

Implementação de Funções de Proteção de Linhas de Transmissão baseadas em Grandezas Incrementais utilizando AtpDraw

Sobreira O. Danillo* Araújo G. Cléia** Romão O. K. Polyana***
Almeida R. Aryfrance**** Junior F. S. Bartolomeu†

* Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí, PI
(e-mail: danillosobreira@hotmail.com).

** Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí,
PI (e-mail: cleiaeng.araujo@yahoo.com.br)

*** Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí,
PI (e-mail: polyanaromao@hotmail.com)

**** Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí,
PI (e-mail: aryfrance@ufpi.edu.br)

† Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Piauí, PI
(e-mail: bartolomeuf@ufpi.edu.br)

Abstract: This article presents an analysis of the directional and distance protection functions, based on incremental quantities, applied in the protection of transmission lines. These techniques have gained prominence in research and practical implementations, allowing time gain in fault elimination and enabling improvement in the stability margins of the electrical system. In evaluating the performance of these techniques, the software was used Alternative Transient Program(AtpDraw) to model the protection functions and the test system, where several simulations were performed in order to verify the response of these algorithms in the face of different scenarios. To complement the analysis, the algorithms were tested in two real fault.

Resumo: Apresenta-se nesse artigo uma análise sobre as funções de proteção direcional e de distância, baseadas em grandezas incrementais, aplicadas na proteção de linhas de transmissão. Essas técnicas têm ganhado destaque em pesquisas e implementações práticas, permitindo ganho de tempo na eliminação de faltas e possibilitando melhora nas margens de estabilidade do sistema elétrico. Na avaliação do desempenho dessas técnicas utilizou-se o software *Alternative Transient Program*(AtpDraw) para modelar as funções de proteção e o sistema de teste, onde foram realizadas diversas simulações, de modo a verificar a resposta desses algoritmos diante de diversos cenários. Para complementar a análise, os algoritmos foram testados em duas faltas reais.

Keywords: Protection; transmission line; incremental quantities; time domain; AtpDraw.

Palavras-chaves: Proteção; linha de transmissão; grandezas incrementais; domínio do tempo; AtpDraw.

1. INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão são equipamentos responsáveis por interligar todo o sistema elétrico brasileiro, permitindo o fluxo de potência entre as diversas regiões do país. Devido ao seu comprimento, tornam-se suscetíveis a faltas. No Brasil em 2019 o sistema interligado nacional (SIN) era composto por 141.756 km de linhas de transmissão, divididos em níveis de tensão que vão de 230 kV em corrente alternada a 800 kV em corrente contínua, esperando-se uma expansão de 41.000 km até 2024, ONS (2019).

O estudo realizado por Ribeiro (2019) demonstra que cerca de 90% dos curtos circuitos que ocorrem no Sistema Interligado Nacional(SIN), são em linhas de transmissão. Apesar das funções de proteção fatorias atenderem ao tempo máximo de extinção de defeito, definido pelo submódulo

2.6 dos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema, a eliminação mais rápida dessas faltas mostra-se benéfica.

A capacidade de escoamento do sistema de transmissão está relacionada diretamente a margem de estabilidade desse sistema, e a margem de estabilidade relaciona-se diretamente com o tempo crítico de extinção das faltas, com isso fica evidente que algoritmos de proteção com tempos de respostas menores, possibilitarão margens de estabilidade maiores. No estudo realizado por Eastvedt (1976) fica evidente essa observação, pois é demonstrado que cada 1ms antecipado na extinção do curto-circuito são incrementados 15MW de capacidade de transferência na linha.

Com o intuito de atender a essa necessidade, várias pesquisas foram desenvolvidas ao longo dos anos e diferentes

técnicas baseadas no domínio do tempo surgiram. As funções tradicionais baseadas em fasores possuem um atraso intrínseco proveniente da necessidade de janelamento de dados, para superar essa limitação os algoritmos baseados em grandezas incrementais utilizam dados instantâneos Schweitzer and Hou (1993).

Kasztenny et al. (2016) detalha funções de proteção fundamentadas em grandezas incrementais associadas a lógicas de teleproteção para garantir boa seletividade. Boveri (1978) implementa um algoritmo de proteção onde a diferença de polaridade entre correntes e tensões incrementais indica a direção da falta como direta ou reversa.

Vitins (1981) e Lanz et al. (1985) propuseram funções de proteção direcionais que utilizam trajetórias elípticas, formadas a partir das grandezas incrementais de tensão e corrente, para determinar a direção da falta. Para garantir mais segurança aos algoritmos foram definidas regiões de segurança. Lanz et al. (1985) utiliza a corrente de réplica incremental para promover maior precisão, pois ela estreita a trajetória elíptica traçada por essas grandezas. Dzienis et al. (2010) implementa uma função de distância que compara dados de pré-falta com grandezas incrementais de tensão e corrente para determinar o ponto de falta, vários testes realizados demonstraram que o decaimento exponencial da componente de corrente contínua atrasa o tempo de atuação dessa função e os componentes transitórios de alta frequência atrapalham o algoritmo na determinação do ponto de falta.

A proposta deste trabalho é implementar funções de proteção direcional e de distância utilizando como fundamentos as técnicas usadas em Guzmán et al. (2017), Schweitzer et al. (2015), Schweitzer et al. (2016) e Ribeiro and Lopes (2018). Essa implementação será realizada na linguagem models do *Alternative Transient Program* (AtpDraw), assim como todas as simulações realizadas para avaliar o desempenho dessas funções.

Esse trabalho divide-se nos seguintes tópicos: (seção 2) métodos de proteção de linhas de transmissão onde é demonstrado a modelagem do sistema de teste e todos os conceitos técnicos e formulações matemáticas necessárias para o desenvolvimento dos algoritmos, (seção 3) simulações e resultados onde é detalhada a avaliação dos resultados obtidos, (seção 4) são apresentadas as discussões e conclusões observadas.

2. MÉTODOS DE PROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

2.1 Descrição do Sistema

Na avaliação das funções de proteção implementadas, modelou-se uma linha de transmissão de 230kV, 60Hz da empresa CHESF, com 212km de comprimento que interliga as subestações TSD e PDD. Essa linha foi modelada com parâmetros distribuídos em 11 secções distintas que representam os pontos de faltas, foram estabelecidos 19 ângulos de incidência variando de 0º a 90º, com intervalo de 5º e 19 valores de resistência de faltas, variando de 1ohm a 90ohm . Além disso, para cada conjunto de variações citadas acima, é utilizado um valor de SIR (*source impedance ratio*) que vai de 0.1 até 1. Totalizando uma média de 1.600

casos de faltas monofásicas à terra, com as características descritas a cima. Na Figura 1 é representada a localização da linha de transmissão dentro do SIN.

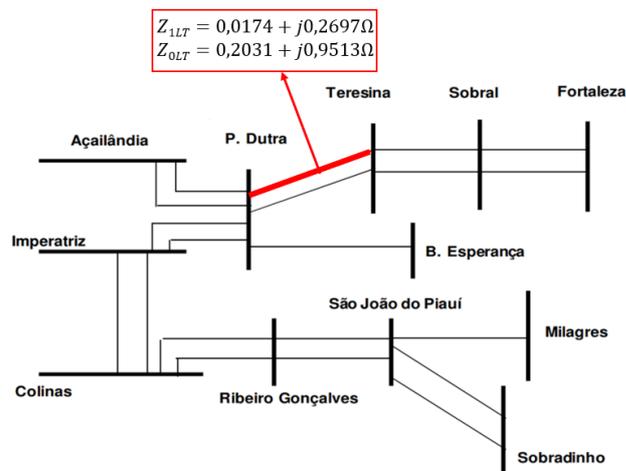


Figura 1. Sistema Elétrico Utilizado

Na Figura 2 apresenta-se a modelagem do sistema elétrico no software AtpDraw, onde são detalhadas as partes que compõe o sistema de proteção.

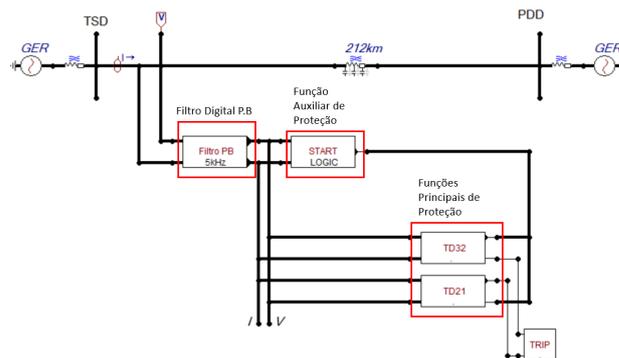


Figura 2. Modelagem do Sistema

2.2 Proteção Fasorial

A eliminação de uma falta passa por dois instantes de tempo, o primeiro é o tempo de operação do algoritmo de proteção, o segundo é o tempo de interrupção do disjuntor composto pelo tempo de abertura dos contatos primários do equipamento e pelo tempo de extinção do arco. Todo esse processo não deve ultrapassar os tempos estabelecidos nos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema ONS (2021).

A tecnologia predominantemente utilizada na proteção de linhas de transmissão é a fasorial. Mas para a correta determinação dos fasores os sinais de corrente e tensão devem ser senoidais puros, para isso são utilizados filtro analógico passa-baixa para eliminar as componentes de alta frequência e filtro digital passa-banda que busca a frequência fundamental do circuito, rejeitando a componente DC e harmônicas Schweitzer et al. (2015).

Na determinação de uma componente de frequência com boa precisão é necessário observa-la durante um ciclo,

implicando em um atraso intrínseco ao algoritmo, para superar essa limitação pode-se estimar fasores a partir de janelas com meio ciclo de dados, abrindo-se mão da precisão por mais velocidade. Com isso, esses estimadores fasoriais conseguem processamentos de até meio ciclo para faltas próximas ao terminal local da linha de transmissão, um ciclo para falta próximas ao meio da linha de transmissão e um ciclo e meio para faltas localizadas no ponto de alcance Schweitzer et al. (2015).

2.3 Grandezas Incrementais

Essa técnica tem como fundamento o princípio da superposição que se baseia na característica linear dos circuitos elétricos. Em um circuito contendo várias fontes independentes, a corrente ou tensão num ponto do circuito elétrico é igual a soma algébrica das correntes ou tensões nesse mesmo ponto produzidas por cada fonte independente operando de maneira isolada. Dessa maneira podemos representar um sistema sob falta utilizando duas fontes: uma que representa o circuito pré falta puro e outra que representa o circuito puro de falta. Isso permite trabalhar apenas com as informações de corrente e tensão oriundas da falta, possibilitando maior robustez em relação aos métodos tradicionais Schweitzer et al. (2015).

A implementação dessa técnica é realizada através do monitoramento instantâneo das grandezas elétricas, esses valores são salvos na memória do dispositivo por um intervalo de tempo definido, com isso os valores instantâneos atuais são subtraídos dos valores armazenados. Conforme a Equação 1:

$$\Delta S(t) = S(t) - S(t - \text{periodo}), \quad (1)$$

S é a grandeza amostrada, $S(t)$ valor instantâneo atual, $S(t - \text{período})$ valor instantâneo no período anterior.

Considerando um sistema em regime permanente ou com oscilações provenientes apenas das variações de carga o valor de $\Delta S(t)$ é pequeno quando comparado a magnitude do sinal original, porém numa falta as variações de tensão e corrente são bruscas produzindo um $\Delta S(t)$ grande, quando comparado a magnitude do sinal original. Como pode ser observado nas Figuras 3 e 4 respectivamente.

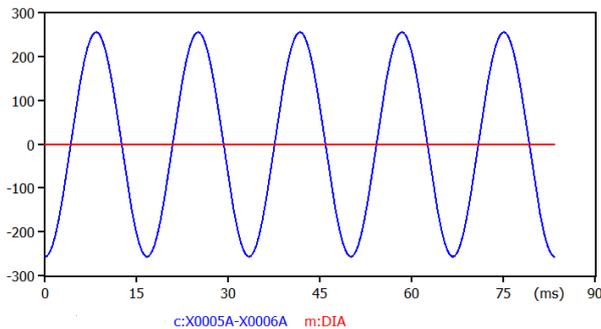


Figura 3. Sinais de Corrente e Grandeza Incremental em Regime Permanente

É necessário observar que para situações de falta, as grandezas incrementais devem ser consideradas apenas por um intervalo de tempo, correspondente ao período, visto

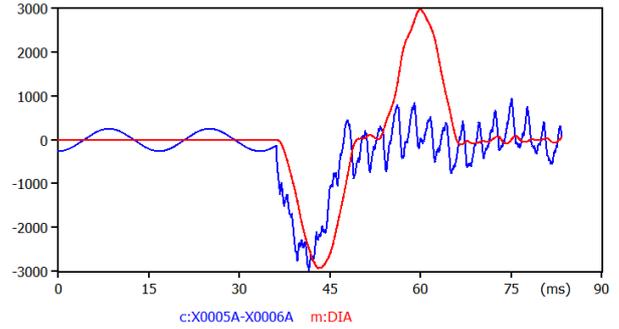


Figura 4. Sinais de Corrente e Grandeza Incremental com Falta

que após esse as amostras armazenadas na memória do dispositivo já serão as da própria falta no período anterior.

2.4 Corrente de Réplica Incremental

Na implementação das funções de proteção baseadas em grandezas incrementais é necessário o entendimento do conceito denominado corrente de réplica incremental, explicitado por Guzmán et al. (2017) e Schweitzer et al. (2015). Visto que esse conceito simplifica as relações entre tensões e correntes no circuito RL, esse cálculo compensa a defasagem angular natural desse tipo de circuito. Permitindo a análise deste como um circuito puramente resistivo.

Considere o sistema monofásico da Figura 5 que representa duas barras R e S interligadas por uma linha de transmissão.

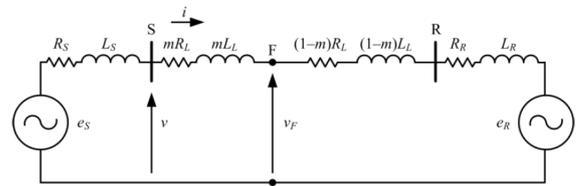


Figura 5. Sistema monofásico com falta em F. Schweitzer et al. (2015)

Considerando o circuito puro de falta, visto que apenas as grandezas incrementais de corrente e tensão são analisadas. Temos:

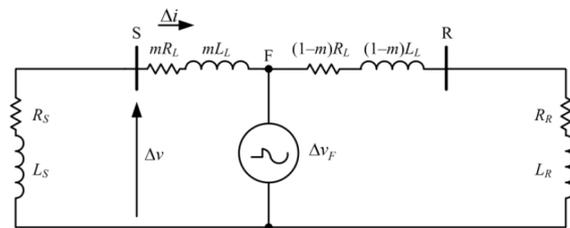


Figura 6. Sistema apenas com fontes incrementais. Schweitzer et al. (2015)

Com isso, a tensão no ponto de falta é:

$$\Delta v = -(R_s * \Delta i + L_s * \frac{d}{dt} \Delta i), \quad (2)$$

Dividindo todos os termos das Equações pelo módulo de Z_s temos:

$$\Delta v = -|Z_s| * \left(\frac{R_s}{|Z_s|} * \Delta i + \frac{L_s}{|Z_s|} * \frac{d}{dt} \Delta i \right), \quad (3)$$

Denomina-se então corrente de réplica incremental:

$$\Delta iz = \left(\frac{R_s}{|Z_s|} * \Delta i + \frac{L_s}{|Z_s|} * \frac{d}{dt} \Delta i \right), \quad (4)$$

Com isso podemos escrever o valor da tensão incremental no ponto de falta da seguinte maneira:

$$\Delta v = -|Z_s| * \Delta iz, \quad (5)$$

2.5 Elemento Direcional

Esse algoritmo de proteção baseia-se em alguns preceitos básicos, o primeiro compara a polaridade dos sinais da tensão incremental Δv com a corrente de réplica incremental Δiz , o segundo estabelece o cálculo de um torque operativo baseado no produto da tensão incremental Δv pelo quadrado da corrente de réplica incremental Δiz^2 Guzmán et al. (2017).

Para garantir maior confiabilidade a essa função são estabelecidos dois torques restritivos, que verificam as condições mínimas para faltas diretas e reversas, além disso, é necessário a implementação do esquema de teleproteção de sobrealcance POTT (*Permissive Overreaching Transfer Trip*) para garantir maior seletividade a esse algoritmo. Esse esquema condiciona a ordem de abertura do disjuntor a confirmação entre os dois relés situados nos terminais da linha de transmissão de que o curto-circuito é para frente.

A partir da análise da Equação 5 percebemos que Δv e Δiz possuem polaridades opostas para faltas a frente do ponto de medição dessas grandezas e a mesma polaridade para faltas com direção reversa. Na Figura 7 podemos observar esse comportamento.

O cálculo dos torques operativo e restritivos é dado segundo as equações abaixo:

$$T_{operativo} = \Delta v * \Delta iz^2, \quad (6)$$

$$T_{direto} = -Z_s * \Delta iz^2, \quad (7)$$

$$T_{reverso} = Z_L * \Delta iz^2, \quad (8)$$

Esses torques são calculados e logo após integrados, a partir de valores instantâneos e assim que a diferença entre o $T_{operativo}$ e os $T_{restritivos}$ ultrapassar limiares pré estabelecidos ocorre a confirmação da falta direta ou reversa Schweitzer et al. (2015). Na Figura 8 representa-se esses torques.

2.6 Elemento de Distância

Diferente do método dos fasores que calcula a impedância até o ponto de falta para determinar se essa ocorreu dentro da linha de transmissão. Essa função estima valores de tensão operativos e restritivos para localizar o ponto de falta. A Figura 9 demonstra o princípio dessa função

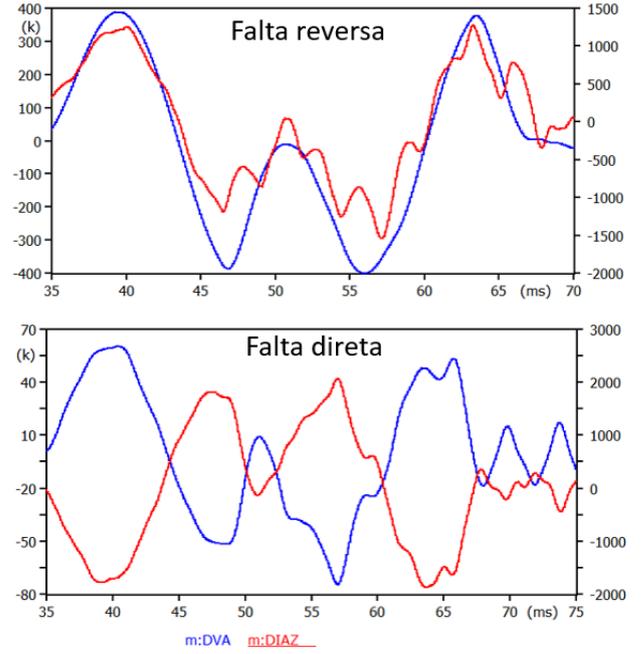


Figura 7. Polaridade dos sinais para falta reversa e direta

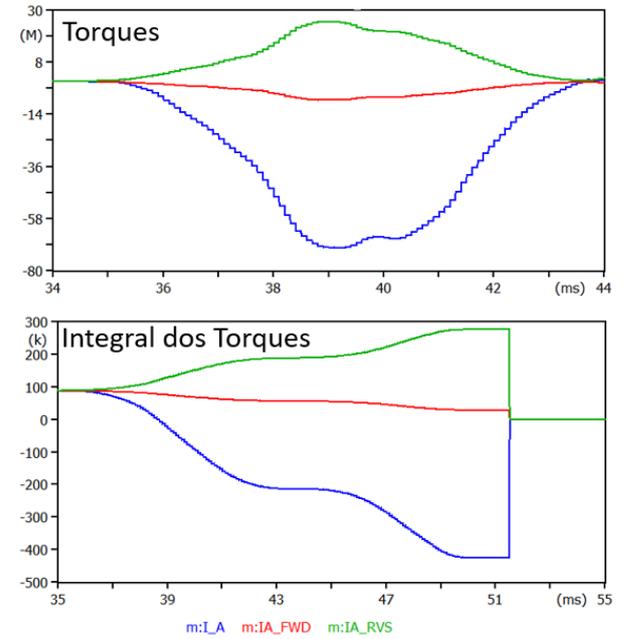


Figura 8. Torques operativo e restritivos

a partir da análise do circuito composto apenas pelas grandezas incrementais Schweitzer et al. (2015).

Estima-se a variação de tensão no ponto da falta como:

$$\Delta v_F = \Delta v - m * |Z_L| * \Delta iz, \quad (9)$$

Considerando a maior variação de tensão possível no ponto da falta, quando de uma falta sólida à terra, onde a tensão chegaria a zero. Tem-se que:

$$\Delta v_F = v_F - v_{Fpre-falta}, \quad (10)$$

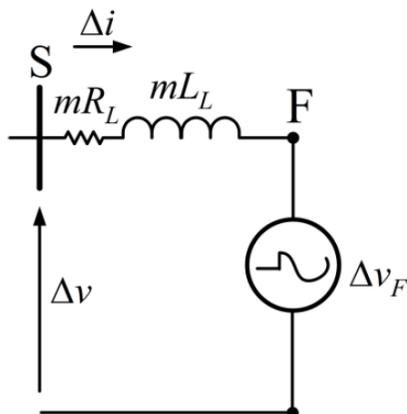


Figura 9. Sistema apenas com fontes incrementais. Adaptado de Schweitzer et al. (2015)

$v_F = 0$ para faltas sólidas, então:

$$\Delta v_F = -v_{Fpre-falta} \quad (11)$$

De acordo com Ribeiro (2019) pode-se definir que no ponto da falta, a máxima variação de tensão possível é o valor da própria tensão no período anterior a falta. Então quando o valor da variação de tensão nesse ponto, for maior que o valor da tensão no período anterior, tem-se o indicativo de que o curto-circuito ocorreu entre o terminal da linha de transmissão e o ponto estimado.

A partir desse entendimento são definidas as grandezas de operação (V_{op}) e de restrição (V_{rt}), como especificado nas fórmulas abaixo:

$$V_{op} = \Delta v - m * |Z_L| * \Delta iz, \quad (12)$$

$$V_{rt} = v_{pre}, \quad (13)$$

O algoritmo dessa função compara essas grandezas e realiza a integral da diferença entre a tensão de operação e a tensão de restrição, quando o valor integrado ultrapassar um limiar pré definido fica caracterizado um curto-circuito na zona protegida. Conforme Figura 10.

3. SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Logo após as simulações, foi analisado o desempenho de cada função de proteção implementada, considerando as variações das características do curto-circuito (ângulo de incidência, localização, resistência de falta e SIR). Na representação desses resultados são demonstrados os tempos de trip através do gráfico boxplot da biblioteca seaborn da linguagem de programação python, pois esse permite apresentar a distribuição desses dados em índices como: valor máximo, quartil superior, mediana, quartil inferior e valor mínimo.

Esses tempos representam apenas o tempo que o algoritmo leva para identificar a falta, não incluindo o tempo gasto na comunicação entre os relés por meio do sistema de teleproteção e o tempo da abertura de disjuntor.

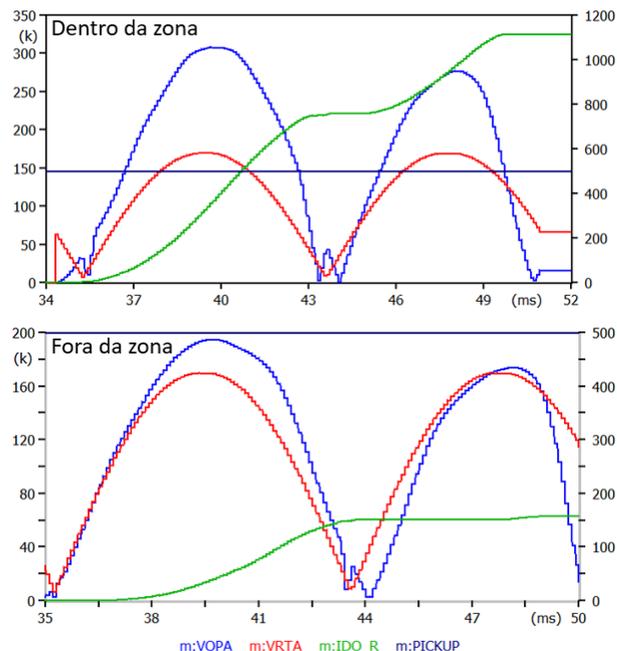


Figura 10. Tensões Operativas e Restritivas

3.1 Resultados da Função Direcional

Na Figura 11 demonstram-se os tempos de atuação, para os diferentes pontos de falta e variações angulares para cada valor de SIR definido. É possível verificar que os tempos de atuação estão em torno de 1ms e que a distância entre os valores máximo(2,1ms) e mínimo(0,3ms) é pequena mostrando uma boa estabilidade da função para as variações do SIR. Além disso, poucos valores discrepantes são verificados.

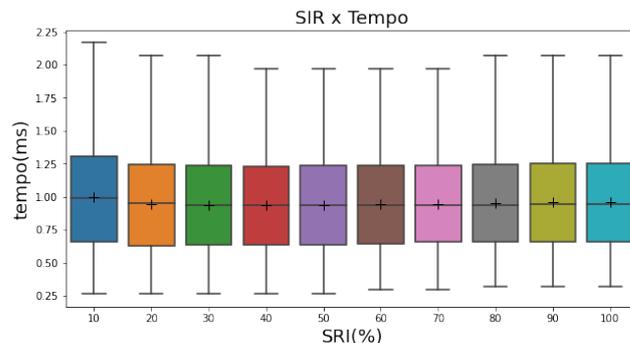


Figura 11. Influência do SIR

Na Figura 12 apresentam-se os resultados dos tempos de atuação para os vários pontos de falta ao longo da linha de transmissão, em cada ponto foram simuladas faltas variando-se os ângulos de incidência, resistência e diferentes valores de SIR. Nota-se um pequeno aumento no tempo de atuação da função de proteção direcional a medida que a falta se distancia do terminal local da linha de transmissão, isso ocorre, pois, esse distanciamento implica em maior impedância até o ponto do curto-circuito, gerando grandezas incrementais de tensão e corrente menores, impactando diretamente o cálculo do torque operativo apresentado na Equação 6.

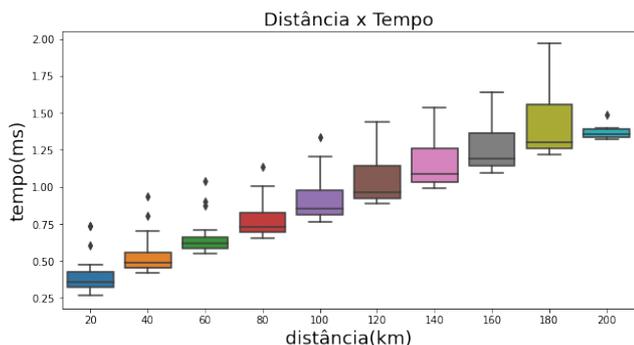


Figura 12. Influência da distância de falta

3.2 Resultados da Função de Distância

Realizada a mesma metodologia da função anterior é possível observar que a resposta da função de distância apresenta boa estabilidade mediante as variações do SIR mesmo apresentando maior dispersão, seu tempo médio de atuação fica em torno de 4ms, conforme Figura 13.

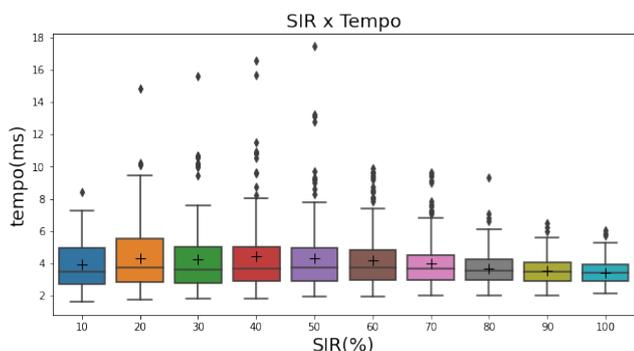


Figura 13. Influência do SIR

Quando se analisa a resposta da função de distância mediante a variação da posição de falta, é necessário entender que o ajuste da função não deve alcançar toda a extensão da linha de transmissão, sendo necessário estabelecer um percentual de alcance da mesma. Esse percentual é representado na Equação 12 e seu valor foi estabelecido em 70% para as simulações em questão, portanto essa função só atuará para posições de falta com distância de até 140km.

Verifica-se que o comportamento dessa função para variações da posição de falta é semelhante à função direcional, pois, observa-se um aumento no tempo de atuação a medida que o curto-circuito se distancia da fonte, Figura 14. Esse distanciamento aumenta a queda de tensão entre o ponto de falta e a fonte, além de diminuir a amplitude das grandezas incrementais, provenientes do curto, impactando diretamente no cálculo da tensão de operação.

A função de distância apresentou boa confiabilidade, pois se observa baixa dispersão entre os tempos de atuação. A seletividade dessa função funcionou de maneira correta, atuando em todos os casos onde a falta estava localizada antes do ponto de alcance.

Por fim demonstra-se o tempo de atuação de todas as 1.600 simulações realizadas, comparando-as na Figura 15.

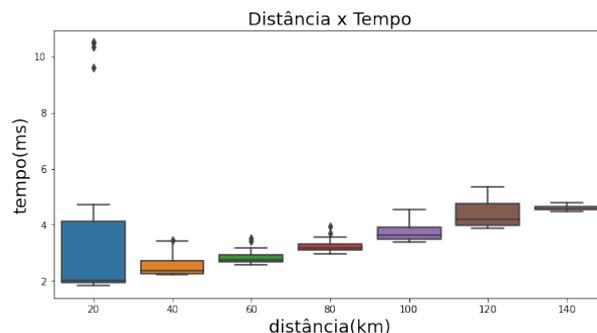


Figura 14. Influência da distância de falta

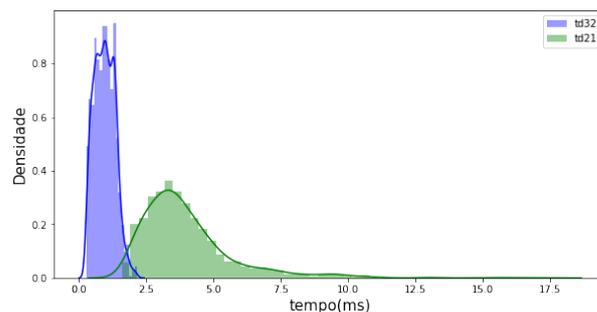


Figura 15. Influência da distância de falta

A análise, de todas as simulações, ratifica o que foi verificado nos gráficos anteriores, uma menor dispersão da função direcional em relação à função de distância e tempos médios de atuação de 1ms para a função direcional e 4ms para a função de distância.

3.3 Falhas Reais

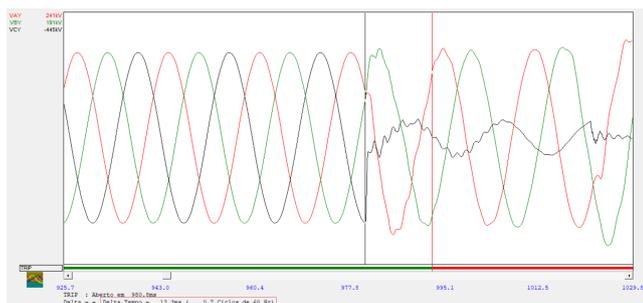
Os algoritmos de proteção baseados em grandezas incrementais foram testados em duas faltas reais ocorridas nessa linha de transmissão em 15 e 16 de setembro de 2021. Para isso, foram utilizados os dados oscilográficos coletados dos relés de proteção. A Figura 16 mostra os sinais de tensão e o instante de tempo em que a função de distância com tecnologia fasorial envia a ordem de abertura para o disjuntor.

Esses dispositivos utilizando essa tecnologia identificaram no dia 15 um curto-circuito monofásico, na fase C a 26km, ocasionado por descarga atmosférica e no dia 16 um curto-circuito monofásico, na fase B a 167km, ocasionado por queda de torre. Os dados dos curtos-circuitos foram importados para o Atpdraw adaptando o método utilizado em Lopes et al. (2020).

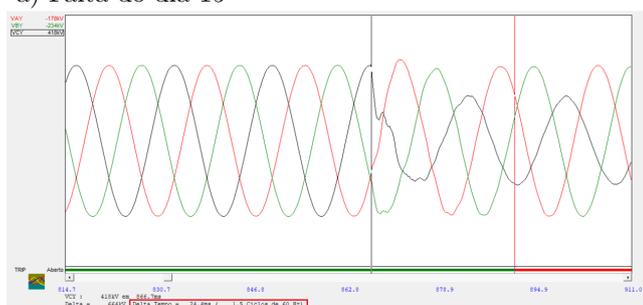
Na Figura 17 é representada a simulação dos sinais reais no AtpDraw, demonstra-se também o tempo de resposta das funções direcional e de distância baseadas em grandezas incrementais. A Tabela 1 apresenta os tempos de respostas dos algoritmos para cada situação.

Tabela 1. Tempos de respostas

Tecnologia	Falta dia 15	Falta dia 16
Distância Fasorial	12,3ms	24,4ms
Distância Domínio do Tempo	8,0ms	8,5ms
Direcional Domínio do Tempo	1,7ms	1,9ms

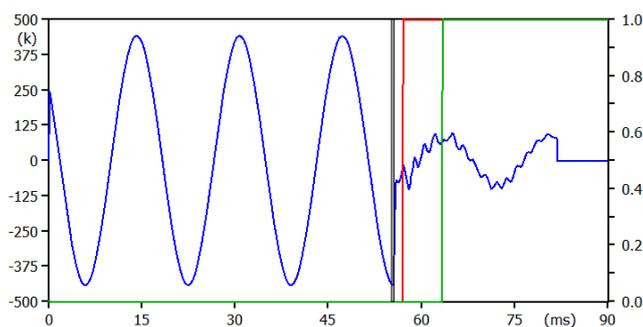


a) Falta do dia 15



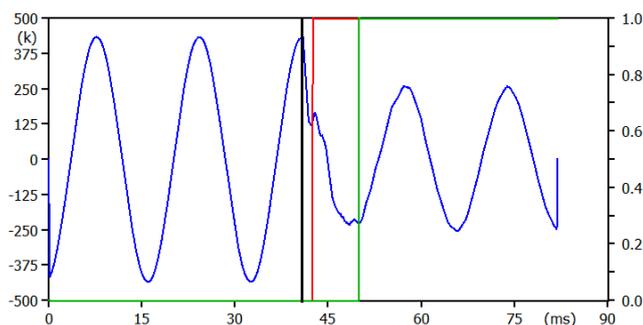
b) Falta do dia 16

Figura 16. Oscilografias das faltas reais



(file caso_real_150921.pl4; x-var t) t:X0002C m:TRIP32 m:TRIP21

a) Falta do dia 15



(file caso_real_160921.pl4; x-var t) t:X0002C m:TRIP32 m:TRIP21

b) Falta do dia 16

Figura 17. Oscilografias das simulações

4. CONCLUSÃO

Nesse trabalho apresentou-se a modelagem matemática e a implementação em linguagem models do AtpDraw das funções de proteção direcional e de distância baseadas em grandezas incrementais. As funções demonstraram ser rápidas e seletivas diante dos cenários verificados.

Os tempos de atuação para essas funções são bem menores, quando comparados com proteções fasoriais, com isso podemos concluir que a utilização dessas funções em aplicações reais implicaria positivamente na melhoria da margem de estabilidade dos sistemas de transmissão. Além de diminuir a degradação térmica e danos mecânicos aos equipamentos, reduzir os afundamentos de tensão e problemas com estabilidade transitória.

REFERÊNCIAS

- Boveri, A.B. (1978). Practical setting considerations for protective relays that use incremental quantities and traveling waves.
- Dzienis, C., Kereit, M., Blumschein, J., and Claus, M. (2010). An experimental analysis of high-speed-distance protection. In *2010 Modern Electric Power Systems*, 1–8. IEEE.
- Eastvedt, R.B. (1976). The need for ultra-fast fault clearing. In *Third Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA*.
- Guzmán, A., Mynam, M.V., Skendzic, V., Eternod, J.L., and Morales, R.M. (2017). Directional elements—how fast can they be?
- Kasztenny, B., Guzmán, A., Fischer, N., Mynam, M.V., and Taylor, D. (2016). Ultra high speed relay type ralda for ehv/uhv transmission line. In *43rd Annual Western Protective Relay Conference, Washington, USA*, 1–25.
- Lanz, O., Hanggli, M., Bacchini, G., and Engler, F. (1985). Transient signals and their processing in an ultra high-speed directional relay for ehv/uhv transmission line protection. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (6), 1463–1473.
- Lopes, F., Ribeiro, N., Cunha, G., Honorato, T., and Silva, K. (2020). Electrical noise simulation: A practical approach for atp/atpdraw studies. In *2020 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS)*, 1–6. IEEE.
- ONS, O.N.d.S. (2019). Par/pel executivo 2020-2024. In *Planejamento elétrico de longo prazo*.
- ONS, O.N.d.S. (2021). Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção. In *Submódulo 2.11*.
- Ribeiro, J.P.G. and Lopes, F.V. (2018). Time-domain protection elements: Study and implementation. In *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, 1–6. IEEE.
- Ribeiro, J.P.G. (2019). Estudo e avaliação das funções de proteção de linhas de transmissão aplicadas no domínio do tempo disponíveis no relé sel-t4001.
- Schweitzer, E.O., Kasztenny, B., Guzmán, A., Skendzic, V., and Mynam, M.V. (2015). Speed of line protection—can we break free of phasor limitations? In *2015 68th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, 448–461. IEEE.
- Schweitzer, E. and Hou, D. (1993). Filtering for protective relays. schweitzer engineering laboratories, pullman. Technical report, USA, Technical Report.
- Schweitzer, E., Kasztenny, B., Mynam, M., Guzmán, A., and Skendzic, V. (2016). New time-domain line protection principles and implementation. In *13th International Conference on Developments in Power System Protection*. sn.

Vitins, M. (1981). A fundamental concept for high speed relaying. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (1), 163–173.