

Avaliação da Metodologia para Atribuição de Responsabilidade das VTCDs baseada na Análise dos Fatores de Desequilíbrio: Aplicação no Arranjo *IEEE-BTS-HCD*

Adrian Ribeiro Ferreira
Escola Superior de Engenharia,
Tecnologia e Inovação– ESETI
Universidade do Distrito Federal
Brasília-DF, Brasil
adrianrf.ufu@gmail.com

Paulo Henrique Oliveira Rezende
Dept. Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia-MG, Brasil
paulohenrique.rezende@ufu.br

José Carlos de Oliveira
Dept. Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia-MG, Brasil
jcoliveira@ufu.br

Resumo — Os sistemas elétricos estão em constante modernização, e as cargas tornam-se cada vez mais tecnológicas e sensíveis à qualidade da energia de suprimento. Um dos fenômenos que mais causam prejuízos às indústrias modernas são as variações de tensão de curta duração (VTCDs). Identificar o agente responsável por sua origem é essencial para mitigar os problemas associados a esses eventos. O presente artigo apresenta a aplicação da metodologia de atribuição de responsabilidade das VTCDs utilizando os fatores de desequilíbrio como ferramenta de análise. O artigo avança no sentido da implementação dessa metodologia no sistema *IEEE Benchmark Test System for Harmonic Contribution Determination Studies (IEEE-BTS-HCD)*, um sistema reconhecido e validado internacionalmente por diversos autores. Ainda, são explorados aspectos relevantes atrelados com a eficácia do processo de análise diante de redes com múltiplas barras e também cargas motrizes. Os resultados obtidos reforçam a importância da metodologia estudada e sua relevância para o avanço na análise e solução dos problemas relacionados às VTCDs.

Palavras-chave — Atribuição de responsabilidade, Diagnóstico, Legislação, Qualidade da Energia, VTCDs.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos têm passado por constantes mudanças, as quais, de forma particular nos últimos anos, envolvem o aumento da demanda por fontes de energia renovável, a redução da utilização de combustíveis fósseis e o avanço na adoção de recursos energéticos distribuídos, como sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia (BESS), entre outros. Esses avanços trouxeram inúmeros benefícios para os sistemas, todavia, numa outra vertente, também conduzem a vários desafios, a exemplo da complexidade operacional do sistema integrado, a necessidade de maior atenção à qualidade da energia, etc [1].

Outro ponto relevante está no fato que os sistemas industriais estão cada vez mais automatizados, incorporando tecnologias avançadas, como processamento extensivo de informações, controle de processos de medição e manipulação, entre outros. Por meio da aplicação de computadores, equipamentos eletrônicos, teoria de controle e tecnologias correlatas, a automação industrial desempenha funções de gerenciamento, otimização, detecção, controle e regulamentação se faz necessária nos processos de produção industrial. Essa automação visa atingir objetivos preestabelecidos, promovendo o aumento da produção

industrial, a economia de energia, a redução do consumo e a promoção de uma produção segura. Novamente, o emprego dessas tecnologias requer atenção para a operação das redes elétricas de suprimento com qualidade de energia compatível com as cargas supridas [2].

De fato, a qualidade de energia elétrica desempenha um papel vital devido ao impacto que acarreta nos diversos segmentos que perfazem os complexos elétricos, os quais envolvem as concessionárias de energia, os fabricantes de equipamentos e unidades consumidoras industriais, comerciais e residenciais. Em atenção a esta temática, os padrões dos fornecimentos da energia devem ser observados em consonância com as diretrizes claramente expostas no PRODIST [3]. Esta regulamentação, estabelecida pela agência reguladora ANEEL, contempla fenômenos diversos quanto a sua natureza, estratégias para medição e quantificação, limites considerados admissíveis, dentre outros. Os indicadores considerados neste documento compreendem as variações de tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variação de frequência e variações de tensão de curta duração (VTCD), ou seja, refere-se a um amplo conjunto de fenômenos passíveis de manifestação nas tensões nos pontos de acoplamento entre as unidades supridoras e consumidoras. A exemplo de empresas que se mostram bastante sensíveis aos padrões de qualidade da energia elétrica ressaltam-se aquelas destinadas à fabricação de semicondutores, computadores, automotivo, farmacêutico, bebidas e alimentos, mineração, sistemas financeiros, etc [4].

Tendo em vista tais interdependências dos consumidores com a qualidade da energia, pesquisas foram conduzidas sobre os fenômenos que mais afetam grupos distintos de indústrias, as quais conduziram ao indicados nas Fig. 1 e Fig. 2 [5]. A primeira contempla os desvios de qualidade da energia que mais afetam as unidades pesquisadas. Esta indica claramente que os maiores problemas se apresentam na forma das VTCDs ($\cong 50\%$), seguidas por harmônicos e questões relacionadas ao aterramento. Numa outra via, além dos aspectos relacionados com a operação confiável e segura dos consumidores, há também a se considerar os impactos de ordem financeiras.

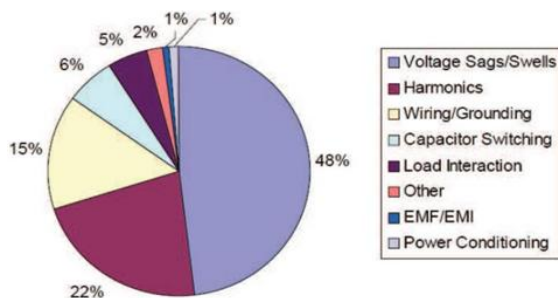


Fig. 1. Tipos e percentuais de fenômenos de qualidade de energia mais impactantes constatados na pesquisa de mercado indicada [5].

A Fig. 2, por sua vez, ilustra a correlação entre eventos relacionados às variações de tensão aqui referidas e prejuízos de ordem econômica que ocorrem em distintos tipos de indústrias.

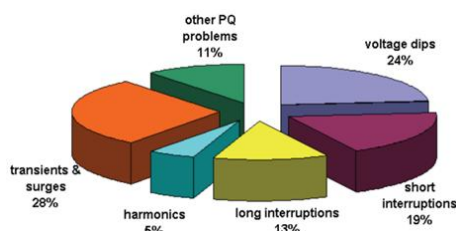


Fig. 2. Indicativos dos fenômenos de qualidade mais frequentes que implicam em perdas financeiras [5].

O custo anual dos problemas de qualidade de energia é de \$15 bilhões. Para instalações com processos mais sensíveis, esse impacto se traduz em valores que variam de \$14.000 a \$6,5 milhões por hora visto que, algumas instalações, após seus desligamentos, requerem horas para o retorno ao processo produtivo [6].

De acordo com o exposto, as VTCDs se apresentam como anomalias operacionais que mais afetam as unidades consumidoras, causando prejuízos na forma de custos diretos e indiretos, incluindo danos a equipamentos, tempo de inatividade e perda de produtividade [7] e [8]. Esta última indica que o custo de perturbações típicas de energia foi responsável por cerca de 1 bilhão de dólares na década de 1990 e, na atualidade, representa cifras da ordem de 10 bilhões de dólares anualmente. De acordo com [9], [10], durante o período de monitoramento de um ano, o custo total da queda de tensão foi estimado em US\$ 4.04 milhões. Tais grandezas apontam para o fato que o custo de energia não fornecida por MWh é estimado em US\$ 2800/MWh. Para uma indústria de semicondutores, com um consumo anual de energia de 100 MWh, o custo incorrido por evento de interrupção é de \$50,000. Em [11] foi feita a análise do impacto das VTCDs em unidades consumidoras na China. Tal análise foi baseada em questionários e/ou entrevistas pessoais para calcular as perdas resultantes e o resultado desta pesquisa determinou que o custo por queda de tensão variava significativamente entre os setores industriais conforme o valor agregado do produto final. A exemplo disso destaca-se que, na indústria de fibras químicas, os prejuízos variavam de US\$ 29,000.00 a US\$ 172,000.00, enquanto na indústria de semicondutores, de US\$ 574,000.00 a US\$ 3,585,000.00.

Complementarmente, a Tabela I ilustra valores típicos das perdas financeiras relacionadas com a ocorrência de VTCDs para alguns tipos de indústrias.

TABELA I. PERDAS FINANCEIRAS NAS INDÚSTRIAS OCASIONADAS POR VTCDs [12].

Tipos de Indústrias	Custos [Euro - €]
Têxtil	1.000 – 100.000
Plástico	2.000 – 50.000
Vidro	10.000 – 1.000.000
Papel	30.000 – 3.000.000
Aço	50.000 – 4.000.000
Semicondutor	75.000 – 10.000.000

Diante do exposto, ficam evidenciadas importantes consequências negativas provocadas pelos eventos, fato este que determina a necessidade da implementação de medidas mitigatórias, cujos custos são expressivos e, em função destes investimentos, emerge os desafios para a identificação das responsabilidades dos fenômenos em pauta. De fato, ao se considerar o efeito final resultante num determinado Ponto de Acoplamento Comum – PAC, definido pelo barramento de conexão entre o supridor e o consumidor, ou ainda, entre dois agentes, genericamente designados por agente 1 e agente 2, a busca por mecanismos sistematizados e confiáveis para a atribuição da responsabilidade do evento se mostra extremamente relevante e desafiadora.

A temática do compartilhamento e/ou identificação das responsabilidades relacionadas aos eventos associados ao cenário da Qualidade da Energia tem sido amplamente discutida e investigada nos últimos anos. Os progressos alcançados no contexto das distorções harmônicas, por exemplo, revelam perspectivas atrativas e viáveis indicadas nos estudos relatados em [13], [14] e [15]. Também, a problemática dos desequilíbrios de tensões têm sido abordada em várias pesquisas [16], [17]. Apesar dessas considerações, no que diz respeito às VTCDs, é crucial destacar que o termo "compartilhamento" já não é mais apropriado, uma vez que, para esses eventos, a atribuição de responsabilidade se mostra mais pertinente. Nesse último contexto, é possível identificar alguns trabalhos publicados com encontrados em [18], [19] e [20].

Em relação à aplicação da metodologia para a atribuição de responsabilidade das VTCDs baseada na correlação dos fatores de desequilíbrio (FDs), obtidos para o primário e secundário dos transformadores de interligação entre dois agentes [21], esta técnica foi explorada e se mostrou adequada aos objetivos em pauta. Estudos conduzidos para instalações com características industriais foram apresentados em [22], assim como também em complexos elétricos envolvendo interligações HVDC [23]. Complementarmente, em [24] o procedimento foi utilizado para uma rede de distribuição, utilizando dados reais modelados a partir da BDGD e implementados por meio do OpenDSS e linguagem Python. Os resultados, como um todo, demonstraram a eficácia do processo de análise. Estas constatações sobre a efetividade da estratégia foram ainda reforçadas através de resultados laboratoriais reportados em [21].

O objetivo desse artigo é apresentar uma aplicação da metodologia para atribuição de responsabilidade das VTCDs baseada na análise dos fatores de desequilíbrio (FDs) em ambos os lados do transformador de conexão entre dois agentes [21]. No presente trabalho, em específico, a aplicação da metodologia será avaliada com o arranjo topológico e paramétrico conhecido por *IEEE Benchmark Test System for Harmonic Contribution Determination Studies (IEEE-BTS-HCD)*, o que será detalhado nas próprias seções. Adicionalmente, o trabalho avança em relação ao emprego da

estratégia para redes elétricas com múltiplas barras, e ainda, diante da presença de cargas motrizes.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Fig. 3 ilustra um resumo da metodologia, e mostra estrutura da interligação dos agentes, nos termos requeridos para o emprego da metodologia. Nesta são indicadas a estrutura topológica e as grandezas requeridas para o emprego do método. A sigla FD significa fatores de desequilíbrio, os números 2 e 0 indicam sequência negativa e zero, respectivamente. Os subíndices v e i indicam tensão e corrente, enquanto p e s indicam primário e secundário, respectivamente. É importante destacar que, para a metodologia, é fundamental realizar medições simultâneas no lado primário e secundário do ponto de análise. Como se tratam de medições simples de valores eficazes das tensões e correntes trifásicas, as informações requeridas para o emprego do procedimento de análise podem ser prontamente obtidas através de medidores comerciais existentes, a exemplo dos clássicos instrumentos para avaliação da qualidade da energia, ou mesmo, outros recursos mais simples.

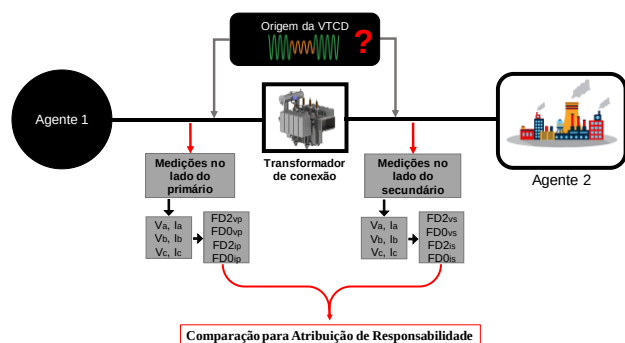


Fig. 3. Resumo da metodologia [21].

Utilizando um tratamento matemático para a correlação dos fatores de desequilíbrio ocorridas no primário e secundário do equipamento de conexão, para diferentes tipos de eventos e de conexões, foi possível constatar e estabelecer uma lógica para a identificação do agente responsável pelo ocorrido, conforme trazido por [21].

Quando a fonte do distúrbio é advinda do lado do agente 1 ou primário do transformador, que:

- Os FDs de sequência negativa se mostram *iguais* para os dois agentes, quer para a tensão e corrente;
- Os FDs de sequência zero, como esperado, dependem das conexões dos transformadores e se o evento envolve o terra. Assim, de forma geral, não havendo uma única relação para as transferência deste indicador, o mesmo, por si só, não se mostra conclusivo para o processo da identificação.

Por outro lado, quando a origem do distúrbio está no agente 2 conectado ao secundário do transformador, as constatações são:

- Os FDs das tensões de sequência negativa determinados do lado primário e secundário se mostram *distintos*;
- Já, em se tratando dos FDs das correntes dos lados primário e secundário, estes se mostram *iguais*;
- Quanto ao FD de sequência zero, mais uma vez, esta grandeza é fortemente dependente do tipo de ligação do

transformador e do tipo de falta e não garante o estabelecimento de uma base sólida.

A Tabela II resume os resultados dos processos de transferência dos fatores de desequilíbrio de sequência negativa e zero, tanto para tensões quanto para as correntes. Também, as grandezas FD0v e FD0i se mostram como bases complementares visando a consistência da análise.

TABELA II. RESUMO COM A RELAÇÃO ENTRE OS FATORES DE DESEQUILÍBRIO DE SEQUÊNCIA NEGATIVA E ZERO PARA TENSÕES E CORRENTES, DE ACORDO COM O TIPO DE TRANSFORMADOR E A ORIGEM DA VTCD.

Conexão do Transformador	Origem da VTCD	$FD2v_{p\%} \times FD2v_{s\%}$	$FD0v_{p\%} \times FD0v_{s\%}$	$FD2i_{p\%} \times FD2i_{s\%}$	$FD0i_{p\%} \times FD0i_{s\%}$
A-Yn	Primário	igual	diferente ou inexistente	igual	inexistente
	Secundário	diferente	diferente ou inexistente	igual	diferente ou inexistente
Y-A	Primário	igual	diferente ou inexistente	igual	inexistente
	Secundário	diferente ou inexistente	diferente ou inexistente	igual ou inexistente	inexistente
Yn-Yn	Primário	igual	igual ou inexistente	igual	Igual, diferente ou inexistente
	Secundário	diferente	diferente ou inexistente	igual	Igual, diferente ou inexistente

Conforme observado anteriormente, os FDs de tensão foram os mais efetivos e conclusivos, portanto, eles serão utilizados para as análises efetuadas neste trabalho.

III. SISTEMA IMPLEMENTADO PARA ESTUDO

A. Descrição do Sistema

O arranjo considerado se apresenta como uma aplicação associada com um sistema de grande porte, numa composição típica de um complexo de suprimento contendo múltiplas unidades consumidoras. Para tanto foi estabelecido a proposta do arranjo topológico e paramétrico conhecido por *IEEE Benchmark Test System for Harmonic Contribution Determination Studies (IEEE-BTS-HCD)*, o qual foi, originalmente, concebido para estudos sobre a contribuições harmônicas. Este arranjo foi adequado para fins dos estudos conduzidos por este trabalho, com destaque ao fato que, agora, ao invés de um agente supridor e outro consumidor, passa-se para 3 centros de consumo. Isto determina um complexo com múltiplos PACs, cada qual correspondente ao ponto de conexão de suas cargas individuais. Esta situação é indicada na Fig.4, que detalha a estrutura do sistema elétrico utilizado.

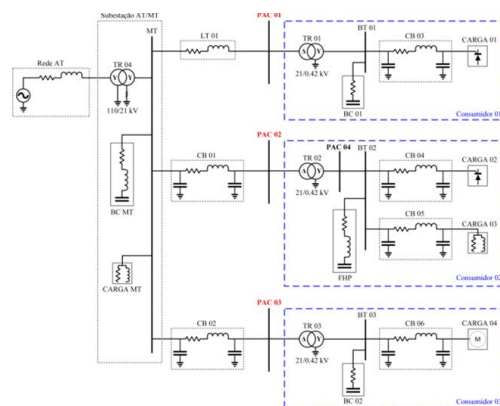


Fig. 4. Sistema elétrico empregado para o estudo (IEEE-BTS-HCD) [13].

Como indicado, o *IEEE-BTS-HCD* representa uma rede elétrica com distintos níveis de tensão, barramentos de alta tensão (AT), média tensão (MT) e baixa tensão (BT). Estes alimentam três consumidores de maneira que, cada um, possui seu respectivo ponto de acoplamento com o complexo através de transformadores individuais, cada qual originando seu respectivo ponto de acoplamento - PAC. Os consumidores são compostos, por cargas lineares e não lineares, bancos de capacitores e filtros harmônicos passivos. Além dos consumidores, encontram-se também conectados na subestação um banco de capacitores e uma carga trifásica resistiva-indutiva. Os parâmetros representativos de cada unidade consumidora podem ser encontrados em [13]. Quanto às condições operativas para o sistema, estas são sintetizadas na Tabela III.

TABELA III. CONDIÇÃO OPERATIVA IMPOSTA AO SISTEMA *IEEE-BTS-HCD*

Elementos do Sistema	Condição de operação
Consumidor 01	
Retificador a tiristor (CARGA 01)	ligado
Banco de capacitores (BC 01)	ligado
Consumidor 02	
Retificador a tiristor (CARGA 02)	ligado
Carga linear (CARGA 03)	ligada
Filtro harmônico passivo (FHP)	ligado
Consumidor 03	
Motor de indução (CARGA 04)	Potência reduzida (200 kW, fp 0,9)
Banco de capacitores (BC 02)	ligado (50 kVAr)
Carga MT	
(CARGA MT)	ligada
Banco de capacitores MT	
(BC MT)	ligado

Fonte: Adaptado de [13].

B. Estudos de caso analisados

Diante da presença de 4 pontos de acoplamento, cada qual com seu transformador de conexão, os trabalhos foram conduzidos de forma a considerar, isoladamente, para os distintos distúrbios, os 4 PACs (T1, T2, T3 e T4).

Foram utilizadas faltas para promover as VTCDs, estas com características: fase-terra, fase-fase e fase-fase-terra, as quais conduziram a tensões residuais de 0,5 pu para a fase submetida à falta, durante o intervalo de tempo de 0,3 s. Também, é relevante observar que as investigações de ocorrências nos primários de T1, T2 e T3 se fazem dispensadas, visto que os distúrbios já teriam sido explorados quando da aplicação de faltas no secundário do T4.

Os subcasos analisados foram:

- Falta Fase-Terra no primário de T4 – subcaso 2.1.1;
- Falta Fase-Terra no secundário de T4 – subcaso 2.1.2;
- Falta Fase-Terra no secundário de T1 – subcaso 2.1.3;
- Falta Fase-Terra no secundário de T2 – subcaso 2.1.4;
- Falta Fase-Terra no secundário de T3 – subcaso 2.1.5.

Em atenção aos estudos acima postos, fica evidenciado que os mesmos envolvem tão apenas a imposição de faltas fase-terra, e por conseguinte, as VTCDs correspondentes. Entretanto, vale destacar que foram feitos estudos compreendendo situações da ocorrência de distúrbios *fase-fase* e *fase-fase-terra*, originando, assim os casos 2.2 e 2.3, a serem considerados na sequência do presente. E, da mesma forma, seus correspondentes subcasos.

A Fig. 5 ilustra o sistema implementado no Matlab/Simulink e também os pontos de incidência das ocorrências.

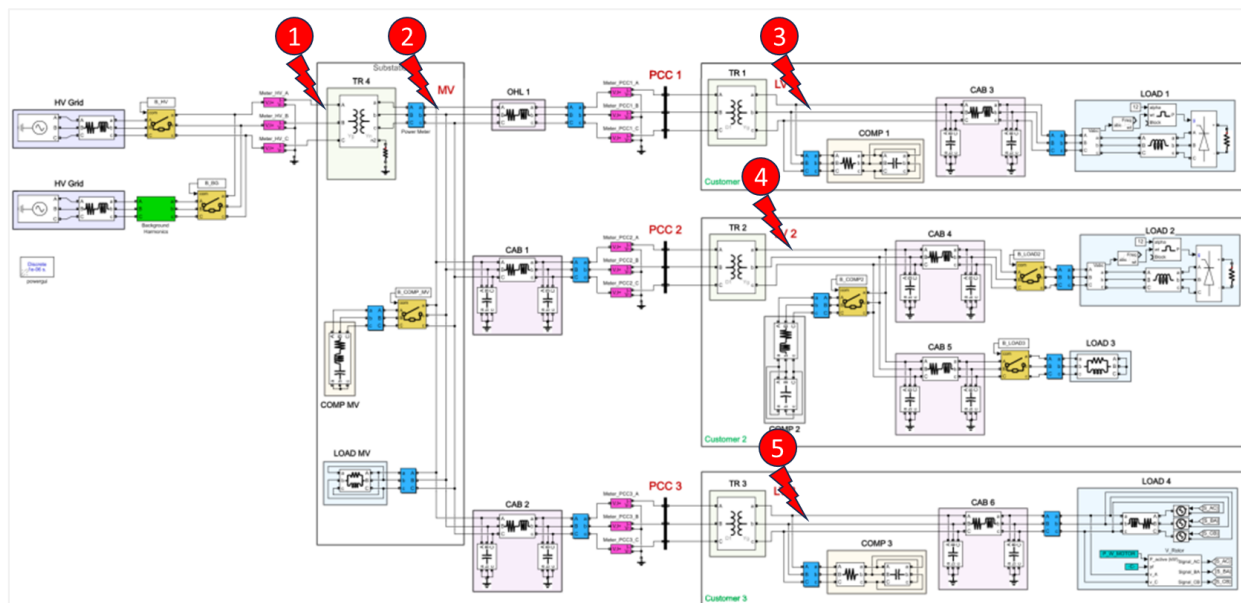


Fig. 5. Sistema elétrico implementado no simulador e indicação dos pontos responsáveis pelas ocorrências.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados encontrados para os fatores de desequilíbrio de tensão, de sequência negativa e zero, associados com a análise em pauta estão apresentados na Fig. 6. Nesta, são apresentados todos os subcasos apresentados anteriormente, para distintos tipos de faltas. As barras em azul escuro

representam os valores para as medições obtidas no primário do transformador em análise, enquanto que, as que estão em azul claro representam as medições do lado do secundário. É importante ressaltar que os valores não estão em porcentagem, e sim, representam diretamente as divisões dos módulos das tensões de sequência negativa e zero divididas pelo módulo da tensão de sequência positiva.

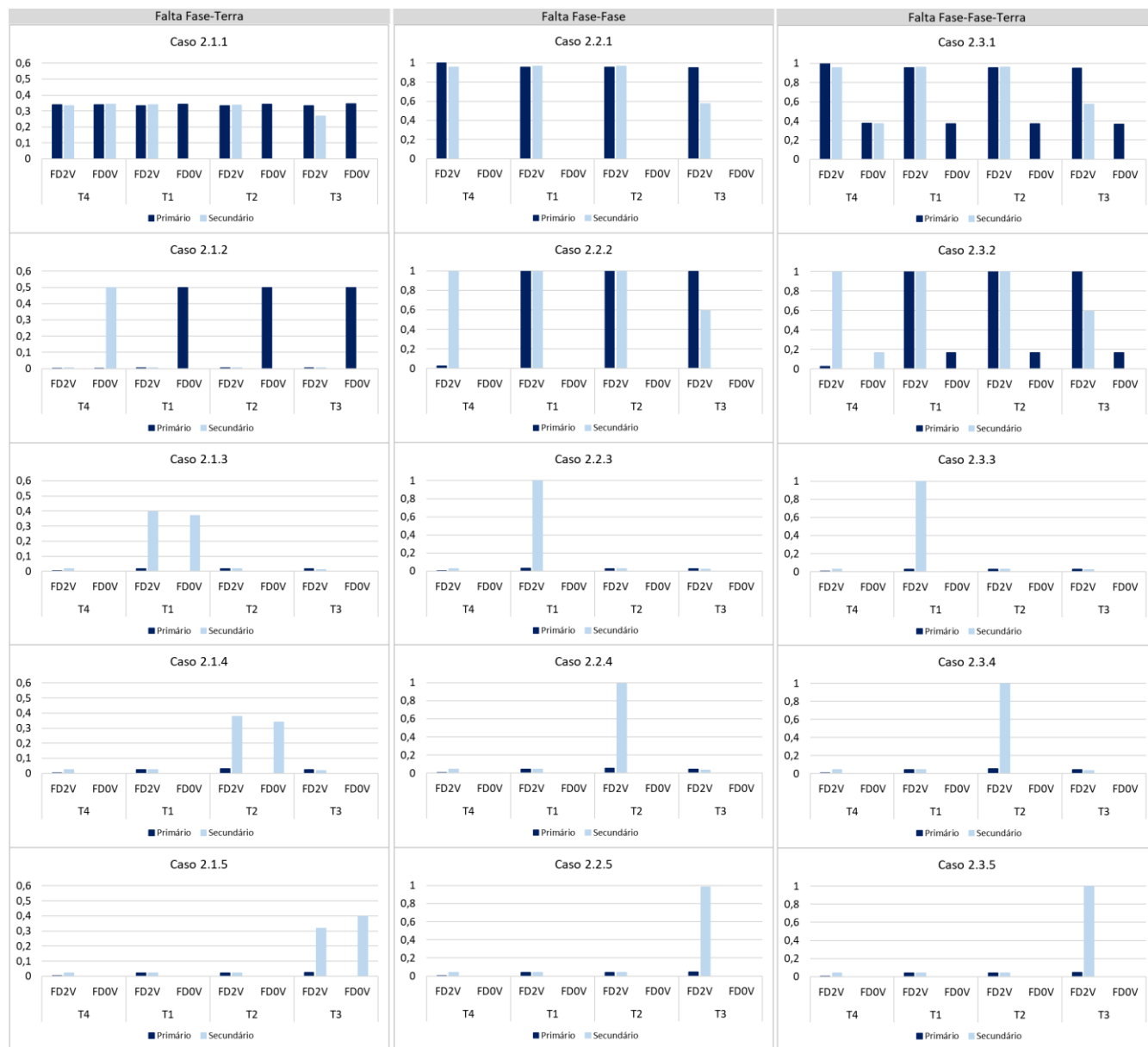


Fig. 6. Resultados encontrados para o estudo.

Os desempenhos obtidos revelam que:

- Para faltas aplicadas no primário do T4, os valores dos fatores FD2v são o mesmo em ambos os lados do transformador, indicando que o evento que originou a VTCD é advindo do agente 1. Analisando-se os demais transformadores (T1, T2 e T3), estes também indicam desempenhos atrelados com uma falta oriunda do lado de seus respectivos primários (T4 é comum a todos eles);

- Para o caso da incidência das faltas no secundário do T4, os fatores de desequilíbrio entre o primário e secundário desta unidade se mostram distintos. Analisando-se T1, T2, T3, FD2v percebe-se que esta grandeza se apresenta igual para ambos os lados destes transformadores, fato este que determina que o evento ocorreu a montante destes;

- Para a situação que a fonte do distúrbio se faz presente no secundário do T1, sem maiores detalhes de considerações, mais uma vez fica ratificada a proposta de identificação da origem do fenômeno;

- Para as faltas nos secundários dos transformadores T2 e T3, os resultados foram similares ao anterior, assim como a identificação da origem dos distúrbios;

- De um modo geral, os FD0v serviram como um complemento as análises realizadas. As componentes de sequência zero se fizeram presentes quando a ligação do transformador permitia;

Outro fator de influência considerado foi o efeito dos níveis de potência das unidades consumidoras quando da presença de cargas motrizes. Assim, as situações identificadas por casos 2.1.1 e 2.2.1 foram modificadas de forma a contemplar este fato, através de alterações promovidas na carga motriz do consumidor suprido por T3. Este procedimento produziu os denominados subcasos 2.4.1 e 2.4.2. O primeiro empregado motores que totalizam um consumo de 600 kW e o segundo com 50 kW. Ainda, o estudo caracterizado por 2.2.1, gerou as situações definidas por subcasos 2.5.1 e 2.5.2.

Os resultados obtidos para a análise do fator de influência exercido pelas máquinas motrizes encontram-se apresentados na Fig.7, onde é possível notar que a alteração da potência do MIT pouco alterou os resultados apresentados anteriormente.

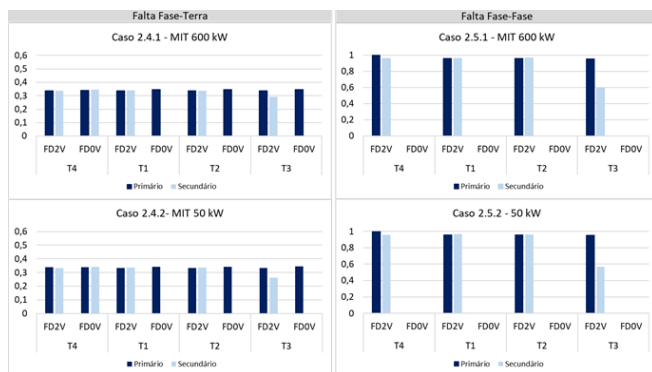


Fig. 7. Avaliação do fator de influência das cargas motrizes sobre o desempenho da metodologia.

V. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado trouxe importantes contribuições para os estudos que envolvem a aplicação da metodologia de atribuição de responsabilidade nas VTCDs, por meio das análises dos FDs. Nesse contexto, foi explorado um novo sistema de teste, o *IEEE-BTS-HCD*, que é altamente completo e reconhecido internacionalmente. Os resultados obtidos comprovam a robustez do método aplicado para sistemas elétricos com diferentes cenários, a exemplo de configurações topológicas com multibarramentos, e a presença de cargas motrizes, até então não consideradas nos estudos. A eficácia do processo de análise se mostrou com robustez apropriada aos fins a que se destina e, novamente, o fator de desequilíbrio de tensão de sequência negativa destacou-se como o indicador mais promissor, enquanto o fator de desequilíbrio utilizando a sequência zero mostrou-se um complemento eficaz para eventos envolvendo faltas à terra.

VI. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de

Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como, do programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Sathish Kumar, M. Ramanan, J. A. Alzubi, P. Jayarajan, and S. Thenmozhi, "Smart Metering Using IoT and ICT for Sustainable Seller Consumer in Smart City," 2021, pp. 75–89. doi: 10.1007/978-3-030-70183-3_4.
- [2] P. Li, "Introductory Chapter: New Trends in Industrial Automation," in *New Trends in Industrial Automation*, IntechOpen, 2019. doi: 10.5772/intechopen.84772.
- [3] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, "PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – PRODIST: MÓDULO 8 – QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA," 2022. [Online]. Available: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf
- [4] M. Koli and V. Bhuriya, "Survey on Voltage Stability," *J. Electron. Des. Technol.*, vol. 7, 2016, doi: <https://doi.org/10.37591/joedt.v7i3.4813>.
- [5] F. Sibarani, "Innovative Solution for grid-sourced power quality issues," 2020. [Online]. Available: https://new.abb.com/docs/librariesprovider71/el-library/presentation_power-protection---indonesia-smart-grid-initiative-%2816-9%29.pdf?sfvrsn=c2f40517_4
- [6] A. D. Evora, "Understanding power quality issues," 2015. <https://affinityenergy.com/power-quality-infographic/>
- [7] M. Khaleel, Z. Yusupov, M. Elmnifi, T. Elmenfy, Z. Rajab, and M. Elbar, "Assessing the Financial Impact and Mitigation Methods for Voltage Sag in Power Grid," *Int. J. Electr. Eng. Sustain.*, vol. 1, pp. 10–26, 2023.
- [8] P. K. Lim and D. S. Dorr, "Understanding and resolving voltage sag related problems for sensitive industrial customers," in *2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37077)*, vol. 4, pp. 2886–2890. doi: 10.1109/PESW.2000.847343.
- [9] N. K. Medora, A. Kusko, and M. Thompson, "Impact of line voltage sag on switch mode power supply operation," in *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Jun. 2008, pp. 2178–2183. doi: 10.1109/ICIEA.2008.4582904.
- [10] Chunhong He, Feng Li, and V. K. Sood, "Static transfer switch (STS) model in EMTPWorks RV," in *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004 (IEEE Cat. No.04CH37513)*, pp. 111–116. doi: 10.1109/CCECE.2004.1344969.
- [11] M. M. Khaleel, Z. Yusupov, M. T. Güneşer, A. A. Abulifa, A. A. Ahmed, and A. Alsharif, "The Effect of PEMFC on Power Grid Using Advanced Equilibrium Optimizer and Particle Swarm Optimisation for Voltage Sag Mitigation," in *2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, May 2023, pp. 755–760. doi: 10.1109/MI-STA57575.2023.10169228.
- [12] A. Sharma, B. S. Rajpurohit, and S. N. Singh, "A review on economics of power quality: Impact, assessment and mitigation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 88, pp. 363–372, May 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.02.011.
- [13] B. Ganesini, "Compartilhamento de responsabilidades harmônicas: implementação de Benchmark do IEEE e aplicação de metodologias," Universidade Federal de Uberlândia, 2020. doi: 10.14393/ufu.di.2020.619.

- [14] A. Santos, “Uma contribuição ao processo do compartilhamento de responsabilidades sobre as distorções harmônicas via chaveamento de unidades capacitivas,” Universidade Federal de Uberlândia, 2015. doi: 10.14393/ufu.di.2015.18.
- [15] A. Santos, “Compartilhamento de responsabilidades harmônicas: análises, contribuições e proposições,” Universidade Federal de Uberlândia, 2019. doi: 10.14393/ufu.te.2019.2445.
- [16] R. Gregory, “Propostas de metodologias para a determinação das contribuições sobre os desequilíbrios em sistemas elétricos trifásicos,” Universidade Federal de Uberlândia, 2020. doi: 10.14393/ufu.te.2020.725.
- [17] M. Moraes, “Uma proposta para a atribuição de responsabilidades sobre desequilíbrios de tensão através da análise de componentes independentes,” Universidade Federal de Uberlândia, 2022. doi: 10.14393/ufu.te.2022.5040.
- [18] M. De Santis, C. Noce, P. Varilone, and P. Verde, “Analysis of the origin of measured voltage sags in interconnected networks,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 154, pp. 391–400, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.epsr.2017.09.008.
- [19] V. Barrera Nunez, X. Berjaga Moliner, J. Melendez Frigola, S. Herraiz Jaramillo, J. Sanchez, and M. Castro, “Two methods for voltage sag source location,” in *2008 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Sep. 2008, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICHQP.2008.4668849.
- [20] G. W. Chang, Ju-Peng Chao, H. M. Huang, Cheng-I Chen, and Shou-Yung Chu, “On Tracking the Source Location of Voltage Sags and Utility Shunt Capacitor Switching Transients,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 23, no. 4, pp. 2124–2131, Oct. 2008, doi: 10.1109/TPWRD.2008.923143.
- [21] A. R. Ferreira, B. M. Giancesini, J. C. d. Oliveira and P. H. O. Rezende, “An Approach for Assigning Responsibilities of Short-Term Voltage Variations in Electrical Power Systems,” in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 7751–7758, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3237921.
- [22] FERREIRA, Adrian Ribeiro. Uma proposta metodológica para a atribuição da responsabilidade das VTCDs baseada na correlação dos fatores de desequilíbrio. 2021. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.377>.
- [23] C. Peres, A. Ribeiro, J. Corrêa, I. Nunes, Carlos, and N. Paulo, “Estudo de Caso Associado com a Metodologia para Atribuição da Responsabilidade das VTCD’s baseada no Fator de Desequilíbrio de Tensão,” *Anais do ... Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.20906/sbse.v2i1.3105>.
- [24] L. A. T. Passatuto, A. G. De Souza, W. M. S. Bernardes, L. C. G. Freitas, and Ê. C. Resende, “Assignment of Responsibility for Short-Duration Voltage Variation via QGIS, OpenDSS and Python,” *2024 International Workshop on Artificial Intelligence and Machine Learning for Energy Transformation (AIE)*, pp. 1–6, May 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/aie61866.2024.10561325>.