

Analysis of the Topologies of Power Filters Applied in Distributed Generation Units - Review

J. Crepaldi, M. M. Amoroso and O. H. Ando Junior

Abstract. - Considering the current advanced scenario of the use of renewable energy sources, and the environmental advantages, mainly the wind turbines, and the solar photovoltaic, in the Brazilian energy matrix. However, exist concerns about the power system stability and its respective power quality (PQ), due to this type of non-linear loads generation, such as current converters, which in turn cause distortion of the current and voltage waveform. The energy generation by renewable sources does not participate in the control of the voltage and frequency of the electrical system, and in the occurrence of disturbances that exceed the pre-established standard limits and that affect the system's PQ, disconnecting it until the PQ is restored, so it will be reconnected after the return of the normal operation. To standardize and quantify the electromagnetic disturbances of the electrical energy quality (QEE), as to ensure the quality of the product and services, standards and procedures were designed to instruct from generators to energy consumers, in Brazil the most used standard is the electric power distribution procedure in the national electric system (PRODIST) - module 8. The disturbances of the PQ in the generating units, mainly wind turbines, and solar photovoltaic are caused by the current harmonics, generated by the converters, causing the distortion in the waveform, which in turn, increases the losses in transformers and transmission lines, cable and equipment reduction of life cycle, and flicker. Among the possible techniques to minimize the effects of harmonics, the use of passive, active and hybrid filters stands out. However, the applicability of each type of filter depends on each system where it will be applied according to the characteristics of the electrical system. Thus, to contribute to the advancement of the topic, it can be observed that the power filters use has a good functionality in harmonic attenuation, as well as economical solution. Therefore, this work presents a mapping of the main technologies and methodologies for the design of power filters that can be customized for the harmonic mitigation disturbances and power factor improvement. Finally, it presents a comparative analysis between the topologies of power filters, followed by an alternative proposal of an automated filter for microgeneration of energy connected in low voltage.

Keywords — Renewable Energies, Photovoltaic Solar, Wind Turbine, Mitigation, Power Quality and Harmonics.

I. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro encontra diversas dificuldades para implantação de novas unidades geradoras, principalmente, devido a problemas ambientais e custos de implantação, fazendo com que as empresas busquem por fontes de energia alternativas, como a geração eólica e solar fotovoltaica (FV). Por este motivo, a geração de energia elétrica por fontes renováveis vem ganhando espaço na matriz

energética, principalmente com a geração de energia eólica e solar FV. [1] [2].

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Ministério de Minas e Energia (MME), em 2010 a capacidade instalada de energia eólica e solar FV no Brasil era de 928 MW e no final de 2015 esse valor passou para 7.989 MW [3].

Devido à esta tendência, diferentes estudos vêm sendo realizados para verificar os impactos da inserção das energias renováveis (ER) no sistema elétrico. Dentre estes estudos, tem-se a análise da qualidade de energia elétrica (QEE) que é um fator muito importante, pois devido a presença de conversores estáticos neste tipo de unidade geradora, pode acarretar sérios distúrbios na estabilidade e confiabilidade do sistema elétrico, e em caso extremos, ocasionar a falha de equipamentos tanto para consumidores como concessionárias [2] [4] [5].

Dentre os distúrbios que afetam a QEE, pode-se citar as distorções na forma de onda de tensão e corrente que vêm crescendo e, conseqüentemente, afetando o bom funcionamento dos equipamentos conectados ao sistema elétrico, podendo causar a operação incorreta de equipamentos de controle, aquecimento de cabos e transformadores, bem como redução da vida útil, redução da eficiência de equipamentos de geração, transmissão e distribuição; e ressonância série e paralela [6] [7].

Portanto, a realização de um estudo para determinar e mitigar os distúrbios eletromagnéticos a níveis de tolerância da norma, traz consigo diversos benefícios tais como: aumento de produção, diminuição de interrupções, elevação do fator de potência total, redução da temperatura de operação de equipamentos elétricos (motores, transformadores, cabos, capacitores, etc.).

Logo, o presente artigo apresenta um estudo para verificar e analisar a utilização de filtros de potência, do ponto de vista técnico, para mitigar as harmônicas nas plantas de ER visando adequação dos níveis dentro da tolerância pré-estabelecida nas normas vigentes.

II. METODOLOGIA

O problema da QEE abrange uma vasta gama de fenômenos, na qual cada um destes eventos pode ter uma variedade de causas e soluções diferentes que podem ser utilizados para melhorar a QEE. Desta forma, [8] propôs uma metodologia de avaliação da QEE para diagnosticar, avaliar e resolver, procurando a melhor solução técnica e econômica, comparando-as por meio de parâmetros pré-estabelecidos [8]. O Quadro I apresenta um diagrama de blocos representando o método de análise da QEE, que será utilizado para este estudo.

J. Crepaldi, Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Santa Catarina, Jaraguá do Sul - SC, Brasil, julianoorepaldi@yahoo.com.br

M. M. Amoroso, Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade SATC, Criciúma - SC, Brasil, marcelo_amoroso@hotmail.com

O. H. Ando Junior, Departamento de Engenharia de Energias, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu - PR, Brasil, oswaldo.junior@unila.edu.br

Como pode ser observado no Quadro I, na etapa A se busca identificar a categoria do problema, neste caso, a distorção harmônica de corrente e tensão em unidades geradora eólica e FV. Enquanto na etapa B, obtêm-se as características do problema, através de medição in loco e aquisições de dados, diagnosticando suas possíveis causas e impactos sobre os equipamentos, auxiliando na mitigação das harmônicas.

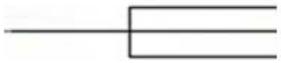
Na etapa C, mapeiam-se as soluções possíveis, através de uma abordagem exploratória qualitativa, buscando informações sobre causas, efeitos, normas e especificações sobre distorções harmônicas, com base em dados confiáveis e documentos técnicos.

Na etapa seguinte, avaliam-se as soluções para o problema identificado na etapa B, considerando uma perspectiva de

sistema, inclusive suas fronteiras, comparando-as e selecionando as melhores soluções do ponto de vista técnico, sempre respeitando as Normas e Procedimentos vigentes. Neste caso, citam-se os reatores de linha; transformadores isoladores ou filtros de potência (ativo e passivo).

E por fim, na etapa E faz-se uma avaliação econômica das soluções elencadas na etapa D, permitindo a escolha da melhor solução do ponto de vista técnico e econômico.

De um modo geral, esse procedimento é aplicável como ferramenta de tomada de decisão para escolha de métodos para mitigação de distúrbios e melhoria da QEE podendo ser adaptado conforme necessidade e características da planta ou sistema a ser analisado.

A	Identificar a categoria do problema	Flutuação de tensão/ Desequilíbrio	Sobretensão/ Subtensão	Transitório	DHT (v-i)
B	Característica do problema	Medições e coletas dos dados			Causa Característica Impactos nos equipamentos
C	Identificar faixa de soluções	Aplicar nos sistemas de transmissão	Aplicar nos sistemas de distribuição	Interface consumo final	Sistemas de consumo final Designar Especificação Equipamentos
D	Avaliar soluções	Modelo/Análise dos processores		Avaliação Técnica Alternativa	
E	Melhor solução	Avaliação econômica/Possíveis soluções			

Quadro I. Procedimentos para análise da QEE [8].

A. Normas e Regulamentações

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regula o setor elétrico brasileiro por meio dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST); e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é responsável pela coordenação e controle de operação das instalações de geração e transmissão de energia [9-11]. No âmbito internacional, têm-se as Normas e Recomendações criadas pela *International Electrotechnical Commission* (IEC) e *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), que serviram como base para a legislação brasileira.

III. METODOS DE MITIGAÇÃO

A QEE, por definição, representa problemas manifestados na tensão, corrente ou variação na frequência, resultando em falha ou má operação de equipamentos [8]. Dentre os distúrbios eletromagnéticos que afetam a QEE podem-se destacar: variação de tensão, variações de frequência, flutuação de tensão, transitórios, desequilíbrio de tensão e distorção da forma de onda [8] [12] [13].

Para mitigação do conteúdo harmônico de tensão e corrente, existem técnicas, tais como, a utilização de reatores de linha, transformador isolador e filtros de potência (passivo e/ou ativo). Cada topologia possui vantagens e desvantagens, mas não existe uma solução genérica para todos os casos, o que implica em uma análise criteriosa de onde será aplicado de acordo com as características do sistema elétrico [14] [15].

Visto que os reatores de linha e transformadores de isolamento possuem aplicações limitadas, quanto à aplicação para mitigação de harmônica, não serão considerados no presente estudo.

B. Filtro de Potência Passivo (FPP)

A utilização de FPP de harmônicas é o método clássico para minimizar os índices harmônicos presente no sistema elétrico. Esse tipo de filtro é composto por componentes passivos sintonizados para um índice harmônico em específico para eliminá-lo. Esses filtros são compostos por ligações entre capacitores, indutores e resistores, para formação de diversas topologias, denominadas configurações série e derivação (shunt) [8] [14] [16] [17].

Os FPP são equipamentos de baixo custo de instalação e manutenção, se comparados com outras topologias para mitigar as harmônicas. Além de ser utilizado para reduzir as harmônicas, este tipo de topologia é utilizado para compensação de reativos, isto é, na correção do fator de potência [6] [17] [18].

O FPP série é ligado em série com a carga e sua configuração está caracterizada na instalação de um capacitor e um indutor em paralelo, proporcionando um caminho de alta impedância para a corrente harmônica na frequência sintonizada, permitindo que a corrente fundamental flua pelo sistema, similar uma bobina de bloqueio [8] [14].

O FPP série é uma solução de custo elevado e raro, devido ao fato de causar sérias perdas na componente fundamental do sistema, tal como queda da tensão que alimenta a carga. Outro

problema, é que este tipo de filtro consome energia reativa em vez de produzi-la, o que inviabiliza sua utilização na prática [8] [16].

O FPP shunt é mais utilizado em comparação aos demais métodos. Esses são ligados em derivação com a fonte, proporcionando um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas. São aplicados em cascata nos casos onde se deseja mitigar mais de uma corrente harmônica, sendo que cada filtro é sintonizado para uma determinada frequência, sendo topologias passa-faixa (sintonizado) e passa-alta, cujas topologias são apresentadas na Fig. 2 [8] [14] [16].

Os filtros passivos são ajustados próximos da frequência da harmônica que se deseja eliminar, proporcionando uma margem de segurança, caso ocorra alguma variação nos parâmetros do sistema, como a capacitância ou indutância, que pode levar o circuito a ressonância [14] [19].

Destaca-se também que essa topologia possui caráter fixo, funcionando adequadamente sem alteração na carga instalada, isto é, na ocorrência de mudança na carga, o espectro harmônico alterará, deste modo, deve-se fazer um novo dimensionamento com a nova carga instalada [20].

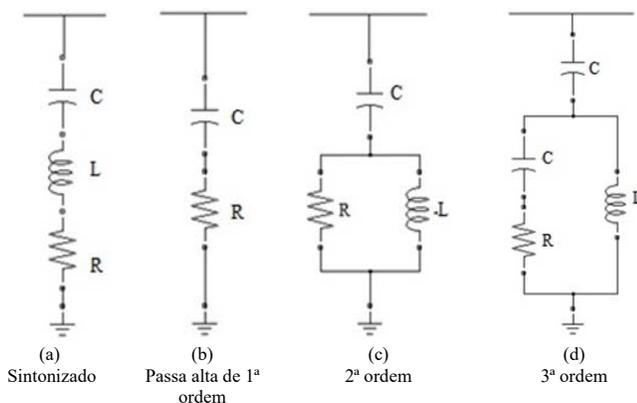


Figura 1. Demonstrativo da topologia de Filtros Passivos [8].

C. Filtros de Potência Ativo (FPA)

Os FPA são equipamentos baseado em semicondutores e tornou-se uma solução prática se comparado ao FPP. Essa topologia possui custo elevado em relação ao FPP, no entanto, pode funcionar independentemente das impedâncias do sistema e não corre o risco de entrar em ressonância. Além de reduzir os harmônicos, o filtro ativo pode ser utilizado em outros problemas da QEE, como os flicker e corrigir o fator de potência [8] [20].

O conceito deste tipo de filtro é o de injetar no sistema, harmônicos de corrente ou tensão com magnitude e frequência iguais aos harmônicos da carga não linear, com uma defasagem em 180° , com o intuito de anulá-las, possuindo dois tipos de topologia, série e derivação (shunt), ilustradas na Fig. 3 [8] [21] [22].

O FPA série possui como função principal filtrar as harmônicas de tensão, injetando tensões harmônicas nas ordens desejadas de mitigação, através do transformador de acoplamento [8] [23].

Enquanto o FPA shunt se diferencia do FPA série pela injeção harmônica de corrente e a conexão ao sistema através de um indutor. O princípio de funcionamento baseia-se em um caminho de baixa impedância realizada pelo inversor, diminuindo as correntes harmônicas entre a fonte e a carga [8] [23].

Para ambos as topologias, o controle é principalmente via Modulação por Largura de Pulso (PWM) e para conseguir mitigar as harmônicas de tensão e corrente, utiliza-se as duas topologias juntas. [8] [23].

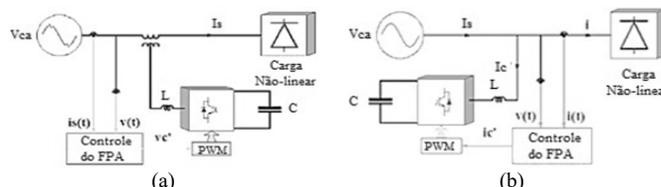


Figura 2. Demonstrativo do FPA (a) ligação série e (b) ligação shunt [8]

O FPA, tanto o shunt quanto o série, deveriam ser instalados próximos à carga, eliminando as harmônicas no seu nascedouro, diminuindo as perdas por efeito Joule no sistema elétrico. Porém, esse tipo de instalação tem-se um custo elevado, se considerado a quantidade de cargas existentes. Assim, o filtro pode ser instalado em outros dois pontos, ou junto ao quadro de distribuição ou no quadro geral da instalação, mas o sistema interno deverá ser dimensionado considerando o efeito das harmônicas sobre si [20] [24].

D. Filtro de Potência Híbrido (FPH)

O FPH é uma topologia que associa o FPP e FPA em diferentes tipos de ligação série ou shunt, de forma a aproveitar as melhores características de ambas as topologias, quando implementadas isoladamente. Está associação reduz a possibilidade de ressonância oriundas de variações da impedância da fonte e/ou carga, bem como, possui um custo significativamente baixo comparado ao FPA, visto que reduz a potência do conversor, especialmente para aplicações em alta potência [25] [26].

Essa topologia não depende dos parâmetros do sistema elétrico e apresenta uma boa eficiência para mitigação das harmônicas, bem como, corrigir o fator de potência. Das configurações possíveis, destaca-se os filtros de potência híbridos, contendo o FPP e FPA shunt conectados separadamente Fig. 4-(a); e ativo e passivo shunt conectados em série Fig. 4-(b) [26 - 28].

O FPH da Fig. 4-(a) com o FPP e FPA shunt é o exemplo de filtro clássico, onde os filtros são conectados independentemente no sistema e não requer qualquer alteração nos dispositivos ou no próprio sistema. O FPP mitiga as correntes harmônicas de maior amplitude, proporcionando ao FPA uma melhor precisão na compensação das harmônicas. Contudo, essa topologia não é tão boa, visto que o inversor do FPA opera diretamente com a tensão da fonte, resultando em uma maior tensão nominal dos semicondutores, isto é, causando um aumento no custo do projeto [26] [29].

Por outro lado, o FPH da Fig. 4 - (b) com o FPP e FPA shunt conectados em série, soluciona o problema anterior,

visto que o capacitor do FPP isola a tensão da frequência fundamental do FPA, uma vez que apresenta alta impedância para baixas frequências. Sendo assim, o inversor do FPA opera com uma tensão reduzida, melhora as características de filtragem do FPP e não deixa que o fluxo de corrente harmônica flua para a rede elétrica. Porém, como os filtros são conectados em série, o fluxo de corrente harmônica é totalmente transferido ao FPA e os semicondutores devem ser dimensionados para suportar essa corrente [25] [26] [30].

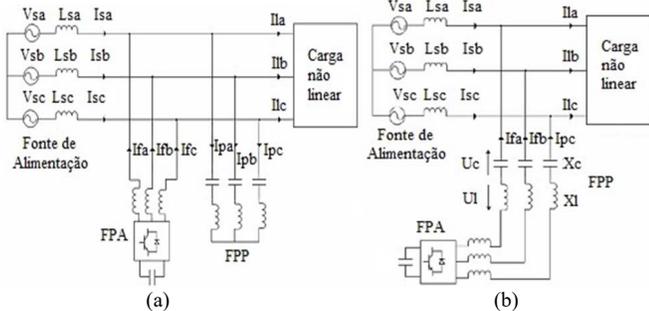


Figura 3. Demonstrativo do FPH (a) shunt conectados separadamente e (b) FPH shunt conectados em série [26]

No geral, a combinação das topologias de filtro, FPP e FPA, é possível obter um melhor desempenho para mitigação das harmônicas e uma redução nos custos dos projetos, além de, obter outras funções como: isolamento e compensação harmônica, regulação de tensão e controle da potência reativa fundamental [25] [31].

IV. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

De acordo com a pesquisa realizada, o projeto e aplicação de filtros de potência precisam ser customizados para cada unidade geradora, pois se necessita conhecer parâmetros e regime de operação do sistema, a fim de evitar problemas de QEE [8] [32] [33].

Apesar dos prós e contras para utilização dos FPP e FPA em unidades de ER, vale ressaltar que ambas as topologias de filtros mitigam os distúrbios adequando os indicadores de distorção harmônica a níveis aceitáveis pela legislação vigente [32] [34] [35] [37].

Na Tabela I apresenta-se uma comparação entre o FPP, FPA e FPH, incluindo as principais características e limitações de cada tecnologia.

Com base na Tabela I, pesquisas, estudos recentes, e considerando as vantagens e desvantagens do FPP e FPA, a solução mais apropriada e otimizada para solucionar o problema da mitigação de harmônicas e alguns dos outros problemas relacionados a QEE em unidades de geração eólica e solar FV é a solução de FPH [25] [38] [39]. Por aproveitar as melhores características das topologias de FPP e FPA, como eficácia; tempo de engenharia; resposta dinâmica; dimensões; massa e custo; além de evitar os problemas de ressonância série/paralela.

O FPH, além de ser uma ótima solução técnica, pode ser viável economicamente, onde a etapa de projeto tem papel importantíssimo, visto que é necessário conhecer a funcionalidade do sistema para fazer o controle e escolha da

combinação correta entre as topologias de FPP e FPA, evitando um sobredimensionamento dos filtros [25] [26].

A solução de FPH apresenta um grande potencial de crescimento, visto que a tecnologia está em constante desenvolvimento. Atualmente, a aplicação dos FPH em unidades de geração de ER é recente, mas já existem estudos que comprovam sua funcionalidade e aplicabilidade, bem como o atendimento as normas e regulamentações vigentes, como apresentam os resultados das pesquisas recentes [38] [39].

TABELA I. COMPARATIVO ENTRE O FPP, FPA E FPH.

Tipo de influências	FPP	FPA	FPH
Tecnologia	Conhecida	Melhorando	Melhorando
Confiabilidade	Alta	Média	Média-Alta
Eficácia	Média	Boa	Boa
Tempo de engenharia	Alto	Médio	Médio
Eletrônica de potência	Não	Sim	Sim
Armazenamento de energia	Alto	Pequeno	Médio
Interferência eletromagnética	Não	Sim	Sim
Circuito de controle	Não	Sim	Sim
Regulação de tensão	Não	Sim	Sim
Resposta dinâmica	Lenta	Rápida	Rápida
Controle de harmônica pela ordem do filtro	Muito difícil	Possível	Possível
Influência da variação de frequência	Eficácia reduzida	Nenhum efeito	Pouco efeito
Influência da variação da impedância	Risco de ressonância	Nenhum efeito	Pouco efeito
Dimensões	Grande	Pequena	Pequena
Massa	Pesado	Leve	Leve
Custo	Baixo	Alto	Médio

Desta forma, o FPH mostra-se um grande potencial para redução de tempo de projeto, custo de implantação e manutenção, correção de problemas referente aos distúrbios da QEE, além de, obter uma melhora na eficiência de operação das unidades geradoras, disponibilizando ao sistema elétrico a máxima potência gerada.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo a avaliação técnica para a utilização dos filtros de potência em unidades de geração de ER e propõem metodologias consagradas para mitigar os problemas da má QEE os seus efeitos.

Com base na coleta de dados, verificou-se que as soluções de FPP e FPA estão sendo introduzidos em estudos (teóricos e práticos) para a mitigação das harmônicas, e mostraram-se eficazes, apesar, destas topologias ter seus prós e contras, conforme mencionado na Tabela I.

Com base no conjunto de pesquisas analisadas e estudos de [39] [40], o FPH mostra-se como melhor solução técnica e econômica a ser aplicados em unidades geradoras com capacidade instalada menor ou igual a 5.000kW (micro e minigeração), pois esta solução permite utilizar as melhores características das topologias de FPP e FPA, mantendo a energia dentro dos padrões da QEE, melhorando significativamente a eficiência das unidades de geração e evitando riscos de ressonância série e/ou paralela.

De acordo com [36], para as unidades de geração com capacidade instalada acima de 5.000kW, uma solução híbrida, mesclando a instalação dos FPP e FPA ao longo do complexo de geração, mostra-se a alternativa mais viável para esta aplicação, pois esta solução melhora a eficiência do complexo e reduz significativamente o custo da energia. Contudo, os melhores locais de instalação dos FPP e FPA requer um bom projeto do sistema como um todo.

Portanto, é possível concluir que para unidades geradoras (eólica e fotovoltaica) a utilização de FPH é a melhor solução para mitigação das harmônicas e reestabelecimento da QEE aos níveis exigidos pelas normas e regulamentações vigentes.

REFERÊNCIAS

- [1] TOLMASQUIM, M.T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. EPE: Rio de Janeiro, 2016.
- [2] SANTOS, I. N. et al. Performance Evaluation of Harmonic Current Summation Law Applying to the Wind and Photovoltaic Generation. IEEE Latin America Transactions, vol. 14, nº 5, May, 2016.
- [3] MME. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. 2016.
- [4] SCHWANZ, D. Análise da Distorção Harmônica de um Parque Eólico através da sua Modelagem no Domínio do Tempo e da Frequência. 134p. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- [5] RUSINARU, D. et al. Power Quality General Levels in Distribution Networks. 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Bucarest: 2014. 58-62 p.
- [6] ARRILLAGA, J.; WATSON, N. R. Power System Harmonics. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. 399 p.
- [7] NASCIMENTO, C. F. et al. Evaluation Harmonic Voltage in Electric Distribution Systems due to Six-Pulse Static Power Converter. IEEE Latin America Transactions, vol. 12, nº 6, Sep. 2014.
- [8] DUGAN, R. C. et al. Electrical Power Systems Quality. 2 ed. MacGraw Hill Professional. 2002.
- [9] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em <<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>>. Acesso em 19 set. 2016.
- [10] ANEEL. ANEEL. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em 20 set. 2016.
- [11] ONS. O ONS. Disponível em <http://www.ons.org.br/institucional/o_que_e_ons.aspx>. Acesso em 20 set. 2016.
- [12] MACEDO JÚNIOR, J. R. Uma Contribuição à Análise das Componentes Inter-Harmônicas e seus Efeitos nos Indicadores de Flutuação de Tensão. 66 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- [13] IEEE 1159/1995. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. Nova Iorque, 1995.
- [14] ALDABÓ, R. Qualidade na energia elétrica. São Paulo: Artliber, 2012.
- [15] PETERSON, M. SINGH, B.N. RASTGOUFARD, P. Active and Passive Filtering for Harmonic Compensation. 40th Southeastern Symposium on System Theory. University of New Orleans, Nova Orleans: 2008. 188-192 p.
- [16] NASSIF, A. B. XU, W. Passive Harmonic Filters for Medium-Voltage Industrial Systems: Practical Considerations and Topology Analysis, 39th North American Power Symposium, vol. 1, p.p. 301-307, 2007.
- [17] PINTO, A. C. et al. Passive Filters Applied to a Small Wind Turbine Based System. IEEE Latin America Transactions, vol. 14, nº 7, Jul. 2016.
- [18] OLIVEIRA, R.H. et al. Filtragem de Passiva da 3ª Harmônica de Corrente em Sistemas Comerciais e Residenciais Utilizando o Filtro Shunt 3CIL. IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. p. 216-223. 2011
- [19] GAO, D. et al. Design and Performance of an Active Power Filter for Unbalanced Loads. Power System Technology, p.p. 2496-2500, 2002.
- [20] PROCOBRE. Harmônicos nas Instalações Elétricas: Causas, efeitos e soluções. Instituto Brasileiro do Cobre. São Paulo: 2001.
- [21] VIRMANI, R. et al. Performance Comparison of UPQC and Active Power Filters For a Non-Linear Load, Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010.
- [22] OLIVEIRA, M. F. VILELA Jr. J. A. Active Filters for Harmonic Current Compensation in Low-Voltage Grid. IEEE Latin America Transactions, vol. 13, nº 5, May. 2016.
- [23] PIRES, I. A. Capítulo XIII – Medidas de mitigação de harmônicos. O Setor Elétrico. Ed. 59, p. 38-47. 2010.
- [24] JEONG, G. Y. et al. Line-voltage-sensorless active power filter for reactive power compensation. IEEE Proc. Electr Power Appl, vol. 147, nº 5, 2000.
- [25] ANTUNES, H. M. A. et al. Comparando dois filtros híbridos séries aplicados a laminadores de tiras a quente com cicloconvertidores. Congresso Brasileiro de Automática. p. 4134-4141. 2010.
- [26] KEDRA, B. et al. Hybrid power filter with reduced inverter power rating. Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2015 IEEE 15th International Conference on. 2015.
- [27] ZOBAA, A. F. Optimal multiobjective design of hybrid active power filters considering a distorted environment. IEEE Transactions on industrial electronics. vol. 61, nº 1, p. 107–114, Jan. 2014.
- [28] LE, M. H. H. et al. Hybrid active power filter method frequency domain for quality improvement in variable frequency drive applications. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), vol. 78, nº 5-7. 2015.
- [29] DINIZ, R. A. Compensação distribuída série na mitigação harmônica em instalações comerciais. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- [30] FUJITA, H. AKAGI, H. A practical approach to harmonic compensation in power systems series connection of passive and active filters. IEEE Transactions on industry applications, vol. 27, Nº 6. p. 1020-1025. Nov. 1991.
- [31] DEMIRDELEN, T. TÜMAY, M. A novel control scheme for dynamic reactive power compensation multilevel inverter based shunt hybrid active power filter. 18th Conference on computer modelling and simulation. p. 217-223. 2016.
- [32] KASSICK, E. V. et al. Passive Filtering of Harmonics in an Industrial Plant: A Documented Case. V Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, Foz do Iguaçu, 1999.
- [33] DIB, S. et al. Wind Power Conversion Using Shunt Active Power Filter. Quatrième Conférence Internationale sur le Génie Electrique CIGE'10. Journal of Scientific Research Vol. 2. Bechar. 2010.
- [34] NOROOZIAN, R. GHAREHPETIAN, G. B. An Investigation on Combined Operation of Active Power Filter with Photovoltaic Arrays. Electrical Power and Energy Systems. 2012.
- [35] KHADEM, S. K. et al. Parallel operation of inverters and active power filters in distributed generation system – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15. p. 5155-5168. 2011.
- [36] KOCEWIAK, L. H. et al. Harmonic Mitigation Methods in Large Offshore Wind Power Plants. 12th Wind Integration Workshop: International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as Transmission Networks for Offshore Wind Farms. Energynautics GmbH. p. 443-448. 2013.
- [37] CHEN, M. H. Development of Shunt-Type Three-Phase Active Power Filter with Novel Adaptive Control for Wind Generators. The Scientific World Journal. vol. 2015.

- [38] TAN, P. C. SALAM, Z. A New Single-Phase Two –Wire Hybrid Active Power Filter Using Extension p-q Theorem for Photovoltaic Application. National Power & Conference. Kuala Lumpur. 2004.
- [39] SALAM, Z. et al. A Hybrid Active Power Filter Connected to a Photovoltaic Array. Journal – The Institution of Engineers. Malaysia. vol. 69. p. 45-52. 2008.
- [40] KAUSHAL, K. R. et al. A hybrid active power filters for reactive compensation using hybrid renewable energy. International journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, vol. 2, p. 375-381.



Juliano Crepaldi é bacharel em Engenharia Elétrica – Faculdade SATC (2013) com Especialização em Gestão de Projetos pela Universidade Católica de Santa Catarina (2016). Possui experiência como analista de vendas na WEG Equipamentos Elétricos – Unidade Energia e atualmente é Microempresário nas áreas de eficiência energética e aproveitamento de energia solar.



Marcelo Marcos Amoroso é bacharel em Engenharia Elétrica – Faculdade SATC (2014). Bolsista de dois projetos P&D ANEEL, nas áreas de eficiência energética, fontes de energia e qualidade da energia elétrica. Atualmente, professor titular na instituição EDUTECSATC e analista de engenharia da equipe de P&D da empresa DURATEX S/A.



Oswaldo Hideo Ando Junior possui Graduação em Engenharia Elétrica (2006) com Especialização em Gestão Empresarial (2007) pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) com Mestrado em Engenharia Elétrica (2009) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela mesma universidade (2014). Atualmente é

Professor do Curso de Engenharia de Energias da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e atua como Consultor ad hoc da FAPESC e de Periódicos. Atua principalmente nos seguintes temas: conversão de energia, qualidade da energia elétrica, sistemas elétricos de potência, captação de energias residuais e eficiência energética.