

Trip Solidário no IEEE 34-Node Test Feeder: um Estudo de Caso

Solidarity Tripping in the IEEE 34-Node Test Feeder: a Case Study

DOI:10.34117/bjdv7n5-033

Recebimento dos originais: 04/04/2021

Aceitação para publicação: 04/05/2021

Luiz Guilherme Vianna Fracalossi

Graduando em Engenharia Elétrica Universidade Federal do Espírito Santo
Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES
E-mail: luizguilhermevf@gmail.com

Taunay de Oliveira Bragança

Graduando em Engenharia Elétrica Universidade Federal do Espírito Santo
Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES
E-mail: taunayb@gmail.com

Murillo Cobe Vargas

Mestre em Engenharia Elétrica Instituto Federal do Espírito Santo
Rodovia ES-482 – Faz. Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim – ES
E-mail: murillo.vargas@ifes.edu.br

Oureste Elias Batista

Doutor em Engenharia Elétrica Universidade Federal do Espírito Santo
Avenida Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES
E-mail: oureste.batista@ufes.br

RESUMO

A integração em massa de geração distribuída (GD) nos alimentadores de distribuição de energia elétrica pode ser reponsável por modificar o fluxo de potência, os níveis de tensão e corrente de curto circuito, e, conseqüentemente, afetar negativamente a atuação dos dispositivos de proteção como relés, religadores e chave fusível. Um dos problemas específicos causados devido a integração de geração distribuída diante faltas na rede é o trip solidário. Este fenômeno se caracteriza pela atuação indevida da proteção de ramais laterais com presença de GD diante uma falta em um ponto do alimentador. Um dos métodos eficientes para estudar a ocorrência do trip solidário é através da modelagem e simulação computacional utilizando software de engenharia e os alimentadores de testes disponibilizados pelo Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). Desse modo, esta pesquisa visa estudar a ocorrência do trip solidário no alimentador IEEE 34 Node Test Feeder, através da modelagem e de simulações utilizando o software MATLAB® e sua biblioteca SimPowerSystems™.

Palavras chave: Alimentadores de Distribuição, Modelagem, Proteção, Trip Solidário, Geração Distribuída, Simulação

ABSTRACT

The mass integration of distributed generation (DG) into electric power distribution feeders can be responsible for modifying power flow, voltage and short circuit current levels, and consequently negatively affect the performance of protection devices such as relays, reclosers, and fuse switches. One of the specific problems caused due to the integration of generation when facing network faults is the solidary trip. This phenomenon is characterized by the indedivate actuation of the protection of side branches with the presence of DG before a fault at one point of the feeder. One of the efficient methods to study the occurrence of the solidary trip is through computer modeling and simulation using engineering software and the test feeds provided by the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). Thus, this research aims to study the occurrence of the solidary trip on the IEEE 34 Node Test Feeder, through modeling and simulations using MATLAB® software and its SimPowerSystems™ library.

Keywords: Distribution Feeders, Modeling, Protection, Solidarity Trip, Distributed Generation, Simulation

1 INTRODUÇÃO

A integração de fontes renováveis no sistema elétrico de potência vem crescendo a cada ano em todo mundo (NETO; AMORA; PINTO, 2021). Dentre as principais fontes, a geração fotovoltaica (FV) setornou a mais utilizada. Tal fato se deve, dentre outros fatores, à: disponibilidade do sol para geração de energia, redução dos preços dos componentes - principalmente dos módulos FV - e a facilidade de instalação desse sistema nos telhados das edificações (ADEFARATI e BANSAL, 2016; RAJAEI e SALAMA, 2015).

Entretanto, a integração desse tipo de geração próxima ao consumidor, conhecida como geração distribuída (GD), pode gerar impactos nos alimentadores, principalmente nos de distribuição de energia, onde a maioria das instalações de GD são realizadas (MATOS e ENCARNAÇÃO, 2015). Com o sistema possuindo vários pontos de geração, estes inserem potência na rede, podendo alterar o perfil de tensão do alimentador, a corrente de carregamento, o nível de curto-circuito e, conseqüentemente, impactar na confiabilidade de atuação dos dispositivos de proteção presentes da rede (MATOS; ENCARNAÇÃO; DONADEL, 2017).

Dentre os problemas causados pela integração de GD nos alimentadores de distribuição está a ocorrência do *trip* solidário. Esse fenômeno pode ser definido pela contribuição da corrente da GD na ocorrência de faltas em ramais adjacentes de uma mesma subestação que detêm um ponto em comum. Como consequência, dispositivos de proteção presentes no sistema nesses ramais paralelos, como fusíveis, relés, disjuntores e

religadores podem trabalhar de forma errônea, ilhando parte da rede sem falhas (BATISTA *et al.*, 2013; BLAABJERG *et al.*, 2017).

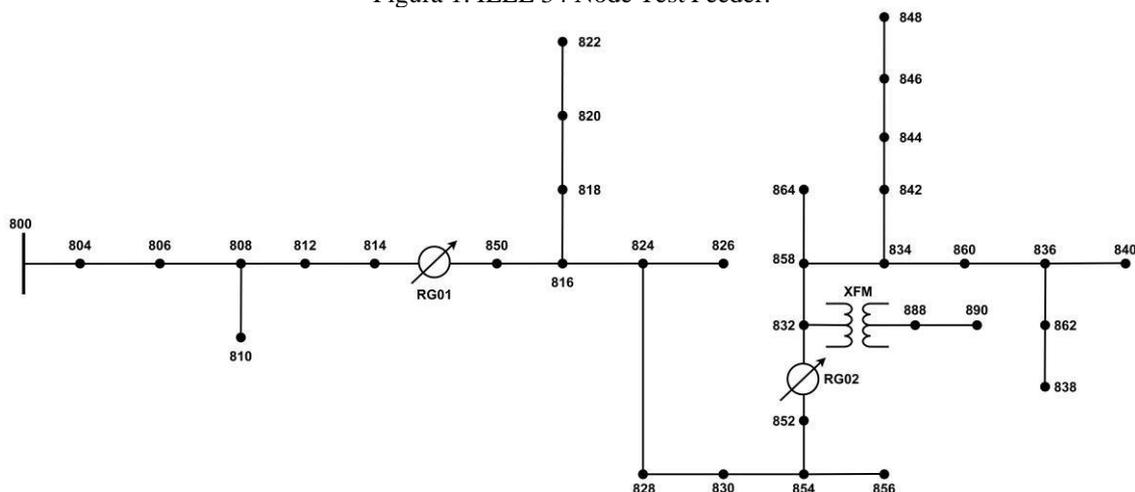
Usualmente são utilizados programas de simulação computacional para modelar os alimentadores, assim como a geração e as cargas associadas a esse sistema, visando estudar novos conceitos e possíveis cenários em situações reais. O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) disponibiliza na página da *Power Energy Society* (PES) alguns alimentadores de energia para que sejam utilizados como plataforma de pesquisa, uma vez que são alimentadores conhecidos e consolidados. Esses alimentadores são conhecidos como *IEEE Radial Distribution Test Feeders*. O ambiente Simulink do *software* MATLAB é um ambiente robusto e contém as ferramentas necessárias para realizar um estudo deste nível (FRACALOSSI; VARGAS; BATISTA, 2020).

Essa pesquisa visa estudar sobre a ocorrência do *trip* solidário no alimentador de testes IEEE 34 Node Test Feeder (34NTF) com presença de GD, que tem por característica contribuir com pequena corrente de curto-circuito, limitando-se à 2 pu na base do gerador. O alimentador 34NTF será modelado no ambiente Simulink do *software* MATLAB. Para as simulações, será utilizado o modelo de GD proposto por Mendes *et al.* (2019) e Vargas, Mendes e Batista (2018a,b).

2 IEEE 34 NODE TEST FEEDER

2.1 APRESENTAÇÃO

Figura 1. IEEE 34 Node Test Feeder.



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

O alimentador de testes IEEE 34NTF, mostrado na Figura 1, é um alimentador que apresenta características bem diversificadas de configurações das linhas, cargas, componentes elétricos e pode representar com confiabilidade cenários reais maiores.

Algumas propriedades do 34NTF são:

- Possui aproximadamente 94 km de linhas, dentre 5 configurações diferentes. Seu maior trecho está entre os nós 818 e 820, com pouco menos de 15 km de comprimento;
- Apresenta 5 diferentes configurações de linhas, divididas entre monofásicas e trifásicas;
- Em sua maioria, apresenta tensão de alimentação de 24,9 kV, com exceção do trecho entre os nós 888 e 890, que são alimentados em 4,16 kV;
- Apresenta 19 cargas distribuídas, demandando 722kW e 367kVar da subestação, e 6 cargas concentradas, demandando 1047kW e 677kVAr da subestação. Considerando 750kVar de compensação reativa, são solicitados 71,7% da capacidade do transformador de alimentação principal.

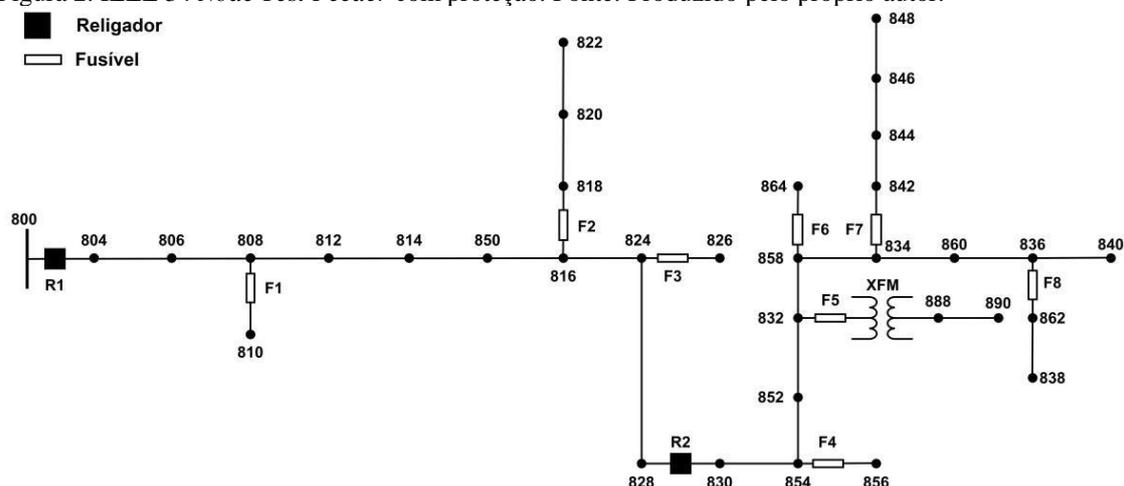
3 MODELAGEM

Para a modelagem do 34NTF, foram utilizados os procedimentos de Fracalossi, Vargas e Batista (2020). Para otimizar a modelagem e obter ganho de processamento computacional durante as simulações, foram implementadas algumas considerações no alimentador. Os dois reguladores de tensão, RG01 e RG02, trazidos pela Figura 1, foram suprimidos da modelagem, visto que as análises serão percentuais em cima de cenários criados na mesma modelagem. Sendo assim, a mudança não impactará negativamente no estudada ocorrência do *trip* solidário.

4 METODOLOGIA

4.1 FILOSOFIA DE PROTEÇÃO DO IEEE 34 NODE TEST FEEDER

Figura 2. IEEE 34 Node Test Feeder com proteção. Fonte: Produzido pelo próprio autor.



Para a análise da ocorrência do fenômeno *trip* solidário, é necessário definir uma filosofia de proteção que atenda às necessidades de operação e confiabilidade do alimentador IEEE 34 NTF para um cenário sem prever a conexão de GD (FRACALLOSSI; VARGAS; BATISTA, 2020).

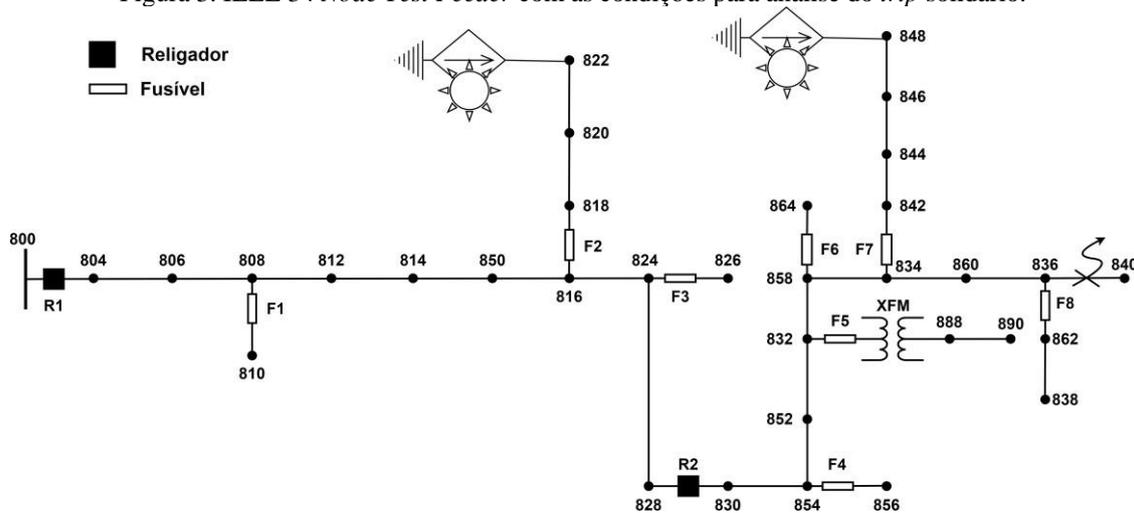
A proposta da filosofia de proteção para o IEEE 34 NTF foi nas orientações de Eletrobrás (1982).

As seguintes definições foram adotadas:

- No início de ramais de certa importância usou-se religador (800 – 804);
- No início de ramais laterais, impôs-se chave fusível (808 – 810, 816 – 818, 824 – 826, 854 – 846, 858 – 864, 834 – 842, 836 – 862);
- Antecedendo transformadores de potência (XFM), utilizou-se chave fusível (832 – XFM);
- Devido ao tamanho considerável do IEEE 34 NTF, impôs-se um religador no meio darede (828 – 830).

4.2 TRIP SOLIDÁRIO NO IEEE 34 NODE TEST FEEDER

Figura 3. IEEE 34 Node Test Feeder com as condições para análise do *trip* solidário.



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Para o estudo da ocorrência do fenômeno *trip* solidário, foram propostas algumas considerações no alimentador IEEE 34 NTF modelado. Como mostra a Figura 3, foi conectado aos nós 822 e 848 um modelo de GD, o mesmo utilizados por Vargas, Mendes e Batista (2018a,b) e por Mendes e outros (2019). Também foi simulado no final do alimentador modelado, nó 840, uma falta trifásica.

Para as simulações dos casos, foram considerados os seguintes parâmetros para a simulação:

- A GD conectada ao nó 822 fornece 169 kW de potência ativa monofásica para a rede;
- A GD conectada ao nó 848 fornece 542 kW de potência ativa trifásica para a rede;
- O curto circuito simulado no nó 840 tem impedância de 10 ohms;
- Para atuação da chave fusível, usou-se 1,5 pu como referência.

5 RESULTADOS

Tabela 2. Resultados da simulação para a verificação da ocorrência do *trip* solidário

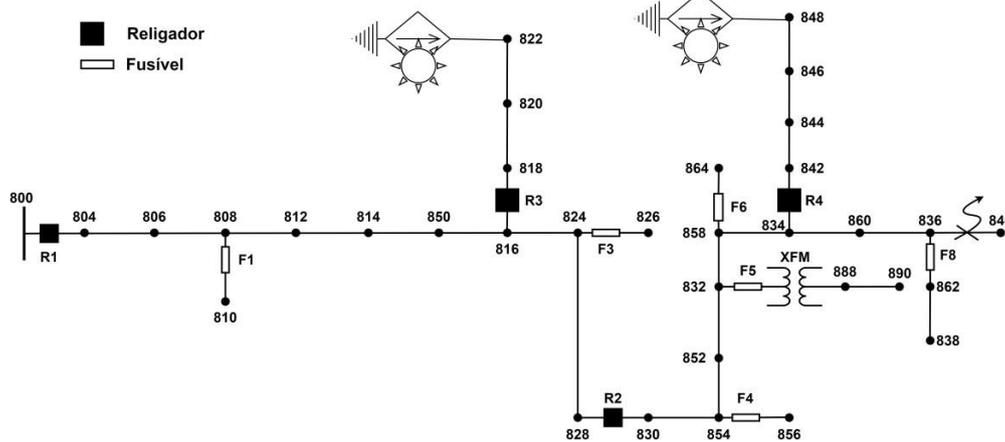
Trecho	Proteção	Fase A	Fase B	Fase C
(%) Corrente Nominal				
808- 810	F1	-	72	-
816 - 818	F2	133	-	-
824 - 826	F3	48	47	48
854 - 856	F4	40	38	41
832 - XFM	F5	24	23	22
858 - 854	F6	22	-	-
834 - 842	F7	192	157	171
836 - 862	F8	16	16	15

A Tabela 2 apresenta os resultados da simulação realizada, através da sua análise, é possível avaliar o comportamento da corrente em cada trecho do alimentado que apresenta chave fusível como dispositivo de proteção, avaliando assim, uma possível ocorrência do *trip* solidário.

As chaves fusíveis presentes na proteção proposta para o IEEE 34 NTF, trazido pela Figura 2, estão no início dos ramais laterais, com isso, espera-se que diante uma falta no ramal principal haja uma diminuição no fluxo de corrente por esses dispositivos de proteção. Contudo, analisando a Tabela 2, podemos notar que entre os trechos 816 – 818 e 834 – 842, onde estão presentes, respectivamente, F2 e F7, as correntes apresentaram uma elevação diante o cenário criado. Essa elevação demonstra que as GD conectadas nesses pontos estão contribuindo para a corrente de falta no ramal principal.

Tratando-se da GD conectada ao nó 822 para o cenário criado, é possível notar uma contribuição na corrente de falta do ramal principal, uma vez que houve uma elevação para 133% da corrente nominal do trecho 816 – 818, onde está o F2, contudo, não há ocorrência do *trip* solidário. Para a GD conectada ao nó 848, é possível notar que sua contribuição na corrente de falta do ramal principal eleva os níveis de corrente entre os trechos 834 – 842, onde está o F7, para valores superiores à 150%, indicando a ocorrência do *trip* solidário.

Figura 4. Readequação da proteção para o IEEE 34 Node Test Feeder com geração distribuída.



Fonte: Produção do próprio autor.

A ocorrência do *trip* solidário no IEEE 34 NTF diante o cenário criado indica falhas da filosofia de proteção proposta, desse modo, é necessário propor mudanças da proteção do alimentador, visando mitigar a ocorrência do fenômeno *trip* solidário. A Figura 4 traz uma proposta de proteção para situações em que o alimentador apresente conexão de GD. Substituindo-se as chaves fusíveis dos ramais laterais onde há GD por um religador, evita-se que os elos se rompam e haja necessidade de atuação da equipe de manutenção da concessionária, com isso, não ocorrerá ilhamento de parte da rede devido ao *trip* solidário.

6 CONCLUSÃO

O estudo foi realizado através da modelagem do alimentador IEEE 34 Node Test Feeder utilizando o *software* MATLAB® e sua biblioteca SimPowerSystems™. As simulações foram realizadas inserindo um modelo de geração distribuída em pontos específicos do sistema. Os resultados da simulação mostraram que, independente da limitação da corrente de falta dessa geração distribuída, há contribuição para a corrente de falta. As análises dos resultados da simulação mostraram que para ambos os casos houve elevação dos níveis de corrente no ramal lateral onde está presente os geradores. Para o caso de conexão no nó 822, embora foi observado uma elevação significativa da corrente no trecho onde está presente a proteção F2 do ramal, o mesmo não viria a atuar, não ocorrendo o *trip* solidário. Contudo, para o caso de conexão no nó 848, houve elevação do nível de corrente, em ambas as fases, superior à 150% do valor nominal onde está presente a proteção F7, o que sugere a ocorrência do *trip* solidário e a necessidade de readequação da filosofia de proteção para mitigar o fenômeno.

REFERÊNCIAS

ADEFARATI, T.; BANSAL, R. Integration of renewable distributed generators into the distribution system: a review. **IET Renewable Power Generation**, v. 10, n. 7, p. 873-884, ago. 2016.

BATISTA, O. E.; FLAUZINO, R. A.; MORAES, L. A.; ARAÚJO, M. A. The faults variability in distribution systems with distributed generation and robustness of smart grids. **2013 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America)**, Sao Paulo, Brazil, p. 1-6, 2013.

BLAABJERG, F.; YANG, Y.; YANG, D.; WANG, X. Distributed Power-Generation Systems and Protection. **Proceedings of the IEEE**, v. 105, n. 7, p. 1311-1331, jul. 2017.

FRACALOSSO, L. G. V.; VARGAS, M. C.; BATISTA; O. E. *Trip Solidário em Alimentadores de Distribuição com Geração Distribuída*. **XXIII Congresso Brasileiro de Automática (CBA)**, v.2, n.1, 2020.

MATOS, S. P. S.; ENCARNAÇÃO L. F. Influence of Distributed Generation in Transmission Lines Protection. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 9, p. 2941-2948, set. 2015.

MATOS, S. P. S.; ENCARNAÇÃO L. F.; DONADEL, C. B. Analysis of contribution from solar generators for short circuit in an urban distribution system. **2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)**, Washington, DC, pp. 1-5, 2017.

MENDES, M. A.; VARGAS, M. C.; BATISTA; O. E.; YANG, Y.; BLAABJERG, F. Simplified Single-phase PV Generator Model for Distribution Feeders With High Penetration of Power Electronics-based Systems. **2019 IEEE 15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)**, Santos, Brazil, p. 1-7, 2019.

NETO, M. E. S.; AMORA, M. A. B.; PINTO, V. P. Método de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência Aplicados na Geração Eólica. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, 2021.

RAJAEI, N.; SALAMA, M. M. A. Management of Fault Current Contribution of Synchronous DGs Using Inverter-Based DGs. **IEEE Transactions on Smart Grid**, vol. 6, n. 6, pp. 3073-3081, nov. 2015.

VARGAS, M. C.; MENDES, M. A.; BATISTA, O. E. Faults Location Variability in Power Distribution Networks with High PV Penetration Level. **2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**, Sao Paulo, Brazil, p. 459-466, 2018a.

VARGAS, M. C.; MENDES, M. A.; BATISTA, O. E. Impacts of High PV Penetration on Voltage Profile of Distribution Feeders Under Brazilian Electricity Regulation. **2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**, Sao Paulo, Brazil, p. 38-44, 2018b.