



GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

IMPACTO DA MODELAGEM DE USINAS BASEADAS EM INVERSORES EM TESTES DE IEDS DE PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA NO RTDS

**GUILHERME LOURO JUSTINO (1); FELIPE CRESTANI DOS SANTOS (1); DABIT GUSTAVO SONODA (1);
ARTUR BOHNEN PIARDI (1); JONAS VILLELA DE SOUZA (1)
FPTI BRASIL (1);**

RESUMO

Este trabalho analisa o impacto da representação de uma usina baseada em inversor sobre o desempenho da função de proteção de distância em IEDs reais durante testes em malha fechada com o simulador RTDS. Durante os testes, três patamares de geração foram considerados, além de três representações distintas para a usina: fonte de tensão, modelo médio de inversor, e modelo completo de inversor. O objetivo do trabalho foi verificar se o desempenho do sistema de proteção pode ser afetado pela forma de representação e patamar de geração da usina.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção, inversores, RTDS, proteção de distância

1.0 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a adoção de geradores baseados em inversores (GBIs) tais como os geradores eólicos e fotovoltaicos tem se tornado mais comuns ao redor do mundo, muitas vezes em resposta a incentivos e compromissos promovidos por inúmeros governos como forma de lidar com aquecimento global e outras preocupações ambientais. No Brasil, esse tema vem ganhando destaque visto a constante elevação no índice de penetração de usinas eólicas e fotovoltaicas à matriz energética brasileira. Considerando-se um horizonte a médio prazo, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que as participações destas duas tecnologias cresçam de 11,2% a 13,6% associadas à geração eólica e de 2,7% a 3,9% para a geração fotovoltaica (1). Esse crescimento é ainda mais significativo em um horizonte a longo prazo, com um crescimento na capacidade instalada na oferta de aproximadamente 11,9 GW de eólica e 3,6 GW de fotovoltaica a partir de 2030 (2). Relativo aos sistemas fotovoltaicos, cabe comentar que grande parte dessa inserção se deve à modalidade de Geração Distribuída (GDs), sendo tipicamente conectadas aos Sistemas de Distribuição (SDs) através da modalidade de compensação de energia. No entanto, também são observadas conexões de grandes parques (ou complexos) em modalidade de Geração Centralizada (GC), como por exemplo São Gonçalo (475 MW), Pirapora (321 MW), Ituverava (292 MW), Lapa (168 MW), entre outros. O aumento do índice de penetração de GBIs levanta questões no âmbito do planejamento e operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), pois isso afeta a resiliência dos sistemas de potência para resistir uma larga gama de eventos de contingência se os GBIs não forem integrados de maneira apropriada (3).

Na busca por garantir uma melhor integração desses sistemas, especialmente no que diz respeito a atuação dos sistemas de proteção, a abordagem de testes *Hardware in-the-Loop* (HIL) vem ganhando destaque dentro do cenário nacional. Essa abordagem consiste na avaliação de desempenho de dispositivos eletrônicos inteligentes (*Intelligent Electronic Devices* - IEDs) de proteção através da inserção desses equipamentos em malha fechada, utilizando uma plataforma de simulação em tempo real (*Real Time Digital Simulator* - RTDS). Os fabricantes desses simuladores estão acompanhando esse processo de mudança de comportamento dos sistemas elétricos e, a cada nova atualização, disponibilizam *hardwares* mais potentes e modelos mais refinados para uma representação mais fidedigna dos sistemas elétricos. Os equipamentos mais modernos incluem a possibilidade de representar equipamentos de eletrônica de potência e os fenômenos associados com a sua operação, possibilitando o estudo envolvendo GBIs.

A simulação de dispositivos de chaveamento de alta frequência como os inversores, utilizados na conexão de geração fotovoltaica e eólica, em combinação com outros componentes eletromecânicos de resposta mais lenta da rede de potência é um desafio em estudos de grandes redes, ainda mais quando recursos computacionais apropriados não estão disponíveis (4). O critério mais crítico em conduzir simulação digital em tempo real é obter um

modelo preciso o suficiente com um passo de simulação adequado (5). Além disso, existe um desafio associado à validade dos resultados obtidos através de simulação (6). Apesar da implementação desse tipo de dispositivo estar disponível nas novas bibliotecas dos simuladores de tempo real, a representação de GBIs no simulador RTDS depende de dados sobre os dispositivos de eletrônica de potência que são tratados como segredo industrial pelos fornecedores e, portanto, são de difícil acesso.

De modo a possibilitar a realização dos testes de proteção, faz-se necessária a adoção de uma representação alternativa para essas usinas. Neste sentido, dois conjuntos de informações são fundamentais: a malha de controle das fontes primárias e a representação do elemento de interface com o sistema elétrico - desde topologia do inversor e dimensionamento dos equipamentos, até a representação do elemento de chaveamento. No âmbito da representação do elemento de interface, as escolhas mais frequentes são: (i) representação da usina através de seu modelo chaveado, utilizando uma malha de controle genérica, (ii) representação da usina através de seu modelo médio, também com uma malha de controle genérica, ou (iii) a representação da usina através de um equivalente de curto-circuito, que é uma fonte de tensão associada em série a uma impedância.

O Parque Tecnológico Itaipu conta com uma plataforma de simulação em tempo real, no seu Centro de Competência em Automação e Simulação de Sistemas Elétricos. A plataforma mais nova disponível no PTI, possui quatro chassis modelo RTDS *NovaCor* com 25 núcleos licenciados, além de dois cartões FPGA voltados para representação de elementos chaveados de alta frequência. Baseado nesse contexto, a problemática abordada neste Informe Técnico (IT) é a do impacto da inserção GBIs no estudo do desempenho da proteção de distância de Linhas de Transmissão (LTs).

A proposta deste trabalho é verificar o impacto das três opções alternativas do elemento de interface nos resultados dos testes de proteção de linhas de transmissão próximas a esse tipo de geração. Para isso, optou-se pela representação de um sistema real no simulador RTDS, onde uma usina baseada em inversores é ligada a esse sistema através de uma linha de transmissão. O estudo é conduzido através da aplicação de diversos distúrbios elétricos ao sistema elétrico, de forma a se verificar o desempenho da proteção de distância (ANSI 21) nos dois terminais da linha de transmissão em estudo. Comparações das atuações da função de proteção associada à linha em estudo são realizadas considerando-se as diferentes representações da usina baseada em inversores, e três níveis de potência instalada na usina. Como exemplo de distúrbios, citam-se faltas nas barras adjacentes à linha de transmissão (externas), e faltas na linha considerando-se diferentes pontos de aplicação de faltas, em diferentes fases e resistências de falta. Além disso, foram avaliados os tempos de atuação para cada abordagem do modelo, permitindo a comparação de desempenho de cada uma.

O cenário de testes foi preparado com dois IEDs modelo P443 e ajustados somente com a proteção de distância. A execução dos casos foi feita através de programação de *scripts*, de forma a garantir a mesma condição pré-falta para todos os cenários pré-determinados. Os parâmetros de avaliação são a identificação de fase sob falta, e a observação do comportamento da função de distância nos dois terminais da linha.

2.0 MODELAGEM DE INVERSORES

Nesta seção são apresentados os aspectos de modelagem dos inversores para a finalidade de ensaios de modelo RTDS em relés de proteção. Conforme abordado no início do IT, assume-se como premissa que os dados reais dos empreendimentos de geração, principalmente associados ao controle dos inversores, são de acesso exclusivo aos fabricantes e fornecedores desses equipamentos. Ainda levando em conta de que a concessão da LT sob teste e da planta de geração eletricamente próximas sejam de empresas diferentes, o acesso a esses dados é ainda mais difícil. Nesse contexto, modelos genéricos de inversores são utilizados nos testes.

Este trabalho estuda o impacto dessa representação genérica dos inversores no desempenho dos sistemas de proteção de LTs. Cabe salientar que, devido à contribuição significativamente menor dos inversores comparado aos geradores síncronos, a representação das fontes baseadas em inversores não é considerada na etapa de projeto do sistema de proteção, ou então modelado apenas como um equivalente de curto circuito com injeção de corrente apenas de sequência positiva.

Relativo à etapa de ensaios de modelo RTDS, a representação dos inversores por fontes equivalentes de curto circuito pode não corresponder adequadamente ao comportamento do sistema real, que é o objetivo dos testes em plataforma de simulação em tempo real.

Além da representação por equivalente de curto circuito, outras duas abordagens para a modelagem dos inversores foram consideradas neste trabalho: Modelo de Valores Médios (ou apenas Modelo Médio) e Modelo Chaveado. O Modelo Médio é utilizado principalmente quando não se deseja representar as componentes de alta frequência dos conversores. O modelo ignora a componente da portadora e replica apenas o sinal modulante de entrada como sendo sua saída. De forma geral o Modelo Médio pode ser entendido como uma fonte ideal controlada. Já o Modelo

Chaveado é mais complexo e possui a capacidade para representar os fenômenos associados ao chaveamento em alta frequência dos semicondutores do conversor.

Na Figura 1 (a) é apresentada a topologia do inversor utilizado no Modelo Chaveado. O inversor trata-se de um conversor VSC (do inglês Voltage Source Converter) de dois níveis. O estágio de conversão CC-CC é ignorado pois assume-se que os dados associados a este controle também são de difícil acesso, acrescentado outras incertezas ao modelo. Além disso, como o período de interesse se trata de sistemas de proteção, durante o curto período de tempo até a extinção da falta o barramento CC pode ser modelado como uma fonte de tensão constante. Essa topologia permite a representação de usinas fotovoltaicas e eólicas, desde que estas últimas sejam conectadas a rede através de conversor pleno de potência.

Na figura em questão é possível identificar que a interface entre inversor e sistema de potência é realizada através de um filtro LC. Os componentes dos filtros foram mantidos entre os modelos Médio e Completo de forma com que o inversor e sistema de controle apresentassem a mesma dinâmica entre esses modelos. Os critérios para dimensionamento dos filtros foram limitação de ripple de corrente de 20% e limite de queda na tensão terminal de 10%, para o indutor, e limite de consumo de potência reativa para 5% da potência nominal do inversor para o capacitor.

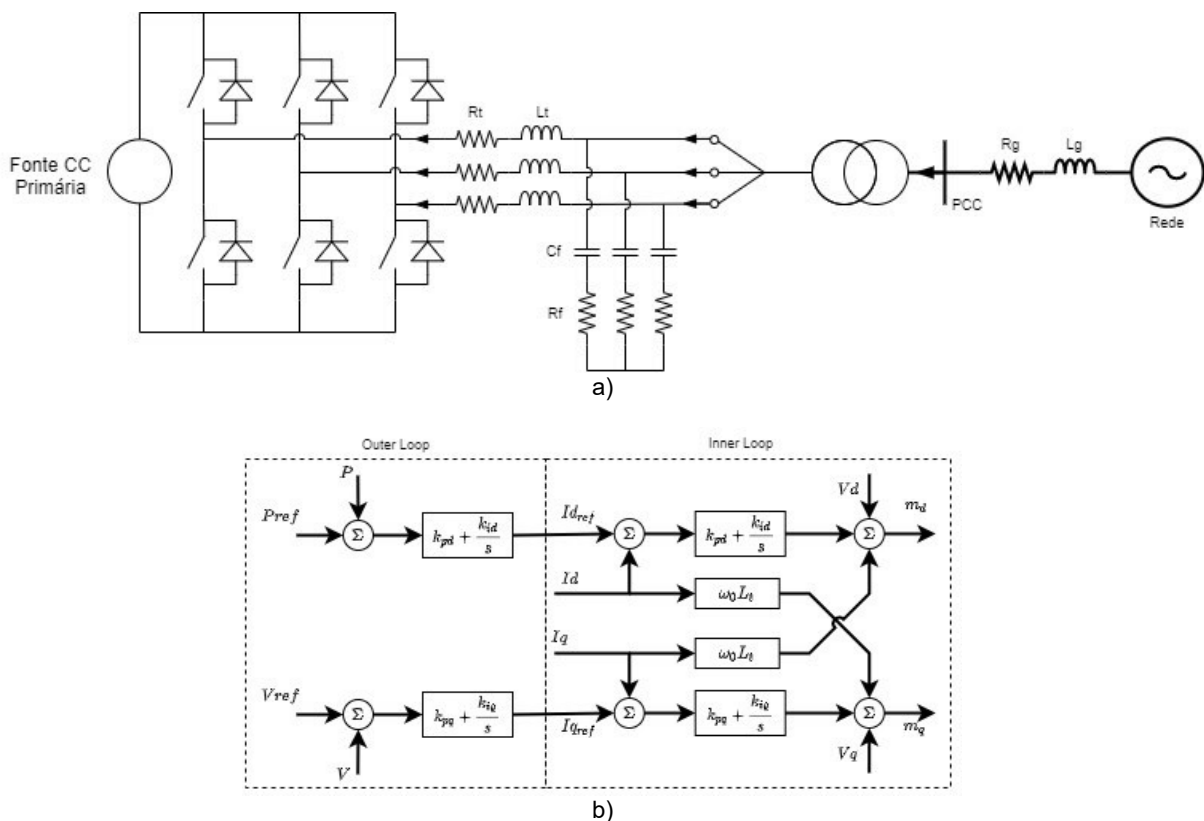


FIGURA 1 – a) Topologia do Modelo Completo b) Malhas de controle dos inversores

Na Figura 1 (b) é apresentada a malha de controle para os inversores. Conforme observado, o sistema de controle é desenvolvido no eixo girante dq e consiste na conexão em cascata de duas malhas de controle: uma malha de controle de corrente (*inner loop*) e uma malha de controle de potência (*Outer Loop*). Relativa à malha de potência, o sistema de controle controla a potência ativa, através do controle de eixo direto, e a tensão terminal do inversor, através do eixo de quadratura.

No âmbito de implementação, os estudos conduzidos consideraram as bibliotecas do ambiente *Substep* do RTDS, ao qual funciona como um subsistema onde as equações que descrevem o sistema são solucionadas em um passo diferente do sistema principal. O sistema principal geralmente funciona com um passo de 50 μ s, enquanto que através do ambiente *Substep* passos de simulação na faixa 0,5 μ s podem ser alcançados. Isso permite uma melhor representação dos inversores de frequência, uma vez que a frequência de chaveamento dos inversores trabalham geralmente em uma faixa de dezenas de kHz.

3.0 SISTEMA TESTE

Buscando representar um cenário que se aproxime da realidade, no âmbito de testes com o RTDS, foi determinado que o sistema teste deveria ser uma região do SIN, além de possuir um sistema de GBI. Nesse cenário, a entrada da GBI pode impactar os sistemas de proteção no entorno de seu ponto de acesso, sendo solicitado ao acessante a realização de estudos no RTDS dos sistemas de proteção do entorno do ponto de acesso.

Com as premissas definidas, o sistema elétrico da região do Parque Solar Ituverava, localizada em Tabocas do Brejo Velho, foi escolhido como base para o sistema teste. A Figura 2 apresenta o diagrama unifilar do sistema teste implementado no RTDS, nela pode ser visto que o sistema é composto por 9 fontes, 9 linhas de transmissão e 12 transformadores. Ainda na Figura 2, os elementos destacados em tracejado representam a linha de transmissão que terá o sistema de proteção avaliado, e a GBI.

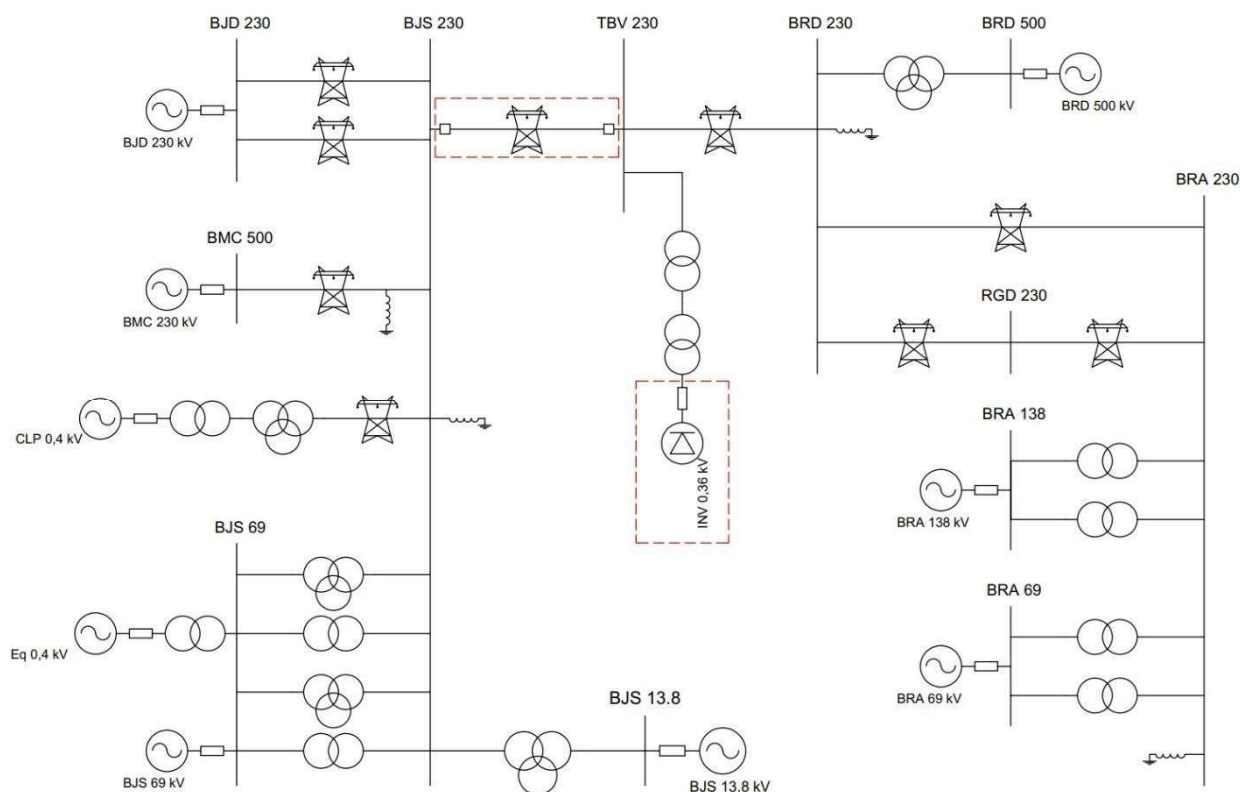


FIGURA 2 – Diagrama unifilar do sistema teste utilizado no RTDS

No estudo realizado para esse IT, foram consideradas três possibilidades para a implementação do modelo da usina: (1) utilizar dados típicos e representar o inversor através de suas malhas de controle e chaves (Modelo Chaveado), (2) utilizar dados típicos e representar o inversor através de suas malhas de controle mas sem suas chaves (Modelo Médio), ou (3) representar a usina por um equivalente de curto-circuito, que é uma fonte de tensão associada a uma impedância (Fonte).

O objetivo foi verificar na prática se essa escolha de como implementar a GBI pode impactar no desempenho do sistema de proteção a ser avaliado. Portanto, nove sistemas testes foram considerados, alterando entre as três representações de GBI citadas e em três patamares diferentes de geração, 200 MW, 300 MW e 500 MW.

4.0 SISTEMA DE PROTEÇÃO

Primeiramente é relevante ressaltar que o sistema de proteção utilizado para esse estudo, assim como os ajustes considerados, não possuem qualquer tipo de relação com o sistema de proteção real instalado na linha escolhida para essa avaliação.

Isso posto, como já apontado, a linha escolhida para a avaliação de desempenho do sistema de proteção é a que conecta as barras BJS 230 TBV 230 apresentada na Figura 2, e os dados utilizados para sua representação no RTDS podem ser visualizados na Tabela 1.

TABELA 1 - Dados da linha protegida

Dados	Magnitude [ohm]	Ângulo [°]
Sequência positiva	62,45	79,01
Sequência zero	165,15	75,99

Com respeito ao sistema de proteção, foram utilizados dois IEDs modelo P443 apenas com as funções de distâncias habilitadas, sendo duas zonas para o sentido da linha, e uma zona reversa, sentido da barra. Os ajustes da função de distância considerados ao longo do estudo são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

TABELA 2 - Ajustes da linha nos IEDs

Magnitude [ohm]	Ângulo [°]	kZN Magnitude	kZN Ângulo [°]
62,45	79	5,50E-01	-5

TABELA 3 - Ajustes das Zonas 1, 2 e 4

Curva	Zona 1 [%]	Zona 2 [%]	Zona 4 [%]	t Z1 [s]	t Z1 [s]
Mho	80	130	40	0	0,2

4.0 MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Como já descrito, a avaliação do sistema de proteção foi realizada através de simulações com o RTDS considerando 9 cenários distintos, o sistema teste com a representação da usina utilizando o Modelo Chaveado, Modelo Médio, e Fonte, em três condições de geração, 200 MW, 300 MW e 500 MW.

Para a avaliação de desempenho dos IEDs, uma lista de perturbações com 40 casos diferentes foi preparada e aplicada em cada um dos cenários descritos. A lista é composta por faltas nas barras BJS 230, TBV 230, e falhas internas na linha, nas posições 10%, 50% e 90%. Oito tipos de falhas foram realizados em cada um desses pontos, variando o tipo e a resistência da falta.

A análise do comportamento dos IEDs foi realizada observando as seguintes variáveis internas durante os testes:

- Trip geral
- Seletor de fase A
- Seletor de fase B
- Seletor de fase C
- Trip Zona 1
- Partida Zona 2
- Trip Zona 2
- Partida Zona 4

Essas variáveis foram monitoradas através dos contatos de saída digitais dos IEDs, que foram conectadas às entradas digitais do RTDS. Além disso, também foram ligados aos IEDs os sinais de entradas analógicos, que forneciam sinais provenientes dos transformadores de tensão (TPs) e transformadores de corrente (TCs) dos dois terminais da linha. A Figura 3 apresenta a bancada de testes preparada.



FIGURA 3 - Bancada de testes com RTDS

Rotinas de script de comando foram preparadas para a execução automática dos casos descritos, dessa forma é possível executar todos os casos garantindo a mesma condição pré-falta, característica fundamental para posterior comparação de casos. Além disso, as rotinas coletaram os tempos de atuação de cada um dos sinais monitorados e os registram em uma planilha.

4.1 Resultados

Ao término dos testes os resultados foram analisados de forma a identificar situações de indicação incorreta de fase defeituosa ou comportamento inesperado dos IEDs. Para contabilizar casos de comportamento inesperado foram considerados os casos que foram observados *trip* para falhas fora da zona ajustada, e não atuação para falhas dentro das zonas ajustadas. A Tabela 4 contabiliza os resultados das análises dos casos.

TABELA 4 - Avaliação dos resultados dos testes executados

Modelo da Usina	200 MW		300 MW		500 MW	
	Seleção incorreta	Comp. Inesperado	Seleção incorreta	Comp. Inesperado	Comp. Inesperado	Atuação incorreta
Fonte	7	0	8	0	9	1
Chaveado	7	1	7	3	9	9
Médio	7	1	7	2	9	10

A partir da análise da Tabela 4 duas afirmações podem ser feitas. Primeiro, verificando apenas o cenário de geração de 500 MW, nota-se uma diferença relevante de desempenho dos IEDs ao comparar o cenário com o modelo Fonte com os outros, indicando que o método de representação de uma GBI tem impacto no desempenho da função de proteção de distância. Segundo a diferença de desempenho dos IEDs, variando o modelo de GBI, diminui conforme o patamar de geração reduz, indicando que “força” ou representatividade da usina frente ao sistema também é uma característica de influência no desempenho dos sistemas de proteção.

Uma provável explicação da influência dos modelos Chaveado e Médio no desempenho dos IEDs é capacidade que as malhas de controle deles tem sobre a resposta dinâmica do sistema, principalmente na frequência. Isso devido ao fato as GBI representadas no RTDS estimam a frequência dos sinais injetados pelo inversor através de um PLL

que tem como referência sinais de tensão da barra TBV 230. O desempenho do PLL está diretamente ligado a qualidade dos sinais lidos, ou seja, quanto mais ruído ou mais desequilíbrio houver na rede, menos eficiente é o cálculo de frequência do PLL (7).

A Figura 4 apresenta um comparativo da excursão da frequência do sinal de corrente observado pelo TC do terminal BJS, onde a curva vermelha é do modelo Fonte, e a curva azul do Modelo Chaveado. A perturbação aplicada foi uma falha bifásica terra envolvendo as fases A e B, ocorrida na barra BJS 230. Para esse caso, um trip indevido de zona 1 ocorreu no cenário do Modelo Chaveado, mesmo a falta sendo aplicada no sentido oposto de sua zona de atuação. O eixo vertical em azul apresentado na Figura 4 mostra o instante do trip indevido desse caso (165 ms após o início da falta), observa-se que enquanto a frequência medida para o modelo Fonte é aproximadamente 60 Hz, para o Modelo Completo o valor é superior a 63 Hz.

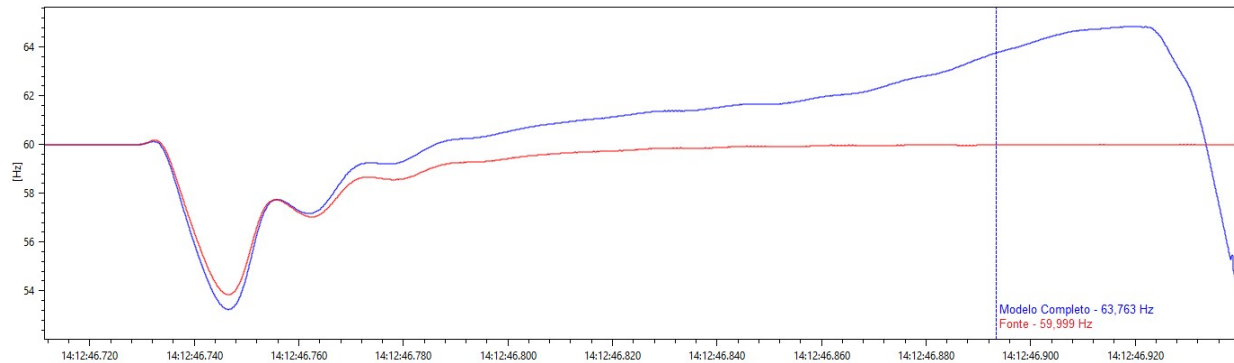


FIGURA 4 – a) Topologia do Modelo Completo b) Malhas de controle dos inversores

5.0 CONCLUSÃO

Esse IT apresentou um estudo prático sobre o impacto da representação de GBIs no desempenho dos IEDs de distância durante testes com o RTDS. As premissas para a realização do estudo foram representar a GBI por três modelos distintos, Fonte, Médio e Chaveado, e em três patamares de geração, 200 MW, 300 MW e 500 MW, e inserida dentro de um sistema real do SIN. Ao término do estudo foi observado que os IEDs apresentam desempenhos diferentes para representação diferentes dos GBIs, sendo que, para os modelos Médio e Chaveado, quanto maior o patamar de geração, mais casos de comportamento inesperado foram observados. Um exemplo do patamar de geração de 500 MW foi apresentado para ilustrar o impacto das malhas de controle da GBI na frequência do sinal de corrente observado em um dos terminais, onde ocorreu uma atuação indevida por zona 1.

Por fim, é importante citar que estudo foi conduzido utilizando malhas de controle genéricas conhecidas na literatura, não sendo essa a abordagem ideal para esse tipo de análise, visto que para uma resposta mais fidedigna dos GBIs seria necessário a representação de suas malhas de controles reais. No entanto, o trabalho contribuiu em apresentar que as malhas de controle de GBIs tem capacidade de impactar no desempenho de sistemas de proteção instalados em suas proximidades.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS), "O sistema em números" Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros> Acesso em 03 set 2021.
- (2) Empresa de Pesquisa Energética (EPE), "Plano Decenal de Expansão de Energia 2030", Brasil 2020.
- (3) G. Lammert, L. D. Pabón Ospina, P. Pourbeik, D. Fetzer and M. Braun, "Implementation and Validation of WECC Generic Photovoltaic System Models in DlgSILENT PowerFactory," in 2016 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Boston, July 2016. pp. 1-5.
- (4) G. Lammert, K. Yamashita, L. D. Pabón Ospina, H. Renner, S. Martinez Villanueva, P. Pourbeik, F.-E. Ciausiu, and M. Braun, "International Industry Practice on Modelling and Dynamic Performance of Inverter Based Generation in Power System Studies," CIGRE Science & Engineering Vol. 8, June 2017.
- (5) EPRI Technical Update – Generic Models and Model Validation for Wind Turbine Generators and Photovoltaic Generation, December 2013.
- (6) J. Belanger, P. Venne, J.N. Paquin, "The what, where and why of real-time simulation" in 2010 Planet RT.

(7) Yazdani, A. & Iravani, R. (2010). Voltage-Sourced Converters in Power Systems, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

DADOS BIOGRÁFICOS



Guilherme Louro Justino é natural de Goioerê Paraná, nascido em março de 1987. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2011). Atualmente é Engenheiro Eletricista no Centro de Competência em Automação e Simulação de Sistemas Elétricos (AS.DT) da Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil (FPTI-BR), onde atua principalmente nas áreas de simulação em tempo real de sistemas elétricos de potência, sistemas de proteção, geração distribuída e microrredes.

(2) FELIPE CRESTANI DOS SANTOS Felipe Crestani dos Santos é engenheiro eletricista no Centro de Competência em Automação e Simulação de Sistemas Elétricos (AS.DT) na Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil (FPTI-BR), com atuação nas áreas de Simulação em Tempo Real, Sistemas de Proteção, Geração Distribuída e Microrredes. Possui graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (2014), mestrado em Engenharia Elétrica e Computação na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste (2017) e atualmente é doutorando na Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

(3) DABIT GUSTAVO SONODA Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2011) e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajuba (2015), ambas com ênfase em Sistemas de Potência. Atuando principalmente nas seguintes áreas: desenvolvimento em projetos de pesquisa aplicados ao setor de energia (automação, controle e proteção), execução de testes em simulador digital de tempo real (RTDS) e modelagem e análise de sistemas elétricos. Desde 2017 participa do programa de doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo - São Carlos.

(4) ARTUR BOHNEN PIARDI Possui graduação (2012) pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e doutorado (2017) pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (EESC/USP), ambos em engenharia elétrica com ênfase em sistemas elétricos de potência. Atualmente é pesquisador do Centro de Automação e Simulação de Sistemas Elétricos (AS.DT) da Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil (FPTI-BR), desempenhando atividades de simulação de sistemas elétricos e de P&D para o setor elétrico. Suas áreas de interesse são estabilidade, proteção e controle de sistemas elétricos de potência, e integração de geração distribuída, fontes renováveis e armazenamento de energia nestes.

(5) JONAS VILLELA DE SOUZA Atualmente é Engenheiro Eletricista no Centro de Automação e Simulação de Sistemas Elétricos na Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil. Além disso é aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP). Possui mestrado em Engenharia Elétrica pela EESC/USP e é bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Tocantins. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, abordando principalmente a implementação e utilização de sistemas de armazenamento conectados à rede de Distribuição de Energia Elétrica e inteligência computacional.