

Avaliação do Impacto da interconexão de Microturbinas no Contexto da Qualidade de Energia Elétrica

M. D. Teixeira, *Arteche EDC*, R. A. Peniche, *COPEL*, A. R. Aoki e G. Paulillo, *LACTEC*, J. C. Camargo, *Hitron/Unicamp*, J. L. Brittes e A. R. Donadon, *CPFL*

Resumo— A proliferação de equipamentos de geração distribuída e seus impactos sobre o sistema de energia elétrica tornaram-se temas de extrema relevância para o setor elétrico. Atualmente, existem inúmeras tecnologias voltadas à geração de energia próxima aos consumidores finais, citando-se como as mais relevantes, as células a combustível, os sistemas fotovoltaicos e as microturbinas. Não obstante cada tecnologia possua suas particularidades técnicas, neste trabalho, focar-se-á a microturbina, por se tratar de uma das mais promissoras tecnologias de GD. Nesta perspectiva, o presente trabalho se propõe a investigar tanto o efeito de distúrbios gerados pelo sistema para o equipamento de GD, quanto o impacto da operação da microturbina sobre o sistema elétrico através da monitoração e análise dos indicadores associados à qualidade da energia elétrica.

Palavras-chaves—Distorções harmônicas, capacitores, vida-útil, modelos probabilísticos.

I. INTRODUÇÃO

A proliferação de equipamentos de geração distribuída (GD) e seus impactos sobre o sistema de energia elétrica tornaram-se temas de extrema relevância para o setor de eletricidade, em face da atratividade proporcionada pelo atual cenário energético nacional. Após a reformulação do modelo setorial de energia elétrica, onde se promoveu a livre competição entre os agentes produtores e distribuidores de energia, associada às restrições de caráter ambiental para a implantação de grandes parques geradores, o investimento em equipamentos de geração dispersa ganhou impulso significativo pelas características técnicas e econômicas advindas de sua utilização.

Porém, diferentemente dos sistemas tradicionais de produção de energia elétrica compostos por grandes geradores síncronos, cuja dinâmica operacional vem sendo fruto de investigações desde os primórdios da eletricidade, as

tecnologias de GD ainda carecem de aprofundamentos técnicos que orientem os atores do setor, sobre os reais impactos da sua conexão nas redes de energia elétrica.

Desta forma, um grande número de questões surge quando unidades de GD são conectadas ao sistema elétrico de uma dada concessionária, dentre as quais incluem os aspectos relacionados com os distúrbios de qualidade da energia os quais podem, por um lado, serem agentes da degradação e por outro serem vítimas de alguns distúrbios gerados pelo sistema elétrico de potência.

Neste sentido, este artigo focar-se-á na elaboração e execução de testes laboratoriais concebidos para a avaliação das funções de proteção de uma microturbina e da verificação do impacto para a qualidade da energia elétrica quando da sua conexão com o sistema elétrico de distribuição. A concepção dos ensaios foi respaldada, principalmente, pelo Padrão IEEE 1547.1 “IEEE Standard for Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems”, o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da ANEEL e o Submódulo 2.2 dos Padrões de Desempenho da Rede Básica do ONS.

É importante ressaltar que devido a restrições laboratoriais, não foi possível seguir, fidedignamente, todos os procedimentos técnicos para a estruturação dos ensaios estabelecidos pelas normas consultadas. No entanto, os resultados que serão apresentados, poderão ser utilizados como premissa para subsidiar análises sobre o impacto da conexão de equipamentos de GD, à rede, bem como avaliar a eficácia do sistema de proteção de tais equipamentos submetidos a situações anormais de operação do sistema elétrico de distribuição.

II. METODOLOGIA PARA TESTES DE IMPACTOS DA INTERCONEXÃO DE MICROTURBINAS À REDE ELÉTRICA

A interconexão de novos equipamentos e seus impactos para rede elétrica de distribuição sempre mereceu grande atenção para que tal conexão possa ser concluída com segurança para consumidor, equipamento e concessionária. No caso dos equipamentos de GD esta avaliação deve ser ainda mais criteriosa, frente aos impactos e riscos advindos da interconexão de um equipamento de geração ao sistema elétrico.

Neste sentido, o documento normativo IEEE 1547.1 foi moldado com vistas a apresentar os procedimentos técnicos

Este trabalho foi patrocinado pelo Programa de P&D da Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL.

Mateus D. Teixeira pertence à Arteche EDC, Curitiba, Brasil (e-mail: mdt@arteche.com.br).

Rodrigo A. Peniche Trabalha atualmente na COPEL, Curitiba, Brasil (rodrigo.peniche@copel.com).

Alexandre R. Aoki e Gilson Paulillo pertencem ao Departamento de Eletromecânica do LACTEC, Curitiba, Brasil (e-mail: aoki@lactec.org.br).

João C. Camargo é pesquisador do LH2 na Unicamp, Campinas, Brazil (e-mail: joao.carlos@hytron.com.br).

José L. Brittes e Antonio R. Donadon trabalham na coordenação de projetos de P&D da CPFL, Campinas, Brazil (jlbrittes@cpfl.com.br).

necessários para a estruturação de ensaios laboratoriais em equipamentos de GD, objetivando averiguar se o sistema testado está em consonância com as diretrizes estabelecidas pela IEEE 1547 “IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems”.

Com o intuito de evitar riscos ao sistema da concessionária e aos seus consumidores, os estudos foram realizados em um sistema elétrico hipotético representativo da rede de distribuição de energia. O sistema foi composto por um grupo motor-gerador diesel, cargas elétricas lineares e a microturbina. A seguir, apresenta-se um resumo dos testes realizados com a microturbina:

A. Módulo I – Validação do Sistema Elétrico Hipotético

O principal objetivo deste módulo de testes fundamentou-se em verificar se a estrutura laboratorial montada representava com fidelidade o sistema elétrico de distribuição. Para tanto, foram feitas medições do grupo gerador diesel operando em vazio e os resultados foram comparados com monitorações oriundas do sistema elétrico da concessionária. As características do ensaio se encontram na tabela a seguir.

TABELA 1
MÓDULO I – VALIDAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO HIPOTÉTICO

Ensaio	Características
1.1	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo Motor-Gerador Diesel operando a vazio; • Microturbina fora de operação; • Tensão de operação 220/127V, 60Hz.

B. Módulo II – Ilhamento

A situação de ilhamento acontece quando uma parte da rede elétrica permanece suprida por um equipamento de geração distribuída enquanto o restante do circuito elétrico, em face de um determinado evento (curto-circuito, por exemplo), encontra-se fora de operação. Tal situação representa uma condição de extremo perigo tanto para a operação dos equipamentos do sistema elétrico, como para as equipes de manutenção da concessionária que atuam na rede. Para simular tal situação, a rede elétrica simulada (grupo motor-gerador) foi desconectada do restante da montagem laboratorial (Microturbina e Cargas) por meio de um disjuntor (D1). A tabela 2 caracteriza os ensaios.

TABELA 2
MÓDULO II – ILHAMENTO

Ensaio	Características
2.1	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; • Microturbina fornecendo 5,5kW ao sistema; • Banco de Resistência de 38kW • Tensão de operação 220/127V, 60Hz.
2.2	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 2.1. • Microturbina fornecendo 15kW ao sistema.
2.3	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 2.1. • Microturbina fornecendo 30kW ao sistema.

C. Módulo III – Oscilações da Frequência da Rede (Rejeição de Carga)

Conforme estabelecido pelo padrão IEEE 1547, quando ocorrer uma variação na frequência do sistema no qual o equipamento de GD estiver inserido, o mesmo deverá interromper o seu fornecimento de energia num período de tempo determinado. Em face da impossibilidade de alterar os parâmetros do grupo gerador, foram feitos ensaios de rejeição de parcelas da carga (abertura do disjuntor D3) para provocar variações na frequência da tensão fornecida conforme tabela 3.

TABELA 3
MÓDULO III – OSCILAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Ensaio	Características
3.1	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; • Microturbina fornecendo 5,5kW ao sistema; • Banco de Resistência de 38kW • Tensão de operação 220/127V, 60Hz.
3.2	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 3.1; • Microturbina fornecendo 15kW ao sistema.
3.3	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 3.1; • Microturbina fornecendo 30kW ao sistema.

D. Módulo IV – Qualidade da Energia Elétrica

Um dos aspectos mais importantes que necessitam ser analisada quando da inserção de equipamentos de GD à rede de distribuição, diz respeito à degradação da qualidade da energia elétrica no sistema elétrico da concessionária. Os fenômenos de QEE avaliados nos presentes ensaios associaram-se às distorções harmônicas de tensão e corrente, aos desequilíbrios de tensão, aos transitórios, às injeções de sinais cc, às variações de tensão de curta duração e variações de tensão em regime (regulação de tensão). A tabela 4 fornece os detalhes associados aos ensaios de qualidade de energia.

TABELA 4
MÓDULO IV – QUALIDADE DE ENERGIA

Ensaio	Características
4.1	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo Motor-Gerador Diesel operando normalmente; • Banco de Resistência de 38kW • Tensão de operação 220/127V, 60Hz.
4.2	<ul style="list-style-type: none"> • Microturbina operando a vazio • Tensão de operação 280/220, 60Hz
4.3	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 4.1; • Microturbina fornecendo 5,5kW ao sistema;
4.4	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 4.1; • Microturbina fornecendo 15kW ao sistema;
4.5	<ul style="list-style-type: none"> • Idem ao ensaio 4.1; • Microturbina fornecendo 30kW ao sistema;

III. LIMITES NORMATIVOS ADMISSÍVEIS UTILIZADOS NA ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES

Para avaliar o impacto da conexão de equipamentos de GD sobre o sistema elétrico e a eficácia das suas funções de proteção diante de situações de risco operacional, foram utilizados documentos normativos para nortear tais análises. Assim, os resultados dos ensaios nos equipamentos de geração distribuída devem estar em consonância com os limites estabelecidos de transgressão em cada módulo de teste. Estes limites encontram-se definidos na seqüência do texto.

A. Módulo II - Ilhamento

Segundo a IEEE 1547, o sistema de interconexão do equipamento de GD deve detectar a situação de ilhamento e interromper o fornecimento da energia gerada pela GD à rede elétrica dentro de um período de tempo inferior a 2 segundos.

B. Módulo III - Distúrbios da Frequência

Diante de uma variação na frequência do sistema no qual o equipamento de GD estiver inserido, o mesmo deverá interromper o seu fornecimento de energia num período de tempo determinado. Os limites estabelecidos pelo padrão IEEE 1547 encontram-se detalhados na tabela 5.

TABELA 5
TEMPO DE ATUAÇÃO FRENTE A DISTÚRBIOS DE FREQUÊNCIA

Capacidade do GD	Varição da Frequência (HZ)	Tempo de atuação (s)
≤30kW	>60,5	0,16
	<59,3	0,16
>30kW	>60,5	0,16
	< {59,8 – 57,0}	0,16 a 300
	<57,0	0,16

C. Módulo IV - Variação de tensão em regime

A interconexão de equipamentos de geração distribuída com a rede elétrica não pode provocar variações dos níveis de tensão no ponto de acoplamento comum, de forma a causar violações de limites proibitivos pré-estabelecidos. Os níveis de tensão eficazes nos sistemas em baixa tensão devem permanecer dentro de certos patamares que garantam o correto funcionamento de equipamentos elétricos. No Brasil, os níveis de tensão em regime permanente são regulamentados pela Resolução nº. 505 da ANEEL, e posteriormente pelos procedimentos de distribuição.

D. Módulo V - Harmônicas

Os limites de distorção harmônica de tensão, no cenário nacional, serão estabelecidos pelo PRODIST, cuja abrangência contemplará principalmente as redes de distribuição de energia elétrica. Neste contexto, a tensão gerada pelos equipamentos de GD conectados à rede de distribuição deverá atender aos requisitos estabelecidos na presente norma. A tabela 6 apresenta os limites estabelecidos pelo PRODIST no tocante às distorções harmônicas de tensão.

Para complementar as informações sobre o fenômeno harmônico, o IEEE 1547 estabelece que quando o equipamento de GD estiver suprindo cargas lineares e equilibradas, o conteúdo harmônico de corrente deve permanecer dentro de 5,5%.

TABELA 6
NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO

Ordem Harmônicas	Distorção Harmônica Individual de Tensão [%]	
	Vn ≤1 kV	
Ímpares não múltiplas de 3	5	7.5
	7	6.5
	11	4.5
	13	4
	17	2.5
	19	2
	23	2
	25	2
Ímpares múltiplas de 3	>25	1.5
	3	6.5
	9	2
	15	1
	21	1
Pares	>21	1
	2	2.5
	4	1.5
	6	1
	8	1
	10	1
	12	1
	>12	1
TOTAL	10	

E. Módulo VI – Desequilíbrios

A tabela 7, elaborada com base nos documentos consultados, quantifica os índices de conformidade referentes aos desequilíbrios de tensão. No entanto, para o índice de conformidade relativo aos desequilíbrios, algumas recomendações/normas são lacônicas, fato este que determina alguns quadros vazios junto à referida tabela.

TABELA 7
ÍNDICES DE CONFORMIDADE PARA DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

Recomendação / Norma	Limite
IEEE 519	-
EN 50160	2%
ANSI C84.1	3%
NRS 048	2%
NTCSE	-
IEC	2%
ONS - Submódulo 2.2	2%
PRODIST	2%

IV. ESTRUTURA LABORATORIAL E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS

Conforme relatado anteriormente, a conexão de geradores modulares de energia na rede de distribuição em baixa tensão deve ser respaldada por uma série de exigências de segurança, tanto para os recursos técnicos da rede elétrica, quanto para os recursos humanos que acessam o sistema da concessionária. Devido a essas restrições e diante da necessidade da realização

de ensaios laboratoriais, optou-se por estruturar um sistema elétrico hipotético que representasse, com certa margem de fidelidade, o sistema real da concessionária.

Para se atingir tal propósito, foi utilizado um grupo motor-gerador diesel, cuja capacidade de fornecimento gira em torno de 150 kVA, em 220 V. A seleção do grupo motor-gerador diesel obedeceu aos requisitos estabelecidos pela norma IEEE 1547.1. Complementarmente ao gerador, utilizou-se nos ensaios um grupo de cargas elétricas ativa 38 kW. Na seqüência, os detalhes técnicos de cada equipamento utilizado nos ensaios serão pormenorizados.

A. Grupo Motor-Gerador Diesel

Conforme foi relatado anteriormente, foi estruturado um sistema elétrico representativo, onde a concessionária foi representada por um grupo motor-gerador diesel, o qual foi convenientemente montado, dotado dos componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica.

B. Cargas Elétricas

O conjunto de cargas utilizado para a realização dos testes foi constituído de um banco de resistências trifásico (38 kW), um transformador trifásico (45 kVA) e um equipamento de eletrólise (10 kW, bifásico). O banco resistivo foi constituído por três conjuntos de resistências de, aproximadamente, 12,6 kW cada, comandadas por três disjuntores.

C. Microturbina

Os testes de conexão foram aplicados na microturbina ilustrada na figura 1. Como a tensão gerada pela microturbina é incompatível com a tensão da rede elétrica de distribuição, foi necessário utilizar um transformador de ajuste para possibilitar a operação do equipamento em paralelo com o sistema de energia.



Fig. 1 – Sistema Microturbina Utilizado nos Ensaio

Essencialmente, a microturbina é composta por uma turbina a combustão e por um gerador elétrico, conectados ao mesmo eixo, produzindo tensão alternada em alta frequência. A tensão terminal compatível com a rede é obtida mediante o uso de conversores eletrônicos.

A Microturbina empregada nos ensaios possui o sistema de proteção integrado ao próprio equipamento. Assim, conforme contido no manual de informações técnicas, não há necessidade de adicionar outros aparatos de proteção para sua conexão com o sistema elétrico de distribuição. As funções de

proteção integradas à microturbina obedecem à nomenclatura da IEEE C37.90-1989.

O diagrama esquemático da microturbina, enfatizando o seu princípio de funcionamento e os componentes que a compreendem, é apresentado na Fig. 2.

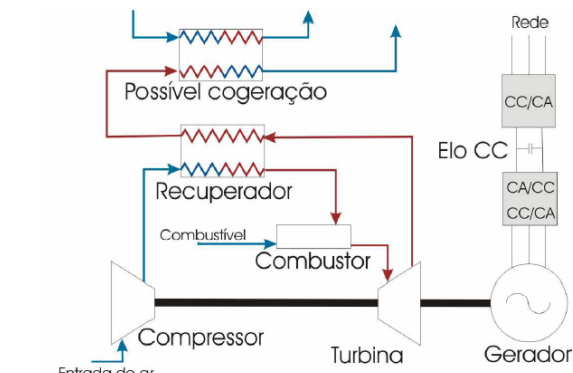


Fig. 2 – Diagrama Esquemático da Microturbina

D. Montagem Experimental

O diagrama unifilar do sistema elétrico estruturado para a realização dos ensaios encontra-se ilustrado na Fig. 3.

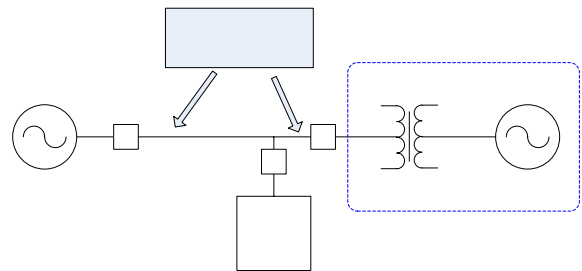


Fig. 3 – Diagrama Unifilar do Sistema Elétrico Utilizado nos Testes

Deve-se ressaltar que a aquisição dos sinais de tensão e corrente, durante a aplicação dos ensaios, foi feita nos terminais de saída da microturbina e nos terminais do grupo motor-gerador diesel (barramento 220 V). Para algumas situações de operação da microturbina, os registros foram realizados nos terminais do próprio equipamento (barramento 380 V).

V. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados oriundos dos testes nos equipamentos de Geração Distribuída, os quais se encontram divididos por módulos, conforme apresentado em tabelas anteriores.

A. Validação do sistema elétrico hipotético

As tabelas a seguir apresentam, de forma resumida, os valores mais relevantes obtidos através das medições efetuados tanto no sistema da concessionária como no Grupo Gerador Diesel. Neste sentido, tais grandezas podem ser comparadas, com a finalidade de validar o sistema elétrico hipotético.

TABELA 8
VALIDAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO – RESULTADOS CONCESSIONÁRIA E GERADOR DIESEL

Grandeza		CPFL	Gerador Diesel	
Tensão	Valor eficaz (V)	131,81	127,51	
	Harmônicas mais significativas (%)	5a	2,90	2,32
		7a	1,30	0,73
	THD (%)	3,10	2,70	
	Desequilíbrio (%)	0,19	0,51	

Diante dos resultados apresentados ressalta-se que a utilização do grupo gerador diesel atende perfeitamente aos anseios dos ensaios ora propostos, representando com certa fidelidade, o sistema elétrico da concessionária. As discrepâncias apresentadas se justificam no fato de que o sistema de distribuição da concessionária, assim como qualquer outro sistema de distribuição, possui muitas variáveis externas que afetam seu comportamento.

B. Ilhamento

Para simular uma situação de ilhamento, o disjuntor D1, responsável pela interconexão entre o gerador diesel e os demais componentes do sistema, conforme ilustrado na figura 3, foi aberto intencionalmente. A partir deste instante, parte do sistema elétrico hipotético passa a ser alimentado pela fonte GD. Os resultados obtidos dos ensaios experimentais, para cada um dos itens descritos, são analisados na seqüência.

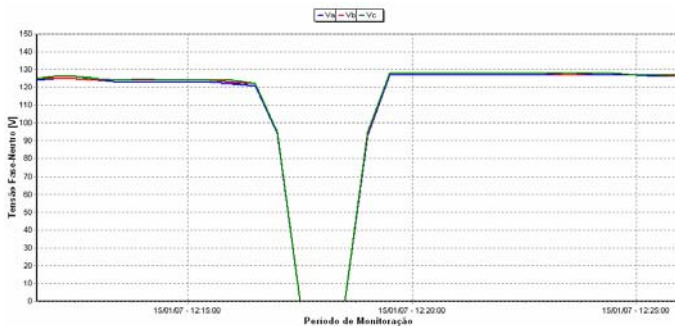


Figura 4 – Perfis das tensões fase neutro do sistema de distribuição durante o ilhamento

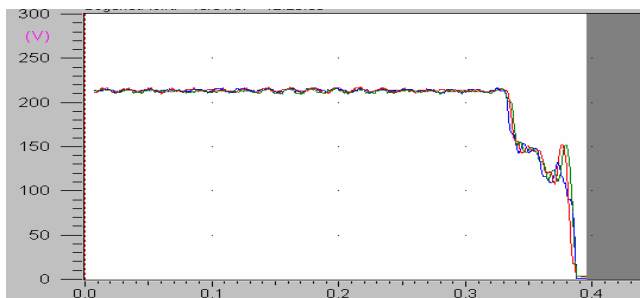


Fig. 5 – Resposta da microturbina diante da situação de ilhamento

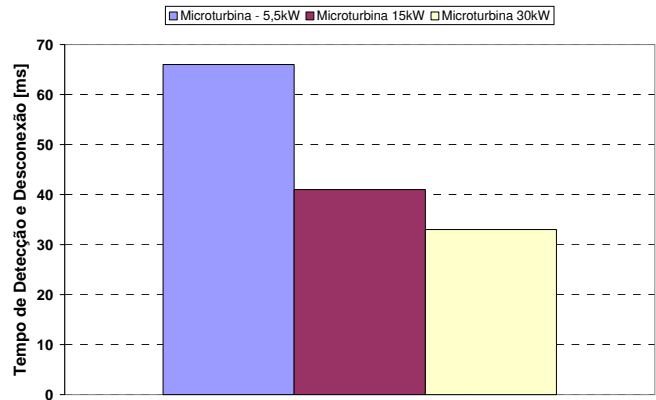


Fig. 6 – Tempo de Detecção e Desconexão da Proteção

Em todas as situações analisadas, o tempo de atuação do sistema de proteção da microturbina foi inferior ao limite estabelecido pelo Padrão IEEE 1547.

C. Oscilações da Frequência da Rede

Para simular o distúrbio de frequência, foram feitos cortes e energizações de parcelas da carga, dada à sensibilidade do gerador diesel. Os resultados obtidos dos ensaios experimentais, para cada um dos itens descritos, são analisados na seqüência.

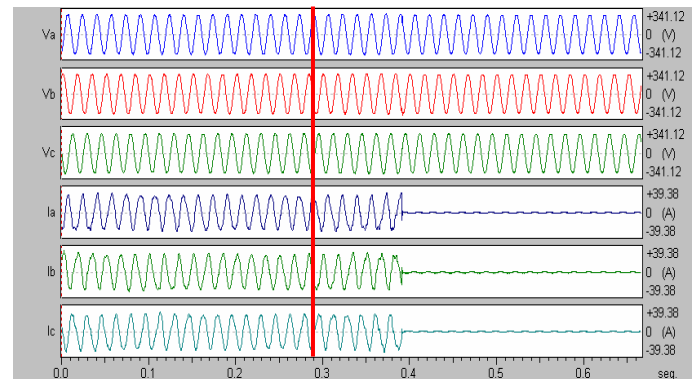


Fig. 7 – Oscilogramas das tensões e correntes na microturbina durante a oscilação da frequência – Microturbina fornecendo 30 kW

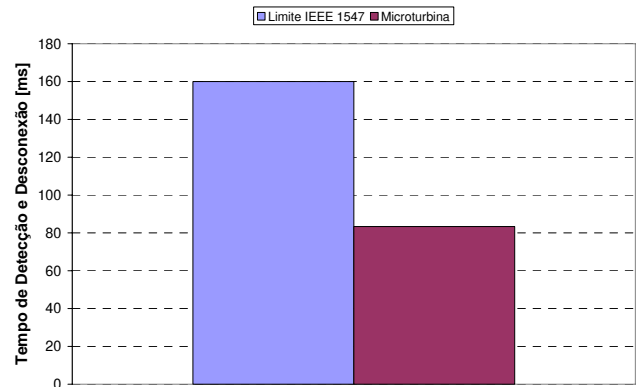


Fig. 8 – Tempo de Detecção e Desconexão – Referência IEEE versus Microturbina operando a 30 KW (pior situação)

Em todas as situações analisadas, o tempo de atuação do sistema de proteção da microturbina foi inferior ao limite

estabelecido pelo Padrão IEEE 1547, independente das situações operativas dos equipamentos de geração distribuída

D. Qualidade da Energia Elétrica

Os fenômenos da qualidade da energia elétrica que foram considerados para as investigações deste módulo foram: distorções harmônicas total e individual de tensão e corrente, variação de tensão em regime permanente e desequilíbrios de tensão. Os resultados obtidos dos ensaios experimentais são analisados na seqüência.

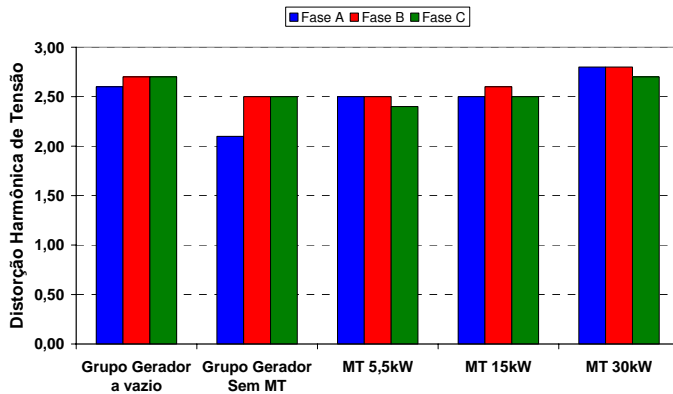


Fig. 9 – Análise Comparativa entre as Distorções harmônicas de tensão

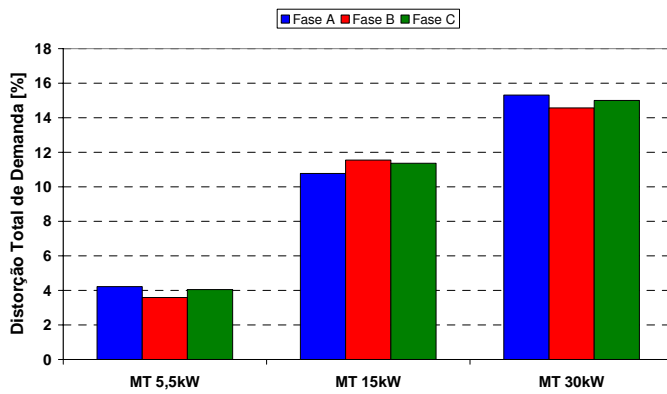


Fig. 10 – Análise Comparativa entre as Distorções Totais de Demanda

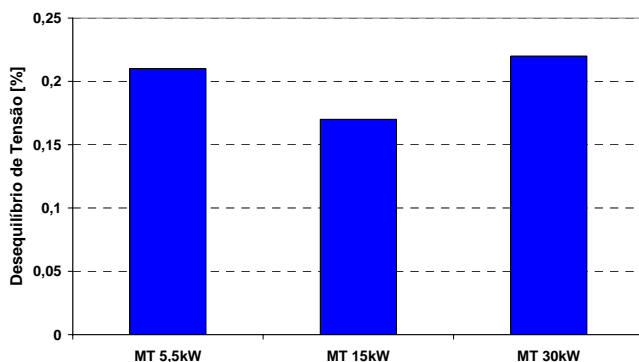


Fig. 11 – Análise Comparativa entre os desequilíbrios de tensão

Para todos os ensaios afetos à qualidade da energia elétrica, não houve aumento significativos das distorções harmônicas de tensão, conforme ficou evidenciado pelo gráfico da figura 9. Os maiores patamares de distorção harmônica foram, registrados para o caso da microturbina operando em plena carga.

Com relação aos desequilíbrios de tensão, ficou evidenciado que não houve transgressão dos limites proibitivos impostos pela norma vigente.

Em suma, a operação da microturbina em paralelo com a rede elétrica não provocou quaisquer violações dos limites associados à qualidade da energia, analisados no presente documento.

VI. CONCLUSÃO

Neste artigo foram apresentados os resultados de ensaios experimentais em uma microturbina, com o intuito de avaliar a conexão destes equipamentos com a rede elétrica. Os ensaios foram conduzidos de forma a atender os requisitos estabelecidos pelo procedimento normativo IEEE 1547. Os estudos compreenderam análises das funções de proteção bem como a avaliação da degradação dos níveis de conformidade da tensão de suprimento da rede elétrica quando da operação das fontes GD.

Com relação aos ensaios para a avaliação da confiabilidade do sistema de proteção do equipamento de GD, ficou evidenciado que a resposta de atuação dos equipamentos quando da presença de distúrbios anormais na rede elétrica, atendeu plenamente aos limites estabelecidos pelo IEEE 1547.

No que concerne aos ensaios relacionados à qualidade da energia elétrica, os fenômenos que foram contemplados nesta avaliação atenderam as recomendações normativas utilizadas como referência nas análises do impacto. Ressalva deve ser feita para o caso do indicador DDT (Distorção Total de Demanda), cujos patamares para alguns ensaios extrapolaram os limites máximos de injeção de correntes harmônicas. Contudo, conforme ficou evidenciado, as distorções de correntes registradas não comprometeram a conformidade da tensão do sistema elétrico.

Desta feita, ficou comprovado que a microturbina levada aos ensaios pode ser interconectada ao sistema elétrico de distribuição sem comprometer o desempenho do mesmo. Todavia, não obstante a bateria de testes realizados, novas investigações devem ser conduzidas de forma a se contemplar outras condições de não conformidade não identificadas neste trabalho.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Grisham, J. L. "A Guidebook to Evaluate the Use of Distributed Generation in Distribution Systems", A Thesis Submitted to the Faculty of Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi, May 2004;
- [2] Dugan, R., M. F. McGranaghan, H. W. Beaty, "Electrical Power System Quality", McGraw-Hill, Second Edition, USA, 2002;
- [3] IEEE 1547 – 2003 – "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems". 2003;
- [4] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica: PRODIST - Procedimentos de Distribuição
- [5] IEEE 519-1992 – "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems". 1992;
- [6] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Resolução Nº 505 de 26 de Novembro de 2001.
- [7] IEC 61000-4-30 Ed. 1: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and Measurement Techniques - Power Quality Measurement Methods.
- [8] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, "Submódulo 2.2, Padrões de Desempenho da Rede Básica", de 22 de Agosto de 2002.

VIII. BIOGRAPHIES



Mateus Duarte Teixeira nasceu em Viçosa, MG. Se graduou em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) em Janeiro de 2001. Obteve seu título de mestre em Ciências pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em Julho de 2003.

Sua experiência profissional inclui o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC onde atuou como pesquisador de 2003 a 2007, e a Arteche EDC, onde é gerente de desenvolvimento de negócios na área de qualidade de energia. Suas áreas de interesse incluem qualidade de energia, compensação reativa, eficiência energética e geração distribuída.



Rodrigo Antônio Peniche é natural de Ijaci, MG. É Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) em 2002 e mestre em ciências pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em 2004. Atuou como pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), em projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados à qualidade da energia, geração distribuída e operação de redes de energia de elétrica de 2004 à 2007.

Atualmente trabalha com planejamento da distribuição em sistemas de 69 e 138 KV na COPEL.



Alexandre Rasi Aoki nasceu em Bauru, São Paulo, em 13 de Novembro de 1974. Graduou-se pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá, atual UNIFEI, em 1996. Obteve seus títulos de Mestrado e Doutorado por esta mesma escola em 1999 e 2003 respectivamente. Sua experiência profissional inclui a Universidade Federal de Itajubá e o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento - LACTEC, onde atualmente é gerente da Divisão de Sistemas Elétricos. Sua principal área de interesse envolve o

desenvolvimento de sistemas inteligentes para aplicação em sistemas elétricos de potência.