

Localização de Faltas na Rede Elétrica de Distribuição com Uso de Equipamentos Telecomandados

CENCI, B. R., BERNARDON, D.P., LAZZARI, E. F., BIAZZI, R. R. LAZARI, G., MILBRADT, R.G.

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
barbaracenci@gmail.com

Resumo — Por meio do Software *ASE Fault Detection* realizou-se a simulação de diversas situações de curto-circuito em uma rede elétrica a fim de verificar as prováveis localizações destes defeitos e criar um banco de dados com estas informações. Foram realizadas simulações para distintos patamares/horários, diferenciando dias úteis, sábados, domingos e feriados e considerando a condição climática (seco/úmido) para definição da resistência de contato no solo. Propõe-se uma metodologia para que, no momento de ocorrência de uma falta, pela comparação dos parâmetros observados no SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e as informações armazenadas no banco de dados, associada a análise das correntes de pré e pós falta, tenha-se a indicação da localização do defeito.

Palavras-chaves — Localização de Faltas – SCADA – Equipamentos Telecomandados – Curto-Circuito.

I. INTRODUÇÃO

Por possuírem grande extensão e estarem menos protegidas do que as redes que sustentam maior potência, a rede elétrica de distribuição está mais susceptível a faltas e, consequentemente, registram o maior número de ocorrências. Assim, a localização destes defeitos de maneira assertiva e em tempo mínimo é imprescindível para agilizar o restabelecimento de energia elétrica em situações de contingência, uma vez que esta etapa norteará os passos seguintes – de seletividade, coordenação de proteções e manobras da rede. [1]

Atualmente os principais métodos de localização de faltas baseiam-se na impedância equivalente no local de defeito, medidas principalmente por correntes e tensões de frequência fundamental. Entretanto, a rede de distribuição possui características condicionam a existência de impedâncias semelhantes para diferentes locais, como o grande número de bifurcações e variação de bitola nas instalações. [2]

Para contornar este problema, propõe-se a consideração das correntes de pré-falta e pós-falta como uma alternativa para o refinamento da informação de localização, baseando-se na análise dos equipamentos de proteção básica existentes na rede elétrica de distribuição (sobretudo, relés de sobrecorrente e chaves telecomandadas).

Neste sentido, parte-se da verificação do estado dos equipamentos telecomandados dispostos no eixo principal (tronco) do alimentador, observando as informações fornecidas ao sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) de modo que, pela indicação de passagem de corrente de curto-circuito, a região de defeito é vinculada ao equipamento mais a jusante da fonte. Parte-se então para a

análise das derivações da rede abarcadas na região de defeito, observando os equipamentos de proteção dispostos no início dos ramais a fim de contatar a contribuição de cada ramal nas correntes pré e pós falta. Para tanto, o estudo das correntes de curto-circuito é feito para diferentes patamares/horários, bem como diferenciando dias úteis, sábados e domingos e feriados. Além disso, no caso do curto-circuito monofásico-terra, também é considerada a condição climática (seco/úmido) para definição da resistência de contato no solo. Por meio do software *ASE Fault Detection* realizou-se a simulação das diversas situações de curto-circuito a fim de criar um banco de dados que permita a comparação com os parâmetros observados no SCADA no momento da falta e, assim, ter-se a indicação da localização do defeito.

Frisa-se que a otimização da localização de faltas na rede elétrica de distribuição tem efeito no restabelecimento do serviço de fornecimento de energia elétrica das concessionárias, contribuindo para a redução deste tempo. De modo especial, os indicadores individuais DIC e FIC, que expressam a duração de interrupção individual por unidade consumidora e a frequência destas ocorrências, respectivamente, bem como os indicadores coletivos DEC e FEC, que por sua vez expressam duração equivalente de interrupções por unidade consumidora (em centésimo de hora) e a frequência destes eventos (em número de interrupções), respectivamente, são regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no módulo referente a qualidade de energia elétrica [3].

A Fig. 1 apresenta os dados verificados pela ANEEL em 2016, referentes ao desempenho dos indicadores coletivos de continuidade (DEC e FEC) no Brasil entre os anos de 2011 e 2015 [4].

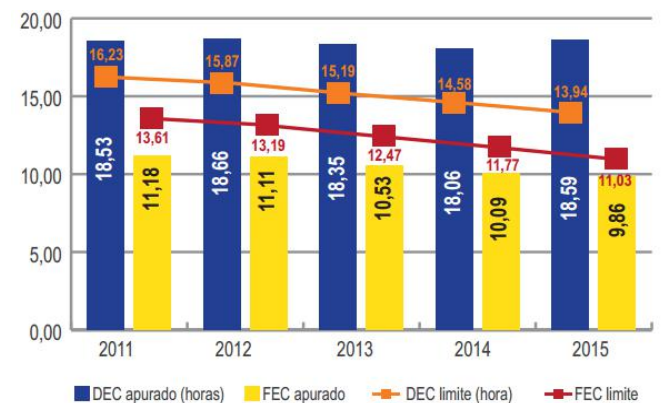


Fig. 1 – Desempenho dos Indicadores de Continuidade apurado para os anos de 2011 a 2015 no Brasil. Fonte:[4].

Observa-se que o indicador DEC apurado supera o DEC limite estipulado para o período, reforçando a importância de estudos que favoreçam a redução da duração das interrupções ocorridas. Além disso, no último ano a interrupção no fornecimento representa a maior causa das reclamações recebidas pelas distribuidoras [4].

Neste contexto, o presente trabalho objetiva discutir uma metodologia para localização de faltas na rede elétrica de distribuição, buscando contribuir para realização deste processo de maneira mais rápida e assertiva. Ainda, pretende-se proporcionar uma maior agilidade no restabelecimento de energia elétrica, melhorar índices de fornecimento de energia elétrica das concessionárias e a economia no deslocamento de equipes para pontos mais precisos.

II. METODOLOGIA

Propõe-se uma sequência de etapas a serem realizadas a partir da ocorrência do defeito para a localização da falta no momento do curto-circuito. A síntese da metodologia proposta é apresentada na Fig. 2.

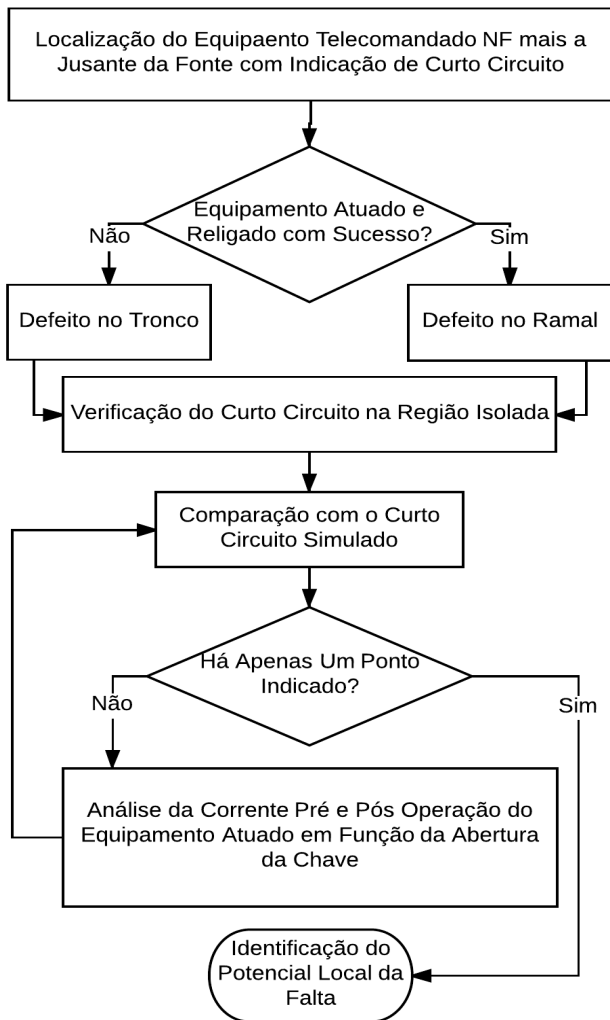


Fig. 2 – Fluxograma de síntese da metodologia proposta.

Conforme indicado no fluxograma acima, a primeira etapa dá-se pela identificação da região de falta pela atuação (ou não) do equipamento telecomandado, permitindo indicar se o defeito ocorreu no tronco ou no ramal. Para ambas situações, parte-se para a verificação dos parâmetros de curto-circuito. Estes valores são então comparados com as simulações de

curto-circuito realizadas previamente de modo a buscar aquela de maior semelhança. Pela comparação das situações, realizada pelo próprio SCADA, tem-se a associação do defeito ao provável local. Ainda, esta etapa conta com a análise de sensibilidade, uma vez que as simulações consideram a variação de carga em diversos horários do dia e a resistência de contato com o solo (uma vez que há diferenciação entre seco e úmido). Desta maneira, amplia-se a variedade de cenários possíveis e se proporciona uma localização mais precisa do defeito. Entretanto, em algumas situações em que o defeito ocorre no ramal pode haver a indicação de mais de uma possível localização – devido a impedâncias semelhantes em dois pontos. Faz-se então necessário visualizar os parâmetros do equipamento telecomandado do tronco, comparando os cenários antes e após o curto-circuito para saber qual era a contribuição da região que foi isolada, permitindo identificar qual chave-fusível foi aberta – e definindo então o ramal correto. Os itens a seguir abordam mais detalhadamente cada uma destas etapas.

A) Identificação da região sob falta por meio da análise dos equipamentos telecomandados

A verificação da ocorrência de defeito parte da análise do estado dos equipamentos telecomandados, isto é, a observação dos religadores e/ou chaves telecomandadas indica se houveram parâmetros anômalos. Para tanto, o sistema SCADA apresenta informações quanto à passagem de corrente de curto-circuito pelos equipamentos, bem como o estado de atuação das proteções.

Segundo técnica apresentada em [1], a associação da região com defeito se dá ao equipamento mais a jusante da fonte onde haja indicação da corrente de curto-circuito. A fim de exemplificação, consideram-se três possíveis situações:

i) Havendo observação de corrente de curto-circuito somente no disjuntor, este atuará, indicando que a região de defeito está localizada entre o alimentador e o religador. A Fig. 3 apresenta este cenário.

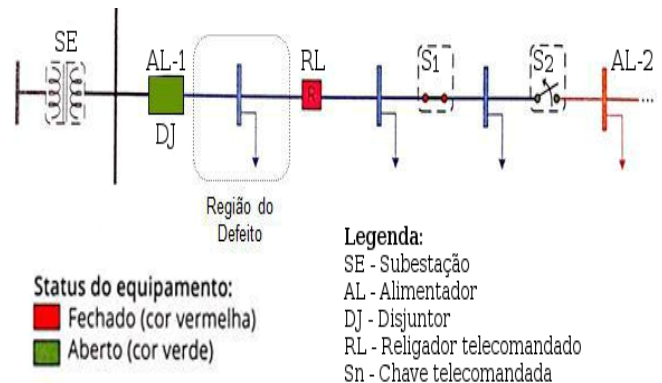


Fig. 3 – Exemplo de Rede de Distribuição com defeito entre o disjuntor e o religador.

ii) Em uma segunda situação, apresentada na Fig. 4, verifica-se que há indicação de corrente de curto-circuito no disjuntor, mas também no religador. Neste cenário este segundo atuará, uma vez que é o equipamento mais a jusante da fonte. Desta forma identifica-se que a falta se encontra entre o religador e a chave telecomandada S1, já que não houve leitura de corrente de curto-circuito neste último.

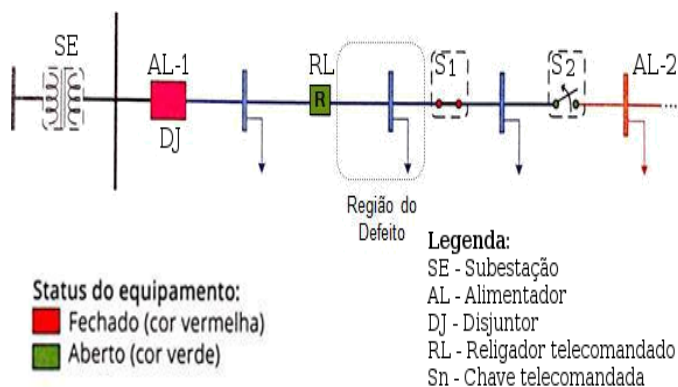


Fig. 4 – Exemplo de Rede de Distribuição com defeito entre o religador e a chave telecomandada S1.

iii) Em um último caso, considera-se que há corrente de curto-circuito tanto no disjuntor e religador, quanto na chave telecomandada S1. Temos atuado a proteção do religador, mas a ocorrência de corrente de curto-circuito em S1 indica que o defeito se encontra a jusante desta. Isto significa que pode-se utilizar esta chave telecomandada para restringir a região isolada pelo defeito a uma área menor, – abrindo S1 e, posteriormente, fechando novamente o religador de modo a integrar a região entre o mesmo e a chave ao circuito alimentado. Este cenário é ilustrado na Fig. 5.

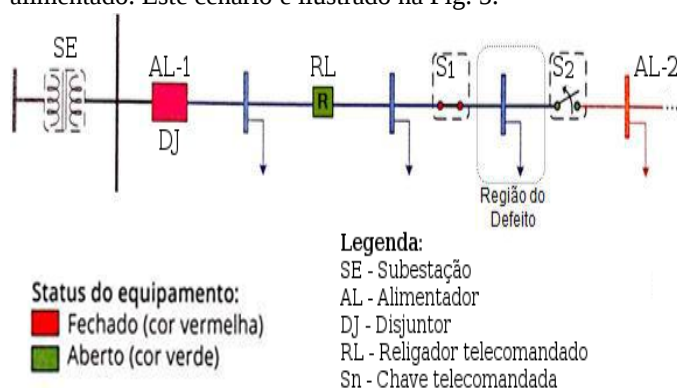


Fig. 5 – Exemplo de Rede de Distribuição com defeito a jusante da chave telecomandada S1.

A operação destes equipamentos está associada a critérios de seletividade e coordenação. Neste sentido, os critérios de seletividade buscam minimizar o número de consumidores atingidos pelo defeito na rede, o que significa priorizar a abertura de circuitos menores.

Com base nisso, pode-se ainda efetuar manobras capazes de conectar as cargas a alimentadores alternativos, com a utilização da chave S2, por exemplo. Esta seria uma etapa posterior a localização da falta e, por isso, não abordada neste trabalho.

1) Localização de defeito no tronco da rede

A existência de dispositivos de proteção (religador) instalados no tronco e chaves fusíveis dispostas nas ramificação permitem verificar se o defeito ocorreu no tronco ou nos ramais. Isto é, uma vez atuado o religador, sabe-se que o defeito está localizado no tronco, – e as chaves fusíveis permanecem fechadas. Ainda, o seccionamento do tronco por religadores permite reduzir a área geográfica desligada, atingindo um menor número de consumidores. Essa situação é ilustrada na Fig. 6.

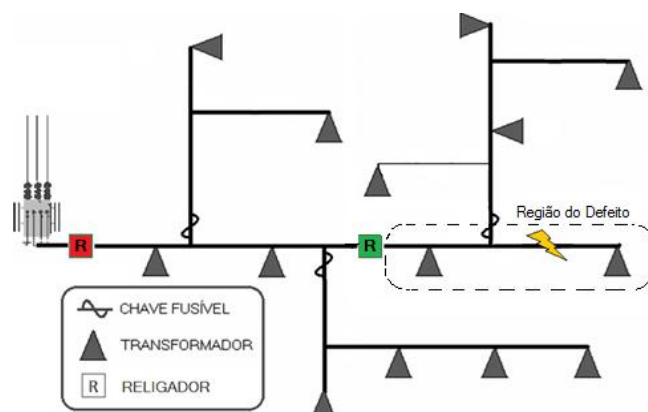


Fig. 6 - Indicação de falta localizada no tronco da rede elétrica pela orientação dos equipamentos telecomandados.

Tendo sido identificada e isolada a região de defeito, verificam-se os parâmetros de curto-circuito e compara-se com as simulações previamente realizadas mais próximas a estes valores, obtendo uma provável localização para o defeito. A garantia da localização no tronco simplifica o processo de localização porque outras regiões de mesma impedância que poderiam ser apontadas pela simulação de curto-circuito mas que estão fora do eixo troncal são descartadas de imediato.

2) Localização de defeito em um ramal da rede

Em um segundo cenário, pode-se ter o estado do equipamento telecomandado indicando a região de defeito em um ramal, isto é, neste caso, tem-se o equipamento não atuado (religado com sucesso) enquanto a proteção, chave fusível referente ao ramal com defeito é aberta de modo a isolar a região. A Fig. 7 apresenta esta situação.

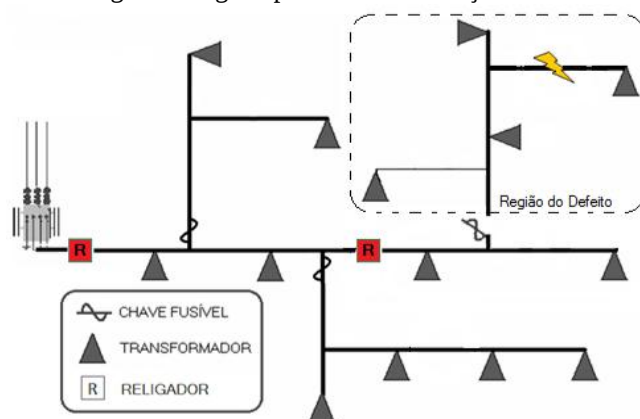


Fig. 7 – Defeito Localizado em um Ramal da Rede Elétrica

Tal como procedido anteriormente, após a verificação da região de defeito (agora em um ramal), analisa-se os parâmetros de curto-circuito comparando-os com os valores simulados e chega-se a um ponto provável para a localização do curto.

B) Análise dos parâmetros de curto-circuito e comparação com as simulações previamente realizadas

As simulações de curto-circuito são realizadas previamente pela utilização do programa *ASE Fault-Detection* com base na rede de distribuição da AES Sul referentes aos alimentadores de Polesine, Restinga Seca e Faxinal. Os dados

das simulações são armazenados em um banco de dados a fim de serem acessados pelo SCADA.

Na ocorrência da falta, os parâmetros de curto-circuito verificados pelo equipamento telecomandado são enviados para o SCADA, que então “preenche” os campos referentes aos parâmetros de correntes de curto-circuito (“Correntes de CC”) e correntes após o evento (“Correntes Pós-falta”). Com base nesse preenchimento, o programa identifica o tipo de curto-circuito ocorrido, – monofásico, bifásico, bifásico-terra ou trifásico. Além disso, são selecionados os campos referentes ao dia (diferenciados entre dia útil, sábados ou domingos e feriados) e ao patamar (faixa de horário) de ocorrência. Ainda, definem-se as condições climáticas (tempo úmido ou seco), uma vez que para dias secos é acrescida uma resistência de 40Ω referente a resistência de contato com o solo. A Fig. 8 apresenta um exemplo de preenchimento realizado pelo SCADA no evento de um curto-circuito monofásico, quando se registra 200 A na fase A, em um dia útil entre 12 e 13 horas, com tempo seco.

Fig. 8 - Valores preenchidos pelo SCADA na ocorrência de um curto-circuito.

Os valores verificados no momento do curto-circuito são comparados com aqueles referentes as simulações (disponíveis no banco de dados do SCADA). Por semelhança, é eleita a situação que condiz com o defeito ocorrido, indicando assim a localização da falta. A Fig. 9 apresenta a provável localização apontada para um curto-circuito com os parâmetros supracitados.

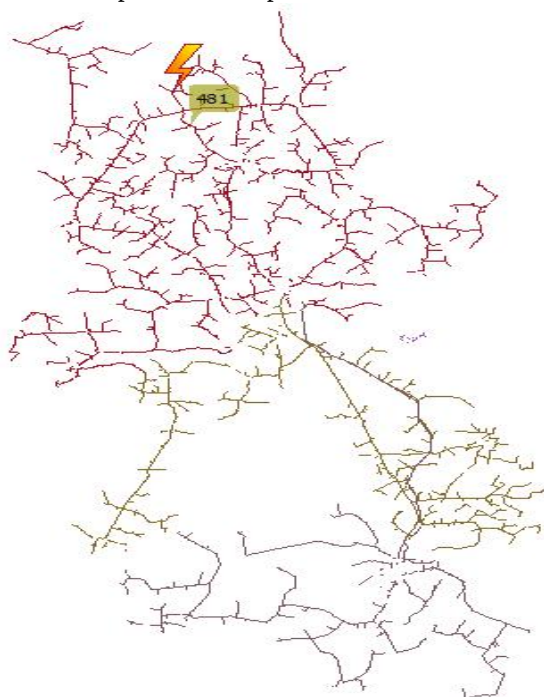


Fig. 9 – Exemplo de localização da falta e indicação do equipamento telecomandado atuado

C) Indicação de mais de uma possível localização do defeito

Supondo a existência de pontos diversos com mesma impedância em ramais diferentes - ocasionados, por exemplo, pela variação de bitola utilizada na fiação – a verificação da localização do defeito pelos parâmetros de curto-circuito e como procedido nos demais casos pode levar a indicação de mais de um local. Esta situação é apresentada na Fig. 10, onde as áreas hachuradas indicam locais com impedância semelhante.

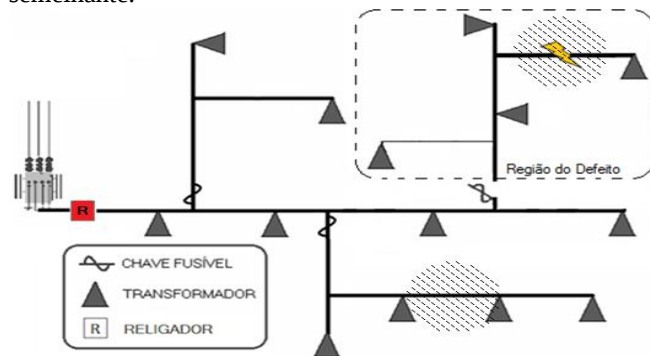


Fig. 10 – Indicação de duas regiões com impedância semelhante

Neste caso, pode-se recorrer a verificação dos parâmetros do equipamento telecomandado atuado, de modo a comparar seus dados de pré e pós falta e, assim, verificar qual era a contribuição da chave aberta em função da carga do sistema. Por exemplo, supondo que o equipamento telecomandado da figura acima apresentava uma corrente de pré-falta de 20 A e, após a falta, esse valor caiu para 15 A. Sabe-se então que o ramal desligado contribuía com a parcela de 5 A, de modo que pela análise da corrente de carga tem-se a indicação do ramal correto e, portanto, qual a localização do defeito.

III. ESTUDOS DE CASO

Utilizou-se o software *ASE Fault Detection*, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), cuja finalidade é justamente, a partir de equipamentos vinculados ao sistema SCADA da distribuidora, detectar a localização de faltas. Para tanto, são carregados os arquivos referentes a rede elétrica (.csv), com informações quanto aos transformadores, cabos, chaves, carga, entre outros. Em posse desses dados, o software realiza a análise do fluxo de potência e os cálculos de curto-circuito [4]. O cálculo de curto-circuito realizado considera o tipo de dia (dia útil – sábados - domingo e feriados) e a diferenciação entre 6 patamares de carga, conforme apresentado na Tabela I.

TABELA I. PATAMARES DE CARGA CONSIDERADOS

Patamar de Carga	Faixa de Horário
1	0:00 – 6:00
2	7:00 – 11:00
3	12:00 – 13:00
4	14:00 – 17:00
5	18:00 – 20:00
6	21:00 – 23:00

O banco de dados do programa carrega informações quanto a estrutura da rede (cabos, dispositivos, etc.), bem como parâmetros obtidos pelos equipamentos dispostos na mesma. Assim, os cálculos de curto-circuito são realizados com base nisto, considerando o patamar selecionado para o momento da falta e o tipo de curto. Além disso, para curtos-circuitos envolvendo o contato com terra, há diferenciação entre dias secos e úmidos, sendo que no primeiro caso é acrescida uma impedância de 40Ω referentes à resistência de contato com o solo, ao passo que no segundo caso é desconsiderada esta

contribuição. No que se refere aos valores de pré-falta, para dias úteis são consideradas as curvas típicas de demanda das diferentes classes consumidoras: residencial, comercial, industrial, rural e outras, conforme apresenta a Fig. 11.

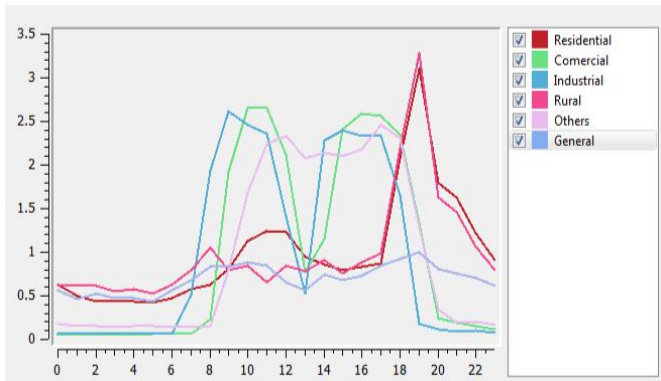


Fig. 11 - Curvas Típicas de Demanda para Diferentes Classes de Consumidores ao Longo de Um Dia Útil

Sábados, Domingos e Feriados consideram apenas a curva típica referente a carga geral, apresentadas pelas Fig. 12 e 13, respectivamente.



Fig. 12 - Curva Típica Referente à Demanda Energética em um Sábado

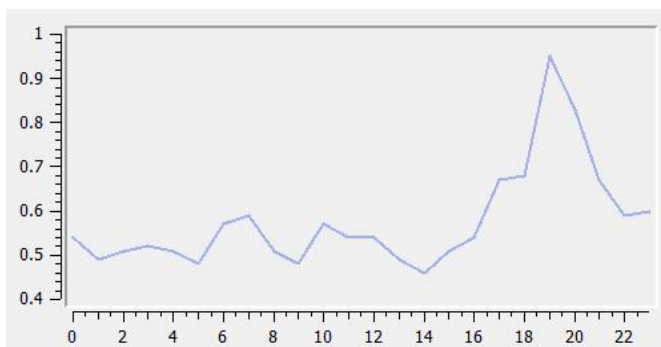


Fig. 13 - Curva Típica de Demanda Energética para Domingos e Feriados

A) Ocorrência de defeito no tronco da rede

Para o caso de defeito ocorrido no tronco da rede elétrica de distribuição tem-se que a corrente de pós falta verificada pelo SCADA é zero, uma vez que o equipamento telecomandado de proteção atuará abrindo o circuito. A Fig. 14 apresenta a simulação de um preenchimento de dados pelo SCADA na ocasião de um curto-circuito monofásico ocorrido na fase C, em um dia útil dentro do patamar 4, com tempo úmido, onde a corrente de curto-circuito verificada pelo SCADA

corresponde a 230 A, ao passo que não há corrente de pós falta devido a abertura do equipamento telecomandado.

Fig 14 – Entrada de dados para uma situação de curto-circuito no tronco da rede elétrica

Para este cenário, a localização da falta é indicada pela Fig. 15, onde se observa o local do incidente, bem como o apontamento do equipamento de proteção atuado (com identificação de número 480).

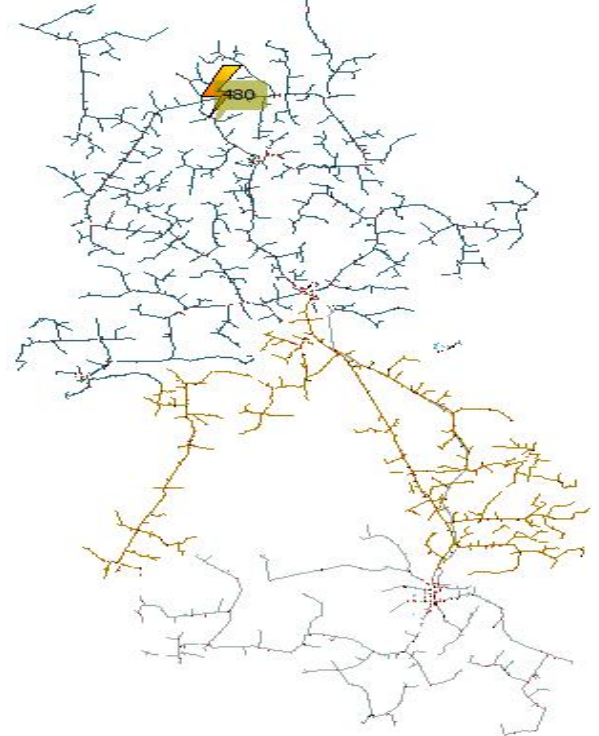


Fig. 15 – Indicação de Localização apontada pelo ASE Fault Detection para uma situação de curto-circuito em um ramal

B) Ocorrência de defeito no ramal da rede elétrica

Para uma situação onde a falta ocorre em um ramal da rede, o equipamento telecomandado realizará o religamento com sucesso, havendo, entretanto, abertura da chave fusível referente ao ramal onde ocorreu o defeito. Haverá, nesta situação, corrente pós falta menor que a pré-falta, de modo que essa diferença refere-se a contribuição do ramal que foi desconectado.

A Fig. 16 apresenta o preenchimento de dados para uma situação de curto-circuito monofásico envolvendo a fase B, na qual verifica-se uma valor de corrente de curto-circuito de 250 A, ao passo que a corrente de pós falta é de 20 A. A falta é verificada em um dia útil, entre as 18h e 20h (patamar 3), em um dia de tempo úmido.

Tipo do Dia: Patamar: 3 (12:00-13:00)

Correntes de CC		Correntes Pós-falta	
Fase A	0	Fase A	0
Fase B	250	Fase B	20
Fase C	0	Fase C	0

Tipo de Curto Circuito:
☒ Monofásico ☐ Bifásico ☐ Bifásico Terra ☐ Trifásico

Tempo:
☒ Úmido ☐ Seco

Fig. 16 – Entrada de dados em uma situação de curto-circuito no ramal da rede elétrica

A localização do defeito para este cenário é apresentada na Fig. 17, onde verifica-se também a indicação do equipamento atuado (inscrição número 209).

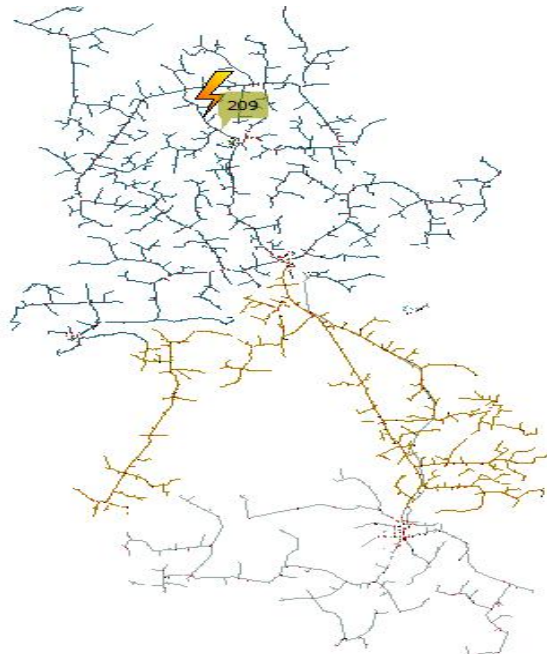


Fig. 17 – Indicação de Localização apontada pelo ASE Fault Detection para uma situação de curto-circuito no ramal da rede elétrica

C) Influência das análises de sensibilidade

Partindo da configuração de falta no tronco da rede (falta do tipo monofásica, com corrente de curto-circuito de 230 A verificados na fase C, sem corrente de pós-falta), observou-se a alteração de um dos parâmetros referentes a análise de sensibilidade, a fim de verificar o efeito desta na localização da falta.

Primeiramente alterou-se o tipo de dia (de úmido para seco), havendo assim a inclusão da resistência de contato (caso X); Após, alterou-se o patamar de horário da falta (Caso Y); Em um terceiro caso, alterou-se o tipo de dia da ocorrência (Caso Z). A Tabela II apresenta os dados de entrada e os equipamentos telecomandados atuados em cada uma das situações.

TABELA II. EFEITO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.

Caso	Tempo	Patamar	Tipo de Dia	Eq. Atuado
Defeito Tronco	Úmido	4	Útil	480
X	Seco	4	Útil	142
Y	Seco	5	Útil	147
Z	Seco	5	Domingos e Feriados	146

Destaca-se que a alteração dos cenários ocasionou a mudança do equipamento telecomandado atuado, proporcionando uma localização mais precisa devido a consideração destas circunstâncias.

V. CONCLUSÕES

É certo que o estudo de técnicas que contribuam para o melhor gerenciamento da rede elétrica são de suma importância para a melhora dos serviços prestados pelas concessionárias e, neste sentido, a eficiente localização de defeitos na rede elétrica é ponto de partida para as demais etapas de resolução do problema em uma situação de falta. Nesse sentido, ainda, vale ressaltar que a simplicidade do método proposto é um importante aspecto para que o mesmo possa ser implementado pelas empresas do campo da distribuição de energia elétrica.

Por certo, a tendência para a multiplicação do número de elementos telecomandados na rede elétrica reforça que a utilização de métodos que utilizem as informações obtidas por esses é oportuna e conveniente. Todavia, a região associada a estes elementos ainda é vasta e reforça a positividade de associar esses dados a outras formas de refinamento da informação de localização, sendo ambos aspectos contemplados pela metodologia proposta.

Destaca-se também que a lógica de comparação a cenários de curto-circuito previamente simulados permite que a análise destes dados ocorra de maneira satisfatória tanto no que se refere à precisão quanto à rapidez. Além disso, a proposta é relevante no que se refere aos defeitos ocorridos em pontos com impedância semelhante a outros locais da rede, visto que essa é uma característica importante das redes de distribuição.

Ainda, a consideração da análise de sensibilidade pela diferenciação dos patamares de horários, condições climáticas e tipo de dia em que ocorreu o curto-circuito tornam o método mais eficiente e preciso.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da concessionária de energia elétrica RGE Sul pelo projeto “Solução Inovadora para Gerenciamento Ativo de Sistemas de Distribuição” (P&D/ANEEL).

REFERÊNCIAS

- BERNARDON, Daniel Pinheiro et al. Sistemas de distribuição no contexto das Redes Elétricas Inteligentes: uma abordagem para reconfiguração de redes. 1ª ed. Santa Maria: AGEPOC, 2015.
- CAVALHEIRO, Franciele Cristina. Emprego de Mapas Auto Organizáveis para Localização de Falhas na Rede Elétrica de Distribuição. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2012.
- ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica, Revisão 7. Brasília, Brasil. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1877>. Acesso em: Out, 2016.
- ANEEL. Ouvidoria Setorial em Números - 2016: Aspectos Técnicos e Comerciais. Brasília, Brasil. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/documents/655804/14862982/Ouvidoria+Setorial+em+N%C3%BAmeros+2016+menor/46a8f96d-fff8-4e1f-8f66-c7e09e54868b>. Acesso em: Nov, 2016.
- ASE Fault Detection. Manual de Utilização da versão 1.6.0. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2012.