possuem filtros passivos para as altas frequências de chaveamento dos seus conversores instalados entre os seus inversores e o transformador elevador, os quais durante as medições foram considerados ligados ou desligados.

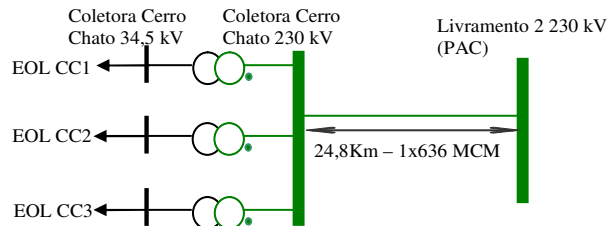


Figura 2 - Configuração de conexão das EOL Cerro Chato I, II e III ao SIN

As tensões e correntes harmônicas apresentadas neste IT foram medidas em uma das campanhas de medição realizadas entre CEPEL e Eletrosul nos terminais dos aerogeradores a fim de produzir extratos de corrente para estudos de avaliação do desempenho harmônico dos parques. As tensões e correntes apresentadas neste IT foram medidas em um período de 11 dias, especificamente nos aerogeradores 14 e 15 de Cerro Chato 2. No aerogerador 14 as medições foram realizadas com os filtros de saída dos inversores desligados e no aerogerador 15 os filtros de saída dos inversores permaneceram ligados durante as medições.

4.1 Influência das Distorções de Tensão na Elaboração de Extratos de Corrente

Esta análise tem como objetivo demonstrar a influência das distorções de tensão existentes na rede (neste caso nos terminais do aerogerador) na elaboração de extratos de correntes harmônicas produzidas por aerogeradores. Algumas das motivações para esta análise são o fato de a própria norma mencionar em sua seção 7.4 que as medições devem ser para situações com a mínima distorção harmônica da rede e também porque os inversores dos aerogeradores são conversores do tipo fonte de tensão, portanto a corrente emitida por eles dependerá tanto da tensão como da impedância vista dos terminais do equipamento.

Desta forma procurou-se, dentro do período da campanha de medição, um intervalo com menor distorção de tensão (DTHT) nos terminais dos aerogeradores, o qual cumprisse o requisito de no mínimo 9 séries temporais de 10 min de medidas de corrente instantânea (três ensaios e três fases) para cada intervalo de 10 % de potência. A partir deste intervalo reduzido foram elaborados extratos seguindo as mesmas premissas dos extratos com o período completo de medição. A Figura 3 mostra, no período medido, a evolução da potência gerada e distorção total de tensão nos terminais dos aerogeradores 14 e 15. O período com baixa distorção nos terminais dos aerogeradores está entre as linhas tracejadas.

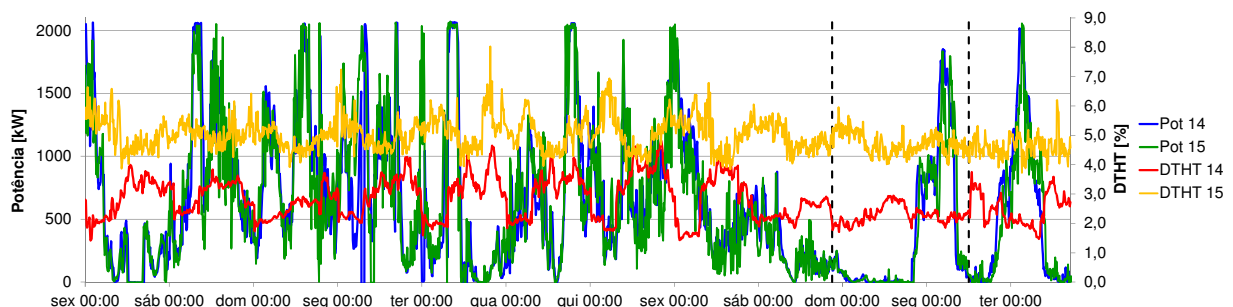


Figura 3 - Potência despachada *versus* DTHT nos aerogeradores 14 e 15

Na Figuras 3 é possível verificar que, apesar de as potências geradas pelos dois aerogeradores serem muito parecidas, as distorções nos terminais do aerogerador 14, com os filtros passivos desligados, são menores que as medidas nos terminais do aerogerador 15, com filtros passivos ligados.

As Figuras 4a a 8b apresentam comparações das correntes que compõem os extratos gerados a partir de todo o período da campanha de medição (Original) e o obtido a partir do período com baixa distorção de tensão nos terminais do aerogerador (Reduzido). Além disso, nas figuras também é possível comparar o efeito dos filtros passivos dos aerogeradores nas correntes medidas (Aerogerador 14 com filtros desligados nas figuras (a) e Aerogerador 15 com filtros ligados nas figuras (b)).

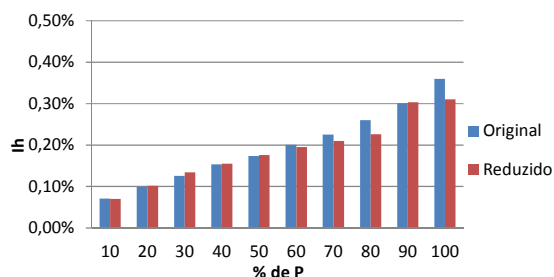


Figura 4a – I_2 versus %Pn – Aerogerador 14

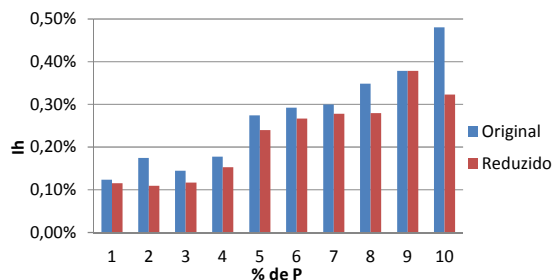


Figura 4b – I_2 versus %Pn – Aerogerador 15

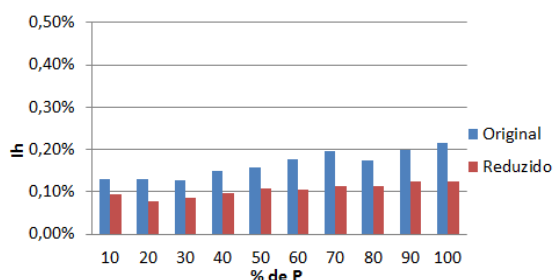


Figura 5a – I_3 versus %Pn – Aerogerador 14

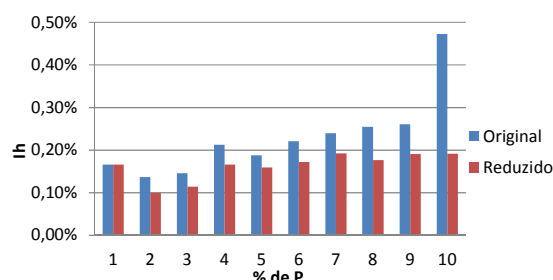


Figura 5b – I_3 versus %Pn – Aerogerador 15

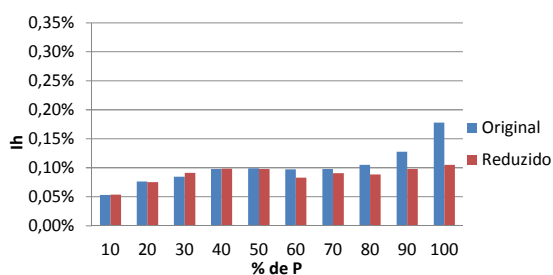


Figura 6a – I_4 versus %Pn – Aerogerador 14

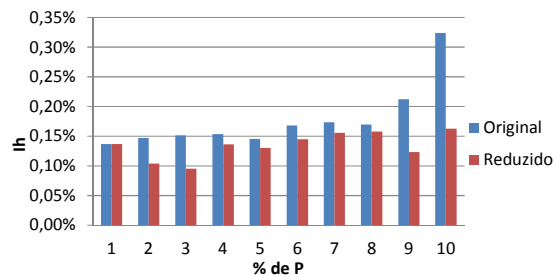


Figura 6b – I_4 versus %Pn – Aerogerador 15

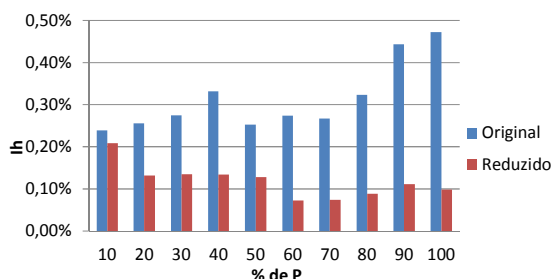


Figura 7a – I_5 versus %Pn – Aerogerador 14

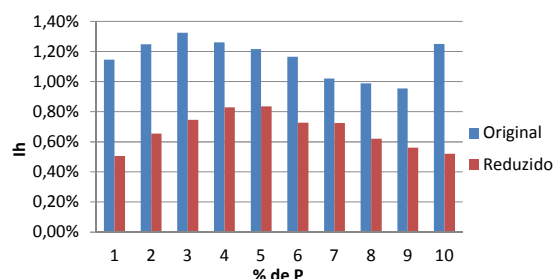


Figura 7b – I_5 versus %Pn – Aerogerador 15

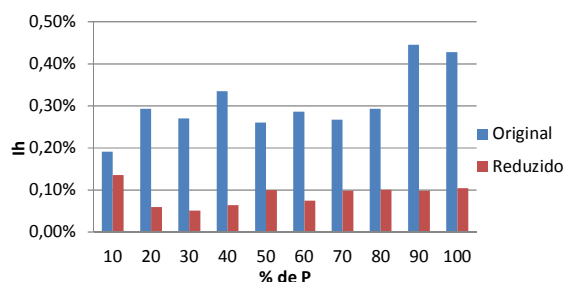


Figura 8a – I_7 versus %Pn – Aerogerador 14

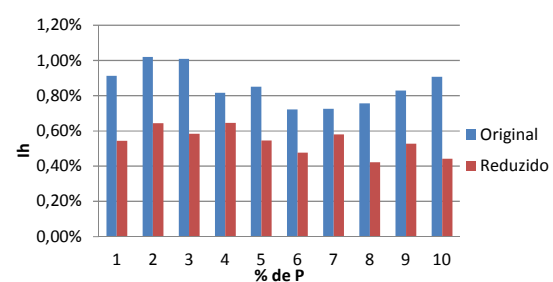


Figura 8b – I_7 versus %Pn – Aerogerador 15

Pela análise das figuras é possível verificar que, de forma geral, as correntes medidas com os filtros passivos desligados são menores do que as medidas no aerogerador com os filtros ligados e as correntes medidas no período de baixa distorção de tensão são menores que as medidas no período completo. A 2ª, 4ª e 6ª ordens (esta última não apresentada) sofrem pequena redução das correntes medidas no período de baixa distorção em relação ao período completo e sofrem menor influência em relação aos filtros passivos. Já as correntes medidas da 5ª e 7ª ordens sofrem grande influência em relação a distorção de tensão presente nos terminais dos aerogeradores e também pela condição operativa dos filtros passivos dos aerogeradores.

Estes resultados indicam que a redução da tensão harmônica pré-existente na rede influencia de forma expressiva o extrato de correntes harmônicas medidas no aerogerador e os filtros passivos dos aerogeradores absorvem correntes provenientes da rede elétrica influenciando as medições. Além disto, como no aerogerador 14 os filtros passivos estavam desligados, toda a corrente medida seria gerada pelo aerogerador, levando-se a concluir que o aerogerador emite menos correntes harmônicas em condições de menor distorção em seus terminais.

4.1.1 Análises Gráficas e de Correlações das Grandezas

Esta seção visa identificar, segundo método apresentado na Brochura Técnica (BT) 468 (11) do Cigré, qual a fonte dominante na geração de harmônicos no ponto de medição das correntes e tensões harmônicas (os terminais do aerogerador 14 neste caso). De acordo com a BT se existir uma clara correlação positiva entre a tensão harmônica de ordem h e potência despachada, a instalação sob avaliação eleva os níveis de distorção do sistema. As Figuras 9a e 9b apresentam gráficos de correlação entre tensão de 2ª e 5ª ordem e potência despachada pelo aerogerador. No caso do 2º harmônico as grandezas estão bem correlacionadas indicando que o aerogerador é a fonte dominante, já para o 5º harmônico a correlação é baixa, mas negativa, indicando que o aerogerador não é a fonte dominante neste caso e pode até contribuir para a redução das distorções desta ordem.

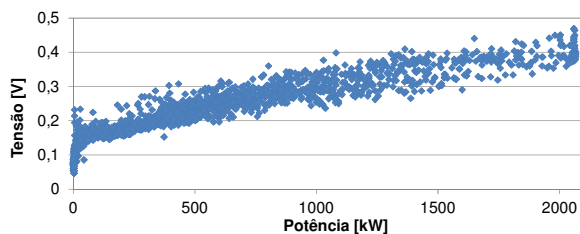


Figura 9a - Correlação entre potência e distorção harmônica de 2ª ordem

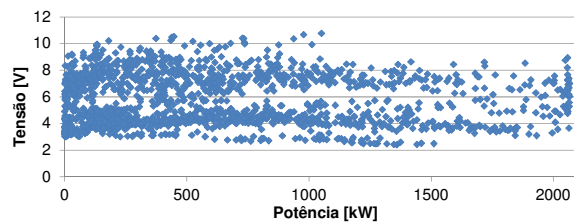


Figura 9b - Correlação entre potência e distorção harmônica de 5ª ordem

As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, as correlações entre as tensões e correntes harmônicas e a potência despachada pelo aerogerador 14 para o período completo de medição e para o período com baixo DTHT. De maneira geral, no período de baixa distorção as correlações entre as grandezas aumentam, indicando que as distorções passam a ser mais dependentes das correntes emitidas pelo aerogerador e menos influenciadas pelas distorções do sistema. De acordo com os índices, o 2º e o 6º harmônico seriam majoritariamente gerados pelo aerogerador e o 5º e o 7º teriam origem na rede.

Tabela 1 – Correlações entre $V_h \times P$

h	Período completo	Baixo DTHT
2	0,871	0,933
3	0,366	0,477
4	0,456	0,395
5	-0,014	0,204
6	0,812	0,854
7	-0,294	-0,548

Tabela 2 – Correlações entre $I_h \times P$

h	Período completo	Baixo DTHT
2	0,922	0,990
3	0,835	0,910
4	0,738	0,884
5	0,386	0,204
6	0,844	0,982
7	0,539	0,376

A análise conjunta destes resultados com os da seção 4.1 permitem concluir que as medições de harmônicos característicos da rede, como o 5º e o 7º, são mais influenciadas pelas distorções pré-existentes na rede, seja pela maior absorção de correntes pelos filtros passivos ou pela maior emissão de correntes pelo aerogerador. Por outro lado, ordens como a 2ª e a 6ª, com maior dependência do despacho do aerogerador, sofrem menor influência em relação as distorções da rede.

A Figura 10 exibe um gráfico de tendência mostrando a tensão de 5ª harmônica medida nos terminais do aerogerador 14 e a potência na LT 230 kV Livramento 2 - Rivera. O gráfico de tendência mostra claramente que quando a conversora de frequência é ligada, junto com seus filtros, a tensão de quinta harmônica imediatamente diminui de forma muito expressiva e isto acaba reduzindo também a magnitude da corrente emitida pelo aerogerador. Este gráfico, em conjunto com os resultados anteriores, é um exemplo claro da influência de outras instalações, tanto pela modificação das distorções como da impedância harmônica, nas medições de correntes em aerogeradores.

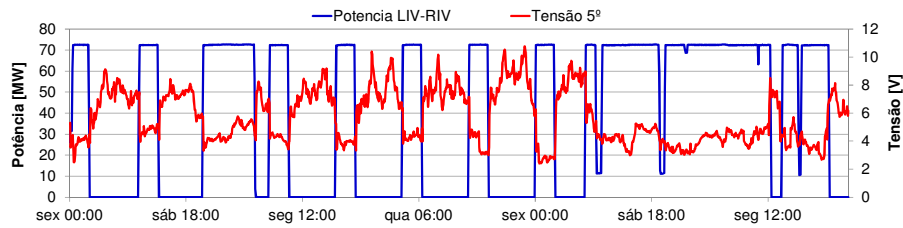


Figura 10 – Potência na LT Livramento 2 – Rivera e corrente de 2º ordem

4.2 Extratos com o Percentil 95 das Correntes Harmônicas

Esta seção visa demonstrar as diferenças que se obtém nas correntes harmônicas quando se utiliza o valor do percentil 95 para a definição das correntes harmônicas do extrato, diferentemente do que exige atualmente a norma, que é o registro da corrente de maior magnitude entre todas as amostras do período de medição. Nas Figuras 11a e 11b são apresentados, a título ilustrativo, dois gráficos de probabilidade acumulada das correntes de 2ª e 7ª ordens medidas no aerogerador 14 em todo o período de medição. Nos gráficos são apresentados os valores médios (linha verde) e máximos (azul); e pode-se verificar que o percentil 95 do 2º harmônico está relativamente próximo do máximo, mas o do 7º é aproximadamente a metade do máximo.

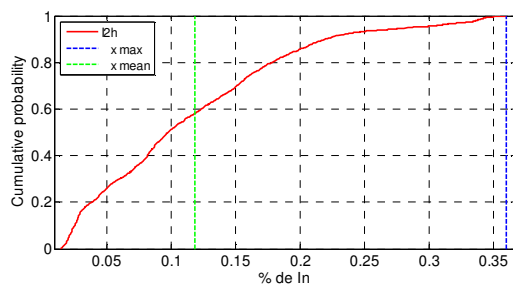


Figura 11a – Probabilidade acumulada de I_2

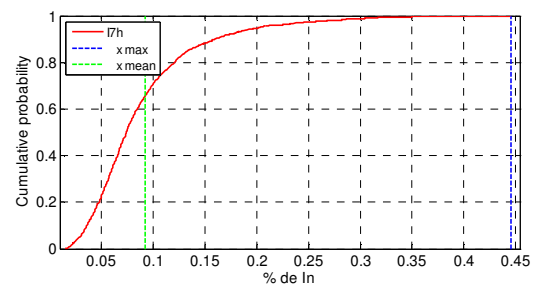


Figura 11b – Probabilidade acumulada de I_7

A Tabela 3 apresenta a razão entre os valores dos percentis 95 e o máximo das correntes medidas para o aerogerador 14 para cada uma das faixas de potência e, na última coluna, para toda a faixa de potência do aerogerador. Verifica-se que quando se analisa o percentil por faixa de potência o valor máximo obtido em toda a faixa de potência é muito próximo da máxima corrente observada nas medições, embora alguns valores como o do 7º a 20 % da potência sejam da ordem de 40 % do valor máximo medido para a faixa. Todavia, quando se calcula o percentil 95 para toda a faixa de potência as reduções são bem mais significativas, com uma diferença mínima de 13 % entre o percentil 95 e o máximo.

Tabela 3 – Razão entre percentis 95 e máximas correntes medidas

Pot (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10-100
h	Ih95%/Ihmax										
2	0,829	0,940	0,951	0,977	0,986	0,959	0,966	0,959	0,983	0,973	0,8703
3	0,578	0,673	0,807	0,825	0,893	0,854	0,854	0,986	0,880	0,939	0,7746
4	0,832	0,910	0,969	0,968	0,984	0,951	0,932	0,937	0,919	0,957	0,7175
5	0,656	0,605	0,514	0,405	0,717	0,686	0,883	0,955	0,729	0,889	0,5921
6	0,734	0,884	0,778	0,849	0,943	0,928	0,845	0,953	0,977	1,000	0,7638
7	0,663	0,395	0,453	0,406	0,695	0,680	0,857	0,965	0,652	0,818	0,5164

As Figuras 12a a 13b apresentam graficamente as relações, para algumas ordens, entre os valores máximos (azul), os percentis 95 para cada faixa de potência (vermelho) e o percentil 95 para toda a faixa de potência (linha preta tracejada).

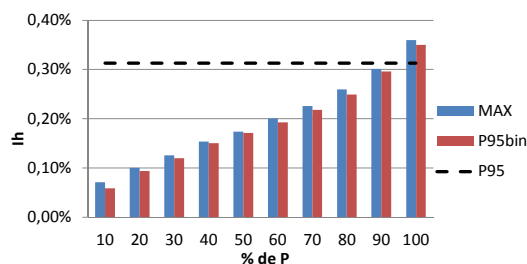


Figura 12a – I_2 máxima versus $I_{295\%}$

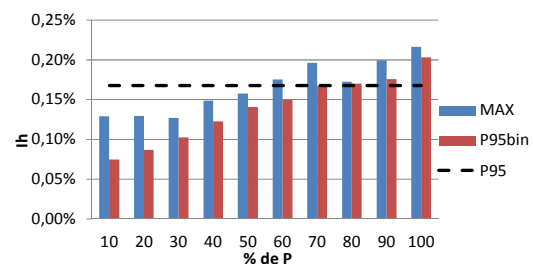
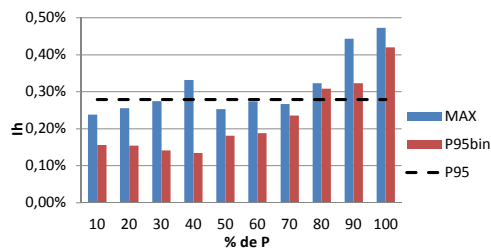
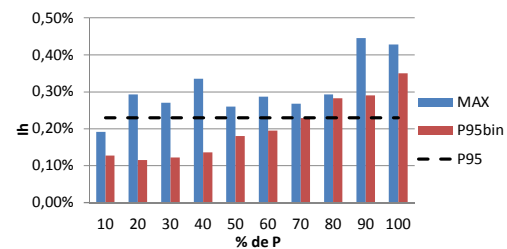


Figura 12b – I_3 máxima versus $I_{395\%}$

Figura 13a I₅ máxima versus I₅95%Figura 13b - I₇ máxima versus I₇95%

Estes resultados permitem concluir que a adoção dos valores das máximas correntes harmônicas medidas nos terminais dos aerogeradores para os estudos de avaliação do desempenho podem conduzir a valores de distorções harmônicas bem mais altas do que as que serão verificados em 95 % do tempo, o que pode resultar na necessidade de filtros desnecessários ou maiores e de projeto mais complexo que o necessário.

5.0 - CONCLUSÃO

O IT apresentou resumidamente a metodologia utilizada no Brasil para avaliação do desempenho harmônico de parques eólicos e aspectos da IEC 61400-21 relacionados à elaboração de extratos de correntes harmônicas de aerogeradores, com destaque às condições de medição e às instruções que devem ser apresentadas na 3ª edição da norma de como identificar quais correntes harmônicas são afetadas pela distorção pré-existente na rede.

O IT conclui que as medições de correntes em aerogeradores são influenciadas tanto pelo nível de distorção pré-existente na rede como pela impedância vista pelo aerogerador. O grau desta influência depende da ordem harmônica, neste caso, ordens com maior dependência da potência despachada pelo aerogerador, se mostraram menos influenciadas. Por outro lado, harmônicos característicos da rede, como o 5º e o 7º, são mais influenciados pelas distorções pré-existentes na rede, seja pela maior absorção de correntes pelos filtros passivos ou pela maior emissão de correntes pelo aerogerador. Além disso, verificou-se que a adoção de valores com 95 % de probabilidade de ocorrência pode reduzir a magnitude das correntes do extrato e permite a obtenção de resultados mais próximos da realidade e condizentes com as exigências de normas e códigos de rede que normalmente permitem violações dos índices de distorção durante certos períodos de tempo.

Por fim, o artigo ressalta a importância de se realizar campanhas de medição em condições favoráveis e de se adotar valores de corrente com probabilidade associada sob o risco de os parques eólicos serem onerados pela resolução de problemas que não são de sua responsabilidade e por terem que garantir o atendimento dos limites de distorção até mesmo para eventos com baixa probabilidade de ocorrência. Ademais, entende-se que, em função dos resultados e conclusões deste trabalho, é recomendável que a decisão pela instalação de filtros só seja tomada após as medições das distorções no PAC dos parques.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ackermann, Thomas (Ed.). Wind Power in Power Systems. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- (2) ONS RE 2.1 057/2008 rev.3 – “Instruções para Realizações de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica”. Disponível em <http://www.ons.org.br>, janeiro de 2013
- (3) NBR IEC 61400-21: Turbinas Eólicas - Parte 21: Medição e avaliação das características da qualidade de energia de aerogeradores conectados a rede. Rio de Janeiro: 2010.
- (4) ONS. Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede, “Gerenciamento dos Indicadores de Desempenho da Rede Básica e dos Barramentos dos Transformadores”. Disponível em <http://www.ons.org.br>, novembro de 2011.
- (5) IEC 61000-3-6, 2nd. Ed., 2008. “Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-6: Assessment of Emission Limits for the Connection of Distorting Installations to MV, HV and EHV Power Systems”.
- (6) IEEE Std 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. New York, 1993.
- (7) IEC/TR 62001: Guide to the specification and design evaluation of AC filters for high-voltage direct current (HVDC) systems. Frankfurt, 2009.
- (8) R.P.D. Ross, A. J. de C. Mello, L. F. W. de Souza, “Análise Harmônica para Conexão de Parques Eólicos: Medição e Simulação”, XII SEPOPE, Maio de 2012.
- (9) Fritz Santjer, Harmonic current emission of wind farms, DEWI, Novembro de 2012.
- (10) Meyer, J.; et al. Future Work on harmonics - Some Expert Opinions Part II - Supraharmonics, Standards and Measurements. International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP). Bucharest, 2014.
- (11) Technical Brochure 468, “Review of Disturbances Emission Assessment Techniques”, Cigré, Junho de 2011.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Miguel Pires De Carli nasceu em Porto Alegre, RS, em 22 de Novembro de 1978. Recebeu o grau de Engenheiro Eletricista da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 2007. Ingressou na Eletrosul em 2001 e já trabalhou nos Departamentos de Operação do Sistema e de Planejamento do Sistema. Especialista em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 2012. Atualmente trabalha no Departamento de Engenharia do Sistema. É membro do Cigré com atuação no CE B4 de Elos de Corrente Contínua e Eletrônica de Potência e no C4 de Desempenho de Sistemas Elétricos. Suas principais áreas de atuação são qualidade de energia elétrica e estudos de transitórios eletromagnéticos.