



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Alocação Ótima de Dispositivos Indicadores de Falta em Linhas de Distribuição Utilizando Sistemas de Inferência Fuzzy

Débora M. B. S. Souza
ELEKTRO
debora.souza@elektro.com.br

Adécio F. de Assis
ELEKTRO
adelcio.assis@elektro.com.br

Ivan N. da Silva
USP/EESC
insilva@sel.eesc.usp.br

Danilo Hernane Spatti
USP/EESC
spatti@sel.eesc.usp.br

Wesley Fernando Usida
USP/EESC
wesleyfu@sel.eesc.usp.br

Rogério A. Flauzino
USP/EESC
raflauzino@sel.eesc.usp.br

PALAVRAS-CHAVE:

Indicador de falta
Otimização de Processos
Proteção do Sistema Elétrico
Restabelecimento de energia
Redes de Distribuição

RESUMO

O objetivo desse trabalho é a elaboração de metodologia para alocação ótima de dispositivos indicadores de falta no sistema de distribuição através da avaliação dos locais onde já existam indicadores instalados, a fim de auxiliar nos processos de decisão quanto à possível realocação, visando aumentar sua eficácia. Este trabalho avalia como as principais variáveis que influenciam na quantificação da potencialidade para instalação de dispositivos indicadores de falta se comportam ao longo do tronco principal de alimentadores de distribuição de energia elétrica. Como metodologia, empregou-se sistemas de inferência fuzzy para, a partir das variáveis avaliadas, quantificar a referida potencialidade. Resultados com dados reais destacam também a eficiência da metodologia proposta para quantificar e avaliar a rede de dispositivos indicadores já existente em alimentadores.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da energia está intimamente ligada ao fornecimento ininterrupto, medida por indicadores da qualidade da energia elétrica fornecida, tais como o DEC e o FEC, os quais definem a energia de boa qualidade como aquela fornecida ininterruptamente. Nos sistemas elétricos de potência, um dos principais fatores para a interrupção do serviço é a ocorrência de faltas causadas por uma variedade de situações, tais como condições climáticas, contatos de árvores, falhas de equipamentos, etc. Se houverem informações sobre a falta, mais rápido é o processo de manutenção corretiva e, conseqüentemente, mais ágil será o restabelecimento da energia elétrica [1]. Para que a energia elétrica

entregue pelas concessionárias sofra menos interrupções em consequência de ocorrências, cada vez mais são investidos recursos para o desenvolvimento dos sistemas de proteção visando melhorar o tempo de resposta e agilizar o restabelecimento, com o adequado isolamento do defeito. Assim, torna-se importante que os elementos responsáveis em detectar as faltas sejam sensibilizados por quaisquer de seus tipos, imediatamente após a ocorrência destas, para que prejuízos financeiros e humanos não ocorram [2]. Um desses dispositivos é o indicador de falta.

A aplicação de dispositivos Indicadores de Falta (IF) na rede primária permite às distribuidoras de energia melhorar a confiabilidade e a qualidade do fornecimento aos clientes, uma vez que esses identificam e sinalizam a ocorrência de curtos-circuitos. Além disso, tais dispositivos permitem a redução do tempo de desligamento das redes elétricas, provenientes de faltas transitórias ou permanentes, pois diminuem o tempo de inspeção das equipes de restabelecimento, facilitando o trabalho de isolamento da seção faltosa e a restauração do sistema [3,4]. A ELEKTRO possui mais de 2.300 pontos de indicadores de falta instalados, sendo que aproximadamente 40% deles não têm atuado de forma satisfatória.

Estudos apontam que a presença de IF em pontos precisos dos sistemas de distribuição aéreos ou subterrâneos pode reduzir em até 60% o tempo de interrupção, pois, uma vez que a equipe de restabelecimento consegue rapidamente localizar a seção faltosa, diminuem-se os índices que contabilizam o tempo e a frequência em que o consumidor fica sem energia [5].

Entretanto, uma das principais dificuldades encontradas para utilização maciça de tais dispositivos está justamente na ausência de metodologias eficientes que visam apontar quais os potenciais pontos do sistema de distribuição seriam mais apropriados para instalação dos dispositivos IF. De fato, os principais trabalhos apresentados na literatura correlata tratam dos IF como elementos direcionadores para automatizar o restabelecimento de setores faltosos [6-8]. Porém, se o IF estiver posicionado em locais inapropriados, a eficiência global do processo de automatização do restabelecimento pode então ser substancialmente comprometida [3].

Baseado em tal contexto, apresenta-se neste trabalho uma abordagem baseada em sistemas de inferência fuzzy, que quantifica os potenciais locais do sistema de distribuição que serão os mais apropriados para instalação de dispositivos IF. Resultados de análises com dados reais serão apresentados para validação do método desenvolvido.

2. VARIÁVEIS PERTINENTES AO CÁLCULO DO POTENCIAL PARA INSTALAÇÃO DE DISPOSITIVOS INDICADORES DE FALTA

Para que se possa ter uma avaliação dos prováveis pontos candidatos à instalação de dispositivos IF, torna-se necessário quantificar a potencialidade do respectivo ponto. Dessa forma, considerando a aplicação prática da técnica apresentada, torna-se também fundamental atentar, para a referida ponderação, aspectos como a carga, o número de clientes, distância até os IF adjacentes, bem como o nível de curto-circuito mínimo do ponto.

Aspectos como a carga e o número de clientes à jusante do ponto sob análise permitem auferir sobre a importância de se ter um dispositivo IF instalado no mesmo. Intuitivamente, tem-se que, se à jusante do ponto tanto a carga alimentada como o número de clientes forem expressivos, o ponto, por sua vez, possuirá um grande potencial. Por outro lado, caso já exista instalado um dispositivo IF nas adjacências, o potencial, ora tido como elevado, deixa de possuir tanta expressão. Observações semelhantes podem ser conferidas para pontos do sistema de distribuição onde a corrente de curto-circuito mínima possuir níveis que impeçam a sensibilização dos dispositivos IF. Em outras palavras, assim como o potencial de instalação decai para pontos próximos a outros dispositivos IF, o mesmo se faz para pontos onde a corrente de curto-circuito mínima pode comprometer o funcionamento dos mesmos. Empregando a corrente de curto-circuito mínima para ponderação do potencial de instalação

de dispositivos IF em um alimentador, tem-se que a probabilidade dos mesmos apresentarem índices expressivos de não-atuação é reduzida.

O emprego desses indicadores de desempenho para consubstanciar o uso das variáveis citadas no cálculo do potencial de instalação de IF, considerando um determinado ponto, pode também ser feito quando se levam em conta as variáveis relativas à carga e aos clientes atendidos. Para tanto, pode-se citar o tempo médio de restabelecimento, ou seja, supondo que um IF operou devidamente, é então sabido que as cargas à montante poderão ser restabelecidas, pois o ponto de falta não se encontra nos trechos de rede que as alimentam.

Ainda, há de se considerar também para fins de análise e de aplicações práticas, o uso de IF no tronco principal do alimentador. Essa consideração se justifica, pois, diante da interrupção do fornecimento de energia elétrica desencadeada por uma falta, o restabelecimento do serviço poderá ser feito gradualmente conforme as equipes de restabelecimento percorrem o tronco principal e verifiquem que o ponto de falta ocorrera à jusante do último indicador inspecionado.

Assim sendo, visando formulação do método proposto, nas subseções seguintes serão apresentadas como as variáveis consideradas relevantes para avaliação do potencial para instalação de dispositivos IF se comportam ao longo do tronco principal, ou seja, desde a barra secundária da subestação até o ponto mais distante em termos de comprimento de rede.

2.1. Determinação do tronco principal

Para se conduzir o delineamento do algoritmo responsável pela determinação dos trechos compondo o tronco principal do alimentador, considerar-se-á inicialmente o diagrama unifilar de um sistema de distribuição ilustrado pela Figura 1.

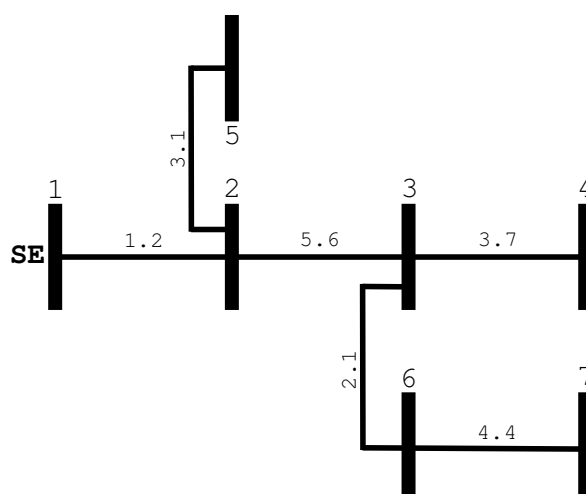


Figura 1. Ilustração de sistema de distribuição visando delineamento do método de obtenção do tronco principal.

A determinação do tronco principal não é realizada de forma direta, requerendo o cálculo da distância em relação à subestação, em que cada barra se encontra. Esse cálculo se torna necessário visto que se adotar-se-á o critério da mais distante barra para definir o tronco principal. Por meio desse princípio, o conjunto de trechos primários que conduzirem, a partir da subestação, à barra mais distante se constituirá o tronco principal do alimentador. Assim, considerando-se os comprimentos dos trechos primários indicados na Figura 1, o seguinte sistema de equações lineares pode ser escrito:

$$\begin{cases} x_1 = 0 \\ x_2 - x_1 = 1.2 \\ x_3 - x_2 = 5.6 \\ x_4 - x_3 = 3.7 \\ x_5 - x_2 = 3.1 \\ x_6 - x_3 = 2.1 \\ x_7 - x_6 = 4.4 \end{cases} \quad (1)$$

Expressando (1) em forma matricial, tem-se:

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b} \quad (2)$$

onde:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & \\ -1 & 1 & & & & & \\ & -1 & 1 & & & & \\ & & -1 & 1 & & & \\ -1 & & & & 1 & & \\ & -1 & & & & 1 & \\ & & & & & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{b} = (0 \quad 1.2 \quad 5.6 \quad 3.7 \quad 3.1 \quad 2.1 \quad 4.4)^T \quad (4)$$

$$\mathbf{x} = (x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad x_5 \quad x_6 \quad x_7)^T \quad (5)$$

onde x_i representa a distância, em relação à subestação, da i -ésima barra do sistema de energia elétrica. Supondo um típico sistema de distribuição radial, é possível afirmar que não existirá redundância de caminhos para uma mesma barra. Assim, dado um sistema com n barras, haverá então $(n - 1)$ equações de trechos primários para determinação da distância das barras até a subestação. Somando-se a esse conjunto de equações a referência de distância nula para a barra representativa da subestação, totalizar-se-á n equações. Posto isso, torna-se possível afirmar que a matriz \mathbf{A} será quadrada quando se referir a sistemas de energia inteiramente radiais, tais como os de distribuição. Em função dessa constatação, a solução de (2) pode ser obtida da seguinte maneira:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{b} \quad (6)$$

Para o exemplo abordado, a matriz \mathbf{A}^{-1} pode ser expressa conforme se faz em (7), ou seja:

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & & & & & & \\ 1 & 1 & & & & & \\ 1 & 1 & 1 & & & & \\ 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\ 1 & 1 & & & 1 & & \\ 1 & 1 & 1 & & & 1 & \\ 1 & 1 & 1 & & & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Conseqüentemente, o vetor de distâncias será dado por:

$$\mathbf{x} = (0 \quad 1.2 \quad 6.8 \quad 10.5 \quad 4.3 \quad 8.9 \quad 13.3)^T \quad (8)$$

Por inspeção, verifica-se que a barra que está mais distante da subestação é aquela de número 7, posicionando-se a 13.3 unidades de comprimento da subestação representada pela barra de número 1. Retomando-se à matriz \mathbf{A}^{-1} , tem-se que a linha correspondente à barra mais distante é constituída da seguinte forma:

$$\mathbf{A}_{7,1..7}^{-1} = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1) \quad (9)$$

Lembrando-se de que as linhas de \mathbf{A} foram constituídas pelo conjunto de equações expresso em (1), a mesma inferência pode ser feita para as colunas de \mathbf{A}^{-1} . Portanto, os conjuntos de trechos primários que constitui o tronco principal são aqueles entre as barras 1 e 2, 2 e 3, 3 e 6, e as barras 6 e 7. A Figura 2 ilustra o tronco principal do alimentador empregado como exemplo.

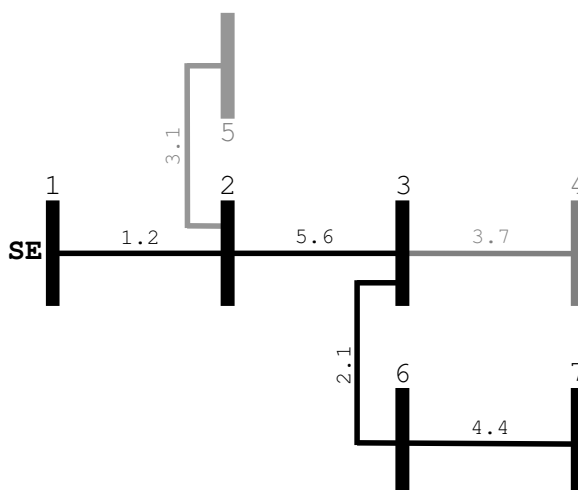


Figura 2. Sistema de distribuição com destaque para o tronco principal.

Assim, em termos de aplicação prática, o emprego de técnicas numéricas dedicadas às matrizes esparsas deve ser considerado para a determinação do tronco principal mediante o uso do algoritmo proposto. Tal observação torna-se pertinente quando se calcula o grau de esparsidade Φ em relação à matriz \mathbf{A} , ou seja:

$$\Phi = \frac{n^2 - 2n + 1}{n^2} \quad (10)$$

Considerando-se a forma como as matrizes esparsas são computacionalmente representadas, e valendo-se de (10), verifica-se que se torna vantajosa o emprego da álgebra de matrizes esparsas para sistemas compostos inclusivamente por mais de 6 barras.

2.2. Comportamento da carga e do número de clientes à jusante do tronco principal de alimentadores de distribuição

Assim como posto no início dessa seção, o potencial de inclusão de dispositivos IF em um determinado ponto ou trecho deve ser função, dentre outras variáveis, da carga e do número de clientes à jusante do ponto ou trecho sob análise. Como o objetivo desse artigo é apresentar como esse potencial para instalação se comporta ao longo do tronco principal de alimentadores de distribuição, torna-se conveniente apresentar como as referidas grandezas também se comportam ao longo do referido tronco. Para tanto, dois alimentadores reais de distribuição que são nomeados por AL-1 e AL-

2 foram eleitos e analisados segundo os critérios aqui expostos.

Assim, apresenta-se na Figura 3 o alimentador AL-1 com destaque para o tronco principal obtido por meio do algoritmo exposto na subseção anterior.

Fazendo-se uso dos dados disponíveis para o alimentador AL-1 (Figura 3), torna-se possível calcular como a carga instalada à jusante de cada uma das barras constituintes do tronco principal, em um total de 335, se comporta. Além da carga instalada à jusante, calcula-se também o número de clientes à jusante das barras do tronco principal.

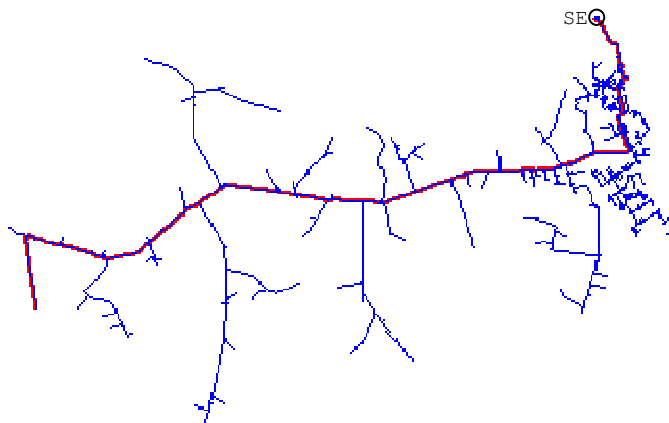


Figura 3. Alimentador AL-1 com destaque para o tronco principal.

Assim, por meio da Figura 4, apresenta-se como a carga e o número de clientes se comportam ao longo da extensão do tronco principal do alimentador AL-1.

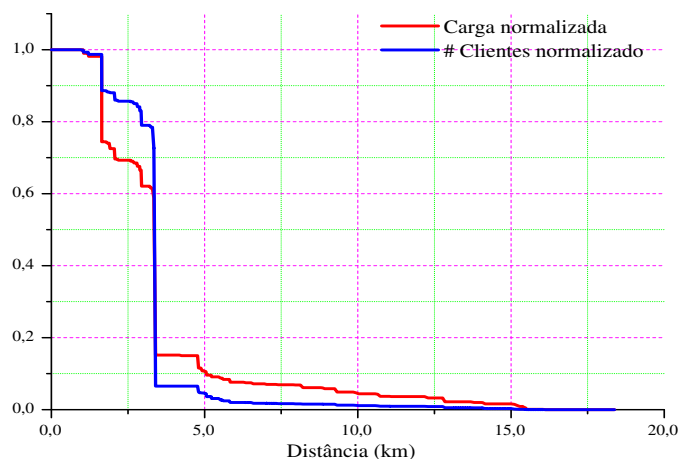


Figura 4. Comportamento da carga e do número de clientes ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

Por meio dos gráficos da Figura 4 é possível verificar que o alimentador apresenta uma sensível mudança da carga e do número de clientes à jusante do ponto com distância de 3,35 km contados da subestação. Em termos reais, tem-se que esse alimentador possui seus primeiros 3 km, aproximadamente, destinados à alimentação de cargas urbanas e o restante (mais de 15 km) destinado à alimentação de cargas rurais.

Mesmo possuindo esta sensível variação, a mesma não se observa para a corrente de curto-circuito mínima ao longo do tronco principal. Essa observação se justifica em função da uniformidade dos cabos empregados para constituição do tronco principal de alimentadores de distribuição. A Figura 5 ilustra o comportamento da corrente de curto-circuito mínima ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

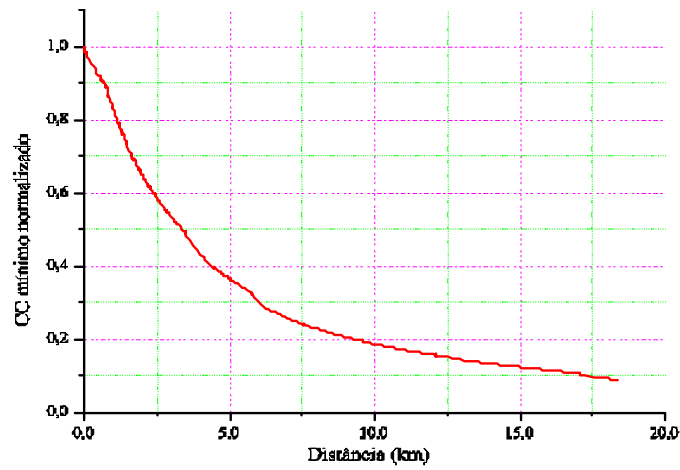


Figura 5. Comportamento da corrente de curto-circuito mínima ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

Complementando a apresentação dos dados da pesquisa, tem-se por meio da Figura 6 a disposição geográfica do alimentador AL-2, onde se destaca tanto a localização da subestação (SE) como também do tronco principal do mesmo.

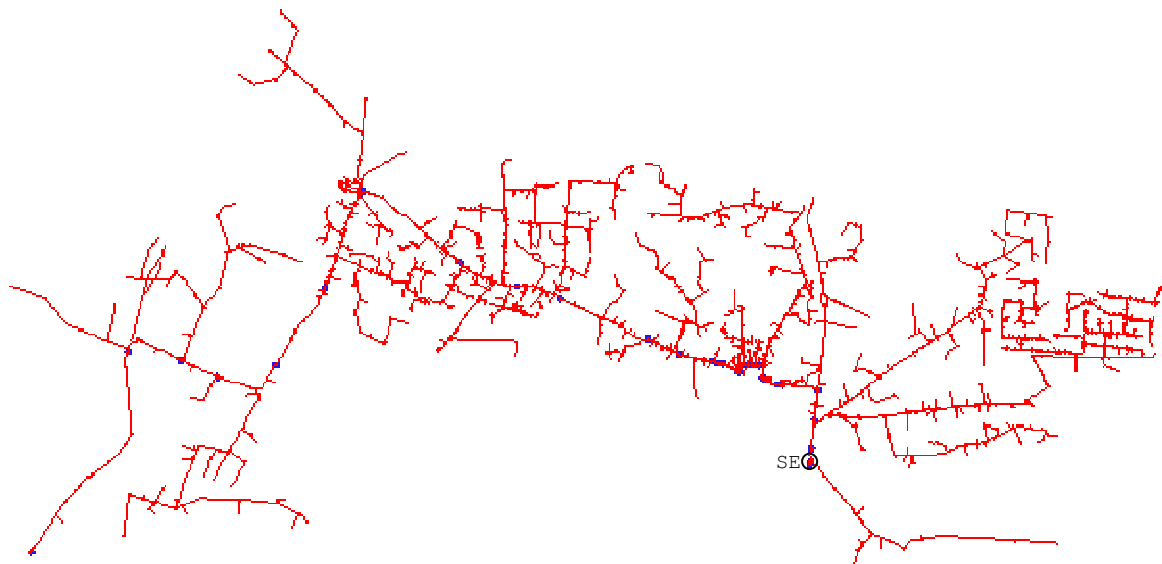


Figura 6. Alimentador AL-2 com destaque para o tronco principal.

O comportamento da carga e do número de clientes à jusante de cada uma das barras constituintes do tronco principal do alimentador AL-2 é ilustrado por meio da Figura 7.

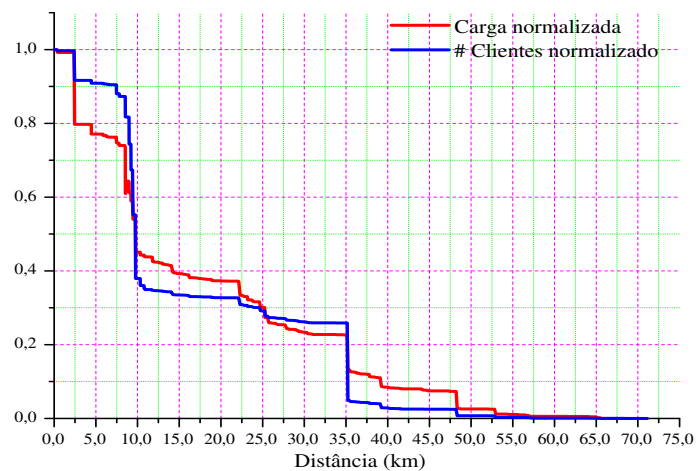


Figura 7. Comportamento da carga e do número de clientes ao longo do tronco principal do alimentador AL-2.

A partir da Figura 7, além de se verificar como a carga e o número de clientes variam ao longo do tronco principal do alimentador AL-2 sob estudo, constata-se também a sua grande extensão. Tal fato motiva ainda mais a investigação de técnicas que visam a determinação dos potenciais pontos de instalação de dispositivos IF, pois, diante de uma configuração não otimizada de alocação desses dispositivos, o tempo de restabelecimento do serviço poderá ser substancialmente afetado, refletindo-se conseqüentemente nos indicadores de qualidade da concessionária.

Em complemento, por meio da Figura 8, tem-se como a corrente de curto-circuito mínima varia ao longo de toda a extensão do tronco principal do alimentador AL-2.

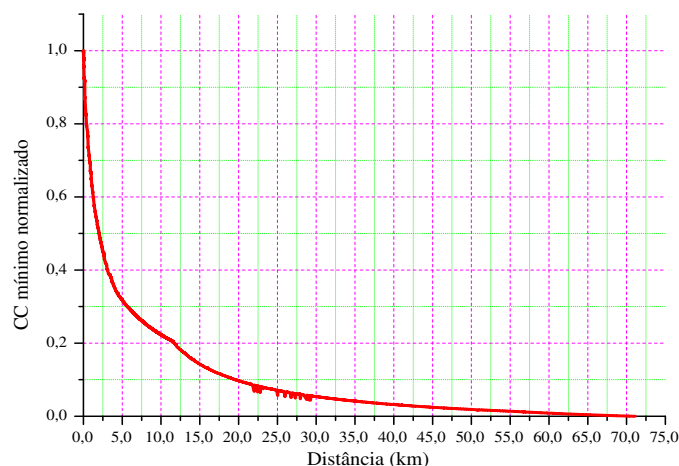


Figura 8. Comportamento da corrente de curto-circuito mínima ao longo do tronco principal do alimentador AL-2.

Assim como observado para o alimentador AL-1, verifica-se que a corrente de curto-circuito mínima possui decréscimo uniforme, sendo reflexo direto da uniformidade dos condutores constituintes do seu tronco principal.

2.3. Distância aos dispositivos indicadores de falta adjacentes

Não apenas a carga, o número de clientes e a corrente de curto-circuito mínima devem ser variáveis consideradas no cálculo do potencial dos pontos ou trechos do tronco principal para receber dispositivos IF. Há de se considerar também, com igual importância, a distância do potencial ponto em relação aos dispositivos IF adjacentes.

O cálculo da distância até os dispositivos IF adjacentes pode ser conduzida de maneira semelhante ao exposto na Subseção 2.1. A adaptação necessária ao referido cálculo deve ser feita sobre a primeira linha de **A**, correspondente à equação da referência nula para a distância, mantendo-se o vetor **b** constante.

No exemplo conduzido na Subseção A a referência fora posta sobre a barra número 1, a qual correspondia à barra da subestação. Assim, considerando-se que na barra número 3 exista um dispositivo indicador de falta, a matriz **A** deve ser modificada, conforme apresentado em (11), de forma que a solução (vetor **x**) forneça a distância de cada uma das barras até o dispositivo instalado na barra de número 3.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} & & & & & & & & 1 \\ -1 & & & & & & & & \\ & -1 & & & & & & & \\ & & -1 & & & & & & \\ & & & -1 & & & & & \\ & -1 & & & & & & & 1 \\ & & & & -1 & & & & \\ & & & & & & & & 1 \\ & & & & & & & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Vale a pena ressaltar que o emprego de algoritmos próprios para tratamento de matrizes esparsas se torna novamente conveniente para a condução dos inúmeros cálculos que possam se fazer pertinentes à determinação da distância de cada barra em relação aos dispositivos IF adjacentes mais próximos. Para ilustrar como a distância até os dispositivos adjacentes mais próximos se procede, apresenta-se por meio da Figura 9 o comportamento dessa variável ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

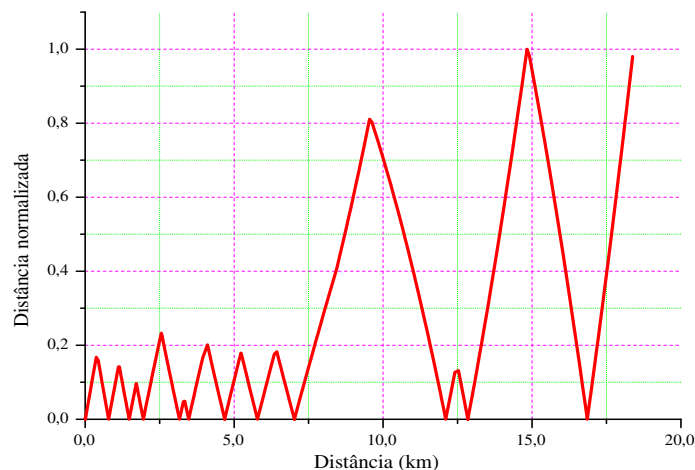


Figura 9. Distância normalizada até os dispositivos indicadores de falta ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

Por meio da Figura 9 verifica-se que, aproximadamente, nos pontos distantes em torno de 10 e 15 km do tronco principal do alimentador AL-1 a distância entre dispositivos IF apresentam seus maiores valores. Da mesma maneira, por meio da Figura 10, destaca-se o comportamento da distância aos dispositivos IF para o alimentador AL-2.

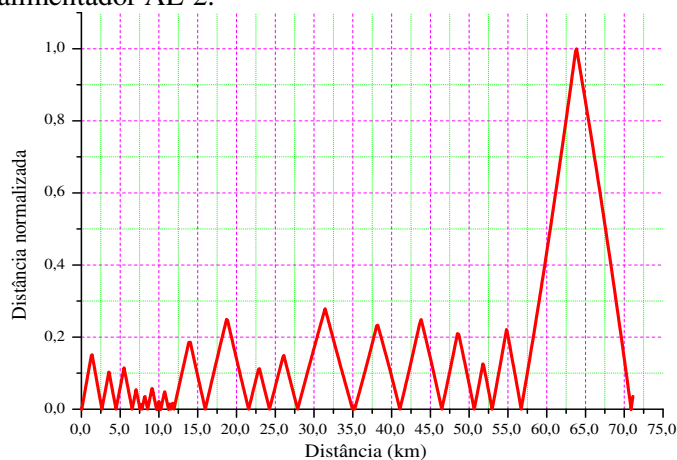


Figura 10. Distância normalizada até os dispositivos indicadores de falta ao longo do tronco principal do alimentador AL-2.

Diferente do que ocorre com o alimentador AL-1, no alimentador AL-2 se observa uma maior uniformidade das distâncias aos dispositivos IF, com exceção do entorno da distância de 63 km.

2.4. Sistema fuzzy para cálculo do potencial de instalação de dispositivos indicadores de falta

Por meio da análise realizada na seção anterior, torna-se possível extrair, conforme apresentado, as informações pertinentes para a quantificação da importância da instalação de indicadores de falta ao longo do tronco principal de um alimentador do sistema de distribuição de energia elétrica. Além de operar tendo como referência as informações fornecidas explicitamente pela respectiva base de dados da concessionária, desenvolveu-se algoritmos computacionais para se calcular parâmetros adicionais e

que contribuam para uma precisa especificação dos pontos de instalação de dispositivos indicadores de falta.

Dentre as informações calculadas para tal propósito destaca-se a distância que uma determinada barra encontra-se dos dispositivos de proteção adjacentes. Essa informação é de relevante importância quando se almeja inferir os possíveis pontos de instalação, tendo como meta a otimização dos índices de qualidade que refletem o tempo de restabelecimento do sistema após a ocorrência de uma falta no mesmo.

No entanto, não se atendo apenas a essa métrica, o sistema responsável pela estimação do potencial de instalação de IF deve ser sensível à carga, aos clientes e aos níveis de curto-circuito da rede à jusante do respectivo ponto potencial.

Dessa forma, formulou-se um sistema de inferência fuzzy [9] dedicado ao cálculo do potencial de instalação de dispositivos indicadores de falta que uma determinada barra ou trecho primário possui. Para tanto, consideraram-se como entradas os quatro parâmetros anteriormente listados, ou seja, a carga, os clientes, os níveis de curto-circuito e a distância até os dispositivos IF adjacentes ao ponto em questão, sendo que a saída do sistema fornece uma resposta entre 0 e 1 que representa o valor do potencial de instalação ao longo do tronco principal do alimentador. Quanto mais altos forem esses valores, maiores então serão as chances de determinados pontos receberem indicadores de falta. A Figura 11 ilustra esquematicamente o sistema fuzzy desenvolvido.

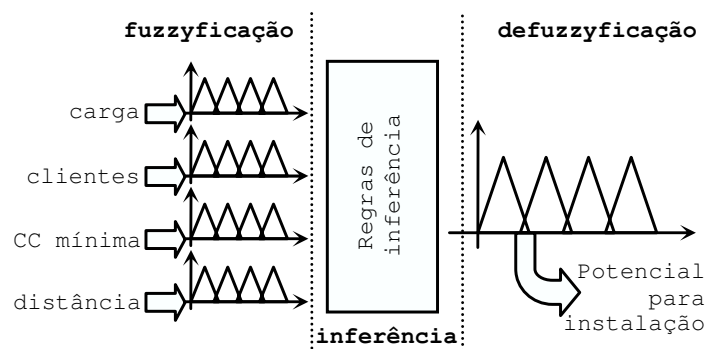


Figura 11. Diagrama esquemático do sistema fuzzy empregado para cálculo do potencial de instalação de dispositivos indicadores de falta.

O sistema de inferência fuzzy esquematicamente representado por meio da Figura 11 fora constituído por um total de 28 regras, possuindo nas entradas e na saída um conjunto de funções de pertinência constituídas de 5 termos. Cada uma dessas funções de pertinência possui formatos normalizados como aqueles apresentados na Figura 12.

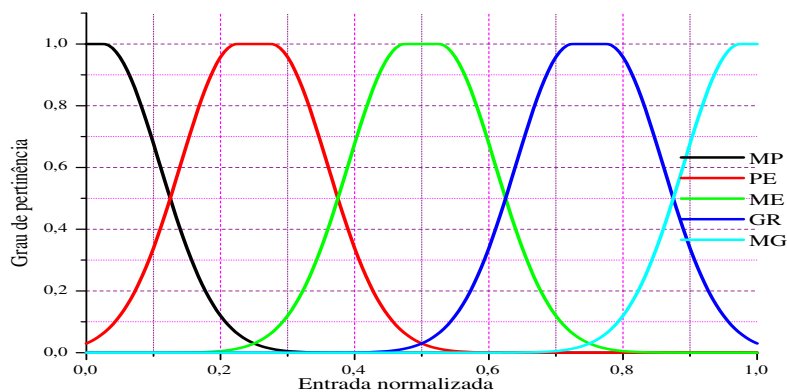


Figura 12. Ilustração de função de pertinência normalizada para o cálculo do potencial de instalação de dispositivos indicadores de falta.

2.5. Resultados Para o Cálculo do Potencial Para Instalação de Dispositivos Indicadores de Falta

Fazendo uso dos procedimentos apresentados nas duas seções anteriores, calculou-se então os potenciais pontos para instalação de dispositivos IF ao longo dos troncos principais dos alimentadores AL-1 e AL-2.

Assim, por meio da Figura 13, destaca-se como o potencial para instalação se comporta ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

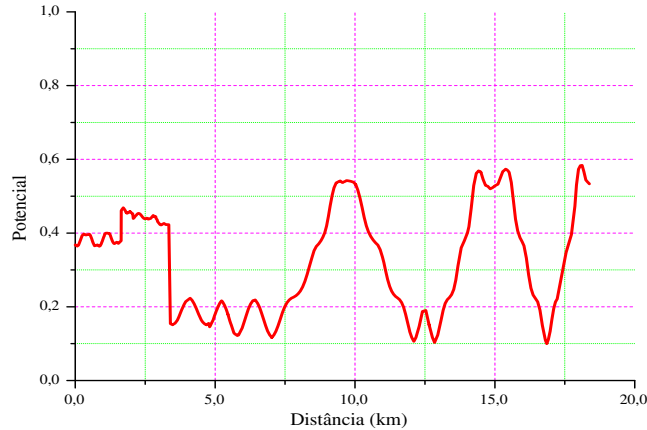


Figura 13. Potencial de instalação até os dispositivos indicadores de falta ao longo do tronco principal do alimentador AL-1.

O gráfico da Figura 13 fornece o potencial que os trechos constituintes do tronco principal possuem para instalação de dispositivos IF. É possível observar que, mesmo possuindo a maior carga à jusante, os principais pontos para a referida instalação não se encontram na região urbana do alimentador AL-1. Em função do maior espaçamento entre dispositivos IF se encontrar na região rural (Figura 9), tem-se que esses seriam inicialmente os principais pontos para instalação. Entretanto, os principais potenciais pontos de instalação estariam a uma distância aproximada entre 1,5 e 3,0 km da subestação no caso de se priorizar as cargas urbanas (Figura 4) ao invés das rurais.

Na Figura 14 destaca-se o potencial que os trechos do tronco principal do alimentador AL-2 possuem para instalação de dispositivos IF. Com exceção dos trechos finais no alimentador AL-2, o potencial para instalação dos dispositivos IF possui a tendência de se reduzir conforme aumenta a distância em relação à subestação. Essa observação é um indicativo que a atual rede de dispositivos IF existente no referido alimentador está coerente, necessitando apenas de uma avaliação nos seus trechos terminais.

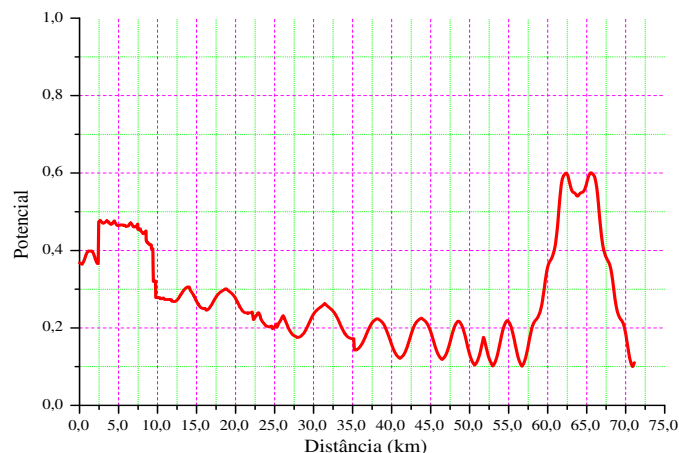


Figura 14. Potencial de instalação até os dispositivos indicadores de falta ao longo do tronco principal do alimentador AL-2.

Entretanto, no caso de se priorizar a carga e o número de clientes (Figura 7), os principais pontos de

instalação estariam a uma distância aproximada entre 3 e 8 km da subestação.

2.6. Conclusões

Ao longo desse artigo foram apresentados como determinadas variáveis pertinentes à quantificação do potencial para instalação de dispositivos indicadores de falta se comportam ao longo de trechos primários de sistemas de distribuição reais. Além disso, apresentou-se uma arquitetura de sistema inteligente usando inferência fuzzy para realizar essa quantificação a partir das variáveis abordadas. Além de se calcular o potencial para instalação de novos IF, os resultados destacados denotam também a potencialidade da ferramenta para avaliar a atual rede de dispositivos indicadores de falta instalados. Tal análise permitirá a apropriada realocação dos IF, possibilitando assim melhorar os tempos de restabelecimento em situações de falta em virtude da adequada indicação do equipamento, aumentando também a satisfação dos clientes com os serviços prestados pela Concessionária.

2.7. Referências bibliográficas

- 1 TANG, Y., WANG, H.F., AGGARWAL, R.K., JOHNS, A.T. Fault indicators in transmission and distribution systems, Proc. of Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Tech., pp. 238-243, 2000.
- 2 BAKER, G., STEINER, J.P., ROCKWELL, D. Performance of on-line fault distance monitor for distribution cable circuits. IEEE Transmission and Distribution Conf. and Exposition, vol. 2, pp. 979-981, 2001
- 3 FALAGHI, H., HAGHIFAM, M.R., TABRIZI, M. R. O. Fault indicators effects on distribution reliability indices. 18th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), pp. 1-4, 2005.
- 4 ZHANG, H.F., PAN, Z.C., SANG, Z.Z. Fault locating in ungrounded and compensated systems. Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection, vol. 2, pp. 469-472, 2004.
- 5 KRAJNAK, D.J. Faulted circuit indicators and system reliability. Rural Electric Power Conference, pp. A4/1-A4/4, 2000.
- 6 LEHTONEN, M., MATSINEN, A., ANTILA, Kuru, E.J. An advanced model for automatic fault management in distribution networks. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 3, pp. 1900-1904, 2000.
- 7 TANNLUND, P., BJORKMAN, G. An advanced distribution automation system experience from application development and project implementation. Proc. of Power System Technology, pp. 127-132, 2000.
- 8 CHOI, T., KOH, I.S., KIM, B.H., SONG, W.S., JANG, W.S. PC-based remote control and fault location system for distribution line. IEEE Power Engineering Society – Winter Meeting, vol. 2, pp. 1085-1090, 1999.
- 9 PEDRYCZ, W., GOMIDE, F. An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design. MIT Press, 1998.