

# A Proteção Direcional de Potência para Linhas de Transmissão associadas à Grandes Áreas

Aline F. N. da Costa , Vinicius C. Moro, Fabricio A. Mourinho, Mário Oleskovicz, Rui Bertho Junior

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
São Carlos, Brasil

**Resumo**—Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de uma metodologia para a proteção direcional de potência, utilizando dados provenientes de um Sistema de Medição Fasorial Sincronizado (SMFS). Como principal passo, o algoritmo verifica a variação de potência ativa nos barramentos monitorados do sistema de transmissão associado a uma grande área do sistema elétrico de potência e, de acordo com tal variação, associada ao estado dos dois extremos das linhas, detecta e aponta a localização de uma situação de falta. O modelo do sistema elétrico de potência em análise foi implementado computacionalmente a partir do RSCad, ambiente computacional e interface gráfica do RTDS® (*Real Time Digital Simulator*). Pelos resultados obtidos até o momento, a metodologia se mostrou uma alternativa atrativa para sistemas reais de grandes áreas.

**Palavras-chave**-- Sistema de Proteção de Grandes Áreas, Proteção Direcional de Potência, Sistema de Transmissão, Proteção de Retaguarda, Sistema de Medição Fasorial Sincronizada, Falta de Alta Impedância.

## I. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grande extensão territorial que possui um grande potencial de geração de energia elétrica. Essas características fazem com que seu sistema seja singular a nível mundial. Seu sistema de transmissão é formado pelas sub-regiões Norte, Centro-Oeste/ Sudeste, Nordeste e Sul, formando assim o conhecido Sistema Interligado Nacional (SIN) [1]. Ao levar em conta as dimensões físicas do sistema elétrico de potência brasileiro, podemos considerá-lo um sistema de grandes áreas. Neste contexto, o elemento que apresenta maior vulnerabilidade às ocorrências de curtos-circuitos são as linhas de transmissão. Portanto, para que esse sistema permaneça em condições esperadas e estáveis de operação, e para que seja protegido de eventos danosos, existe a necessidade de utilizar um sistema de proteção cada vez mais confiável e eficiente.

*Wide Area Protection System* (WAPS) são esquemas de proteção usados para proteger o sistema dos impactos de perturbações de grande porte, como as causadas por blecautes de grandes proporções [2]. Nesse âmbito, a utilização de um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS) é ideal para esquemas de proteção que não operem em velocidade

ultrarrápida, devido à característica lenta de processamento dos *Phasor Data Concentrator* (PDC) e alta latência na transmissão dos dados. Por este motivo, e dentro deste contexto, sugere-se o uso de medições fasoriais sincronizadas para proteção de retaguarda.

A função de proteção de distância é a filosofia de proteção comumente empregada em sistemas de proteção de grandes áreas, porém muito se tem abordado sobre a viabilidade de utilizar a função de proteção diferencial devido à sua simplicidade, sensibilidade e estabilidade para acusar faltas internas e/ou externas ao equipamento ou área a ser protegida. Nesse sentido, [3] e [4] propõem uma metodologia de proteção de retaguarda de um sistema elétrico de potência de grande área através de um SMFS. A metodologia apresentada consiste em utilizar os dados obtidos das *Phasor Measurement Units* (PMUs), e, fundamentado na filosofia de proteção diferencial, detectar a inversão do fluxo de potência, encontrando a linha faltosa. Tal metodologia foi apontada pelos autores como eficiente para a distinção entre faltas internas e externas das linhas de transmissão.

Em [5] é apresentado um método genérico para localização de faltas em redes de transmissão longas utilizando medidas de tensão provenientes das PMU, onde a corrente injetada no ponto de falta pode ser calculada usando a variação de tensão e a sua impedância de transferência em qualquer barra. Este método demonstra ser eficiente, visto que outros algoritmos desenvolvidos utilizando medidores comuns apresentavam restrições devido à resistência de falta.

De [6] a [10] as grandezas utilizadas para a detecção da falta são as potências ativa e reativa. Estes trabalhos propõem uma proteção diferencial de potência, com uma lógica muito semelhante à proteção diferencial convencional. Porém, apresentam uma redução da quantidade de dados necessários e do tempo de cálculo devido às simplificações alcançadas com a análise das potências das barras monitoradas.

Nesta pesquisa, o uso do SMFS é justificado como provedor de dados para uma proteção de retaguarda de linhas de transmissão de um SEP de grandes áreas. O objetivo é apresentar um algoritmo que detecte faltas entre duas barras de forma eficiente e confiável, considerando altas resistências de falta, uma vez que, geralmente, os esquemas de proteção convencionais não apresentam desempenho satisfatório em

tal condição. Adicionalmente, tal método deve respeitar o tempo de processamento e a latência da transmissão de dados decorrente do SMFS. O método consiste, basicamente, em registrar a variação da potência ativa injetada em todos os barramentos monitorados do sistema de transmissão e, de acordo com essa variação, detectar e apontar entre quais barras ocorreu uma situação de falta. Pelos resultados obtidos até o momento, a metodologia se mostrou eficiente na detecção e localização da falta de alta impedância em linhas de transmissão de sistemas elétricos de potência de grandes áreas.

## II. SISTEMA DE MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA

O SMFS é basicamente formado por PMUs sincronizadas via satélite por GPS (*Global Position System*), e conectadas a um PDC, que coleta e organiza os dados provenientes das PMUs. Este sistema de medição é capaz de fornecer dados de medição simultânea de fasores de grandezas elétricas, normalmente coletados em instalações distantes geograficamente entre si.

O GPS é um sistema de posicionamento, navegação e coordenação de tempo. Usando o GPS, as PMUs permitem às concessionárias de energia determinar os fasores de tensão e corrente do sistema com relação a uma referência fixa no tempo [11].

A PMU é um equipamento capaz de medir os fasores de tensão e corrente de forma sincronizada, os quais são obtidos através da amostragem das formas de onda de tensão e corrente ao mesmo tempo, utilizando um sinal de sincronismo provido pelo GPS. O processo de funcionamento da PMU é semelhante à de um relé digital, que consiste na aquisição e filtragem dos dados, seguida pela sincronização e digitalização do sinal e, por fim, a extração do fasor, através da Transformada Discreta de Fourier (TDF).

O PDC tem como função receber os sincrofasores coletados pelas PMUs e organizar esses dados a partir de etiquetas de tempo, armazenando e disponibilizando os mesmos de acordo com as aplicações.

Baseado nas restrições impostas pelo SMFS, devido à sua alta latência [12], e na tentativa de contribuir para melhorar a confiabilidade do sistema de proteção de grandes áreas, a proposta do presente trabalho é desenvolver uma metodologia de proteção de retaguarda para linhas de transmissão utilizando os sincrofasores obtidos através do SMFS conectados ao longo do sistema simulado.

## III. METODOLOGIA

A metodologia proposta nesta pesquisa é uma adaptação do esquema de proteção apresentado em [13], o qual aborda um sistema de proteção de linhas de transmissão em corrente contínua. Tal metodologia permite que as falhas internas e externas possam ser identificadas de forma eficaz utilizando somente a variação da magnitude da corrente em ambos os extremos da linha. Este esquema de proteção necessita apenas da comunicação do estado de um lado para o outro, e, por consequência, a velocidade da comunicação não precisa ser demasiadamente elevada.

Neste contexto, este trabalho utilizou a variação da potência ativa (grandeza que apresenta um comportamento similar ao da corrente contínua para um sistema de corrente alternada) como informação para a entrada do algoritmo de proteção. A filosofia básica do algoritmo consiste no fato de que a variação da potência ativa somente será positiva nos dois extremos de uma linha (adotando a convenção de que a potência é positiva ao sair de um barramento) caso haja uma falta nesta linha. A Fig. 1 apresenta os sentidos adotados como positivo para a potência ativa e pode ser utilizada para a explicação da metodologia.



Figura 1. Sentidos adotados para cálculo da potência ativa nas barras.

Inicialmente, pode ser considerado que a barra 1 fornece potência ativa para a barra 2. Em tal condição,  $P_{12}$  é positivo e  $P_{21}$ , portanto, negativo. Caso o valor de  $P_{12}$  aumente,  $P_{21}$  majoritariamente deve diminuir, ou seja, se um lado aumenta o intercâmbio de potência ativa, o outro necessariamente deve receber mais potência, subtraindo as perdas na transmissão. Tal afirmação só não será verdadeira, exclusivamente, no caso em que haja uma falta entre os barramentos 1 e 2.

Na situação de falta externa a essa linha, a variação será positiva para uma barra, e negativa para a outra, dependendo da configuração do sistema. Essa lógica da variação das potências é apresentada de forma genérica na Tabela I.

TABELA I. VARIAÇÃO DAS POTÊNCIAS NAS BARRAS GENÉRICAS 1 E 2.

| Situação de falta                          | Variação |          |
|--------------------------------------------|----------|----------|
|                                            | 1 para 2 | 2 para 1 |
| <b>Interna</b>                             | +        | +        |
| <b>Externa</b>                             | +/-      | -/+      |
| <b>Inexistente (com variação de carga)</b> | +/-      | -/+      |

Para um sistema em condições normais, com variação de carga, o resultado será semelhante ao caso de falta externa. No entanto, a diferença entre os dois casos, é que, na presença de uma falta externa, ao continuar o procedimento de verificação, o algoritmo encontrará uma linha faltosa.

Com base nas premissas apresentadas, a metodologia proposta neste trabalho pode ser resumida pelo fluxograma apresentado na Fig. 2. Após o fornecimento dos dados fasoriais de tensão e corrente, o algoritmo calcula as potências ativas trifásicas de cada barramento, através de (1). A potência atual é a potência calculada instantaneamente. A potência anterior é a potência calculada no instante com um segundo de atraso da potência atual. Para o cálculo da diferença entre as potências atual e anterior, é utilizada (2). O mesmo cálculo é realizado para os dois extremos da linha. E então, após esta sequência, é realizada a análise da variação da potência.

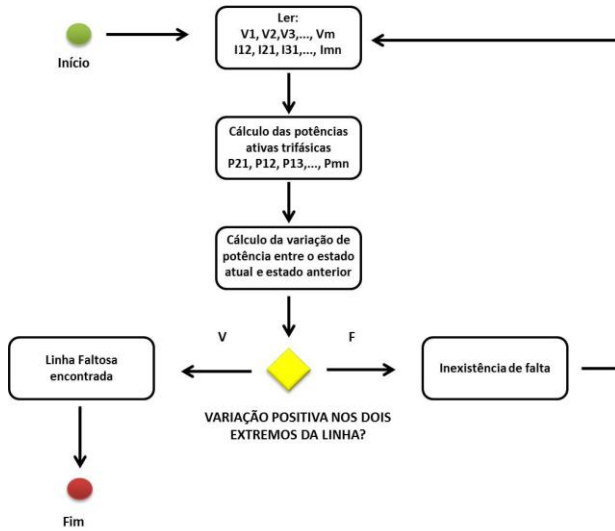


Figura 2. Fluxograma da metodologia desenvolvida.

$$P_{mn} = V_A I_{mnA} \cos(\theta_{VA} - \theta_{ImnA}) + V_B I_{mnB} * \cos(\theta_{VB} - \theta_{ImnB}) + V_C I_{mnC} \cos(\theta_{VC} - \theta_{ImnC}) \quad (1)$$

$$\Delta P_{mn} = P_{mnatual} - P_{mnanterior} \quad (2)$$

De acordo com a convenção apresentada (Tabela I), o algoritmo analisará as situações enfrentadas, e de acordo com a variação observada, enviará o sinal de *trip* (abertura), ou continuará no processo de observação do sistema em análise (situação de inexistência de falta).

O SEP monitorado, que será apresentado na próxima seção, foi modelado no RSCAD, interface gráfica do RTDS® (*Real Time Digital Simulator*). Este simulador é capaz de realizar testes em SEP em tempo real e em malha fechada, quando, por exemplo, da instalação de equipamentos de proteção e controle. Vale ressaltar que até o momento atual da pesquisa, não foram ainda realizados testes em malha fechada. Porém, para uma fase futura de teste/validação mais aprimorada da metodologia proposta, pretende-se dispor desta potencialidade.

Para as simulações, foram estipulados alguns limiares de atuação. Para que a metodologia reconheça uma situação de falta, além da variação positiva para os dois extremos da linha, estabeleceu-se que a mesma só atuaria quando a diferença positiva fosse maior que 5 MW. Este valor foi ajustado a partir de simulações. Cabe comentar que para a utilização desta metodologia em outros sistemas, seriam necessárias outras simulações para que se estabeleçam os limiares.

O tempo de atuação foi baseado na literatura correlata, como o observado em [14], a qual afirma que para um sistema de proteção com dados provenientes de um SMFS, espera-se que a resposta seja em até 200 ms.

#### IV. SISTEMA ELÉTRICO SIMULADO

Para verificar o desempenho operacional do algoritmo, simulou-se via o RTDS o SEP teste apresentado na Fig. 3. O SEP simulado é o sistema de transmissão de 12 barras do

IEEE [15]. O monitoramento dos fasores de tensão e corrente ocorrerá nas barras 2, 4, 5 e 6.

O sistema de transmissão simulado é constituído por sete linhas de transmissão (Tabela II), que tem seus comprimentos entre 100 e 600 km. Possui quatro geradores (Tabela III), doze barramentos, sendo dois de 345 kV, seis de 230 kV e quatro de 22 kV. Este sistema demonstrou ser adequado para os propósitos desta pesquisa, pois possui linhas que interligam longas distâncias, corroborando com o objetivo do trabalho, que visa proteger uma grande área via um SMFS.

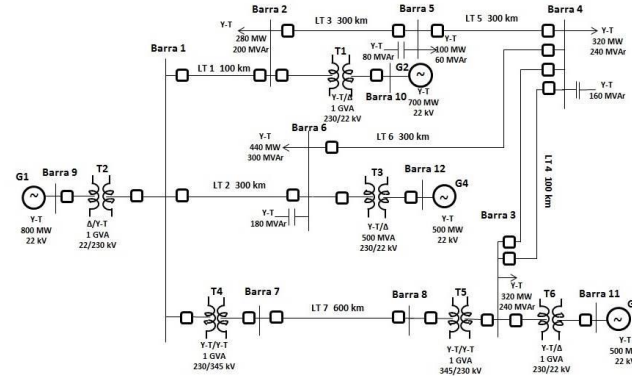


Figura 3. Sistema elétrico simulado.

TABELA II. DADOS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO.

| Linha            | LT1 | LT2 | LT3 | LT4 | LT5 | LT6 | LT7 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tensão (kV)      | 230 | 230 | 230 | 230 | 230 | 230 | 345 |
| Comprimento (km) | 100 | 300 | 300 | 100 | 300 | 300 | 600 |
| Barras           | 1-2 | 1-6 | 2-5 | 4-3 | 4-5 | 4-6 | 7-8 |

TABELA III. DADOS DOS GERADORES.

| Geradores | Potência nominal (MVA) | Tensão nominal (kV) |
|-----------|------------------------|---------------------|
| G1        | 800                    | 22                  |
| G2        | 700                    | 22                  |
| G3        | 500                    | 22                  |
| G4        | 500                    | 22                  |

Para que fossem representados os centros consumidores de energia, em algumas barras do sistema foram conectadas cargas do tipo *R-L*. Além disso, em algumas barras foram alocados bancos de capacitores para a correção do fator de potência, assim como a melhora no perfil da tensão do sistema. A Tabela IV ilustra os dados das cargas que foram conectadas ao sistema simulado.

TABELA IV. DADOS DAS CARGAS SIMULADAS.

| Barra                         | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tensão (kV)                   | 230 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| Carga ativa (MW)              | 280 | 320 | 320 | 100 | 440 |
| Carga reativa (Mvar)          | 200 | 240 | 240 | 60  | 300 |
| Compensação capacitiva (Mvar) | -   | -   | 160 | 80  | 360 |

#### V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a validação da metodologia nesta pesquisa, as simulações contemplaram todos os tipos possíveis de curtos-

circuitos: fase-terra, bifásico-terra, bifásico e trifásico. Conforme ilustra a Tabela V, as faltas foram simuladas nas linhas 3, 5 e 6 do SEP teste apresentado na Fig. 3. As situações foram simuladas em oito pontos ao longo das linhas (Tabela V), sendo o percentual da localização da falta aplicada definido em relação ao comprimento total da linha em análise. A referência para a distância considerada é a distância em relação à barra numerada com o menor valor, como, por exemplo, 25% da linha 2-5, correspondente a 75 km de distância da barra 2.

Sendo assim, para cada um dos 10 tipos de curtos-circuitos (A-T; B-T; C-T; AB; BC; CA; AB-T; BC-T; CA-T e ABC), foram consideradas 8 localizações para a falta (0; 5; 10; 25; 50; 75; 90 e 95%), 10 valores para as resistências de faltas (0,001; 5; 25; 50; 75; 100; 150; 200; 300 e 400  $\Omega$ ), e dois ângulos de incidência da falta (0 e 90°), perfazendo um total de 480 distintas situações para cada tipo de falta.

Vale ressaltar que como o foco principal desta pesquisa é validar a metodologia frente às faltas de alta impedância, foram considerados os valores até 400  $\Omega$ .

Como apresentado, o volume de simulações realizadas foi satisfatoriamente grande (4.800 situações). Por este motivo, serão apresentados, primeiramente, alguns casos em específico e, posteriormente, um levantamento estatístico das respostas obtidas pela aplicação da metodologia proposta sobre o banco total de dados formulado.

#### A. Um caso específico de alta impedância

Os primeiros casos apresentados serão para ilustrar o comportamento do algoritmo frente a uma falta de alta impedância (400  $\Omega$ ).

A falta foi aplicada na linha 3, entre as barras 2 e 5, à 150 km da barra 2, com ângulo de 0° e resistência da falta de 400  $\Omega$ . O tipo de falta considerada é uma falta monofásica.

As Fig. 4 e Fig. 5 ilustram a situação de falta interna considerada. Nas figuras, observam-se as potências calculadas através dos dados provenientes das PMUs alocadas nos barramentos 2 e 5.

O valor da potência P25 em condições normais tem o valor de 230,6 MW. Já a P52 é igual a -224,4 MW. Quando a falta ocorre, as potências assumem o valor de 253,3 MW, para P25, e -206 MW para P52. Utilizando a Equação (2), chega-se aos valores de  $\Delta P_{25} = 22,7$  MW e  $\Delta P_{52} = 18,4$  MW, confirmando assim, através das condições estabelecidas, que há uma falta interna a linha 3.

Utilizando os dados provenientes das PMUs alocadas nas barras 4 e 6 para monitorar a linha 6, sob a mesma falta aplicada ao caso anterior, tem-se a resposta do algoritmo frente a uma falta externa, como apresentado nas Fig. 6 e Fig. 7. Em condições normais, a potência P46 tem um valor de 19,47 MW, sendo P64 igual a -19,2 MW. Quando a falta ocorre, estes valores se alteram para -0,7488 MW para P46, e 15,52 MW. Desta forma,  $\Delta P_{46}$  será igual a -3,95 MW e  $\Delta P_{64}$  será 3,92 MW, indicando que não há uma falta na linha 6.

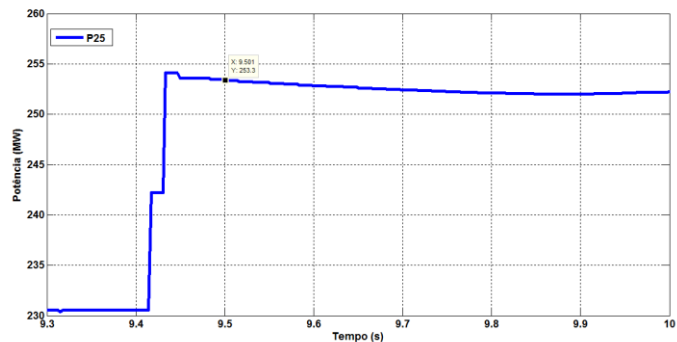


Figura 4. Potência ativa trifásica P25 para uma falta na LT3.

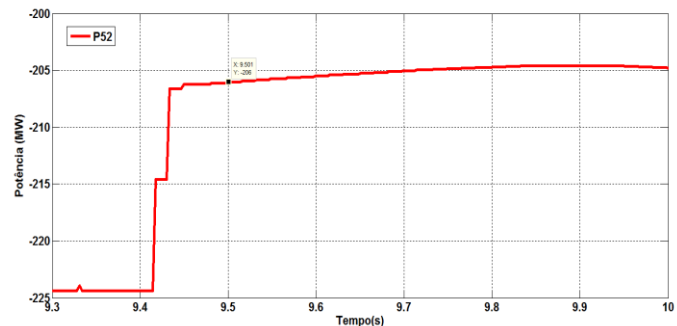


Figura 5. Potência ativa trifásica P25 para uma falta na LT3.

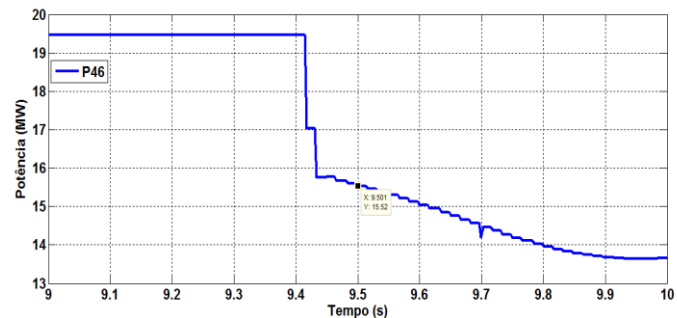


Figura 6. Potência ativa trifásica P46 para uma falta na LT3.

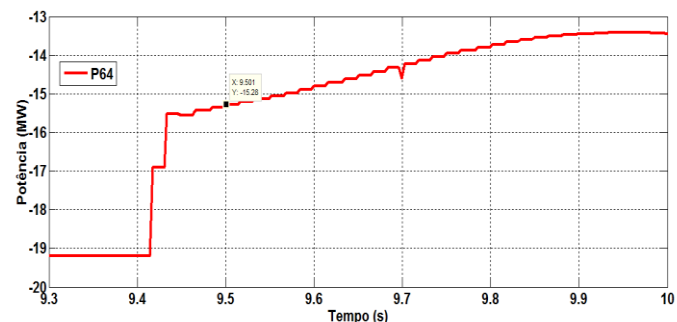


Figura 7. Potência ativa trifásica P64 para uma falta na LT3.

#### B. Sistema em condições normais com variação da carga

Para a simulação de um sistema em condições normais de operação com variação de carga, foi chaveada uma nova carga com potência ativa igual a 100 MW no barramento 4,

para observar o comportamento da metodologia proposta frente a esta situação.

Através das Fig. 8 e Fig. 9 é possível observar os valores de potência para a linha em condições normais, sem variação de carga. O valor da potência da barra 5 para a barra 4 é de 192,2 MW, e da barra 4 para a barra 5 é de -188,1 MW.

Quando a carga de 100 MW é chaveada, o valor da potência da barra 5 para a 4 aumenta para 222,5 MW, e da barra 4 para a barra 5 diminui para -216,9 MW. Mediante a este caso, o algoritmo verifica que houve uma variação positiva para P54, e negativa para P45, facilmente denotada pelos gráficos apresentados nas Fig. 8 e Fig. 9.

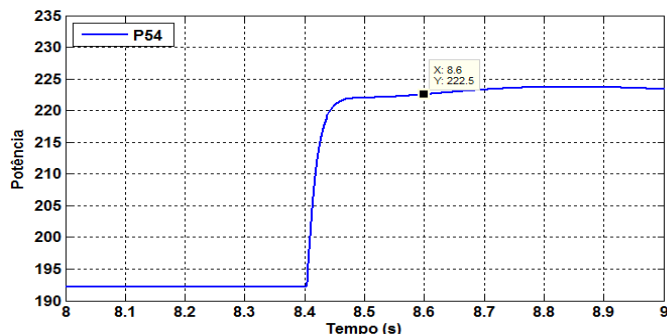


Figura 8. Potência ativa trifásica P54 para um sistema em condições normais e com variação de carga.

### C. Análise geral dos casos simulados

Para uma análise geral, pode-se apresentar o desempenho da metodologia frente à variável que apresentou mais sensibilidade, que, neste caso, foi a resistência de falta (Tabela V). Com um total de 480 faltas para cada valor de resistência de falta, podemos observar que, para resistências a partir de 25  $\Omega$ , a resposta da metodologia foi satisfatória. Porém, pela Tabela V, observa-se que a metodologia possui restrições quanto às faltas de baixa impedância. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que, no momento da falta, a corrente é muito alta, porém a tensão chega próxima de zero. Com isso, a potência vai à zero ou pra um valor próximo a zero, o que dificulta a detecção da situação enfrentada.

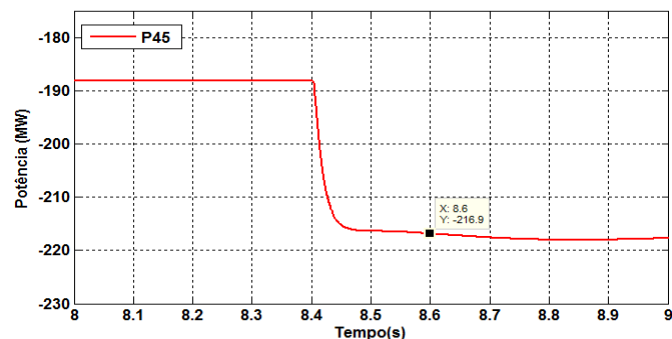


Figura 9. Potência ativa trifásica P45 para um sistema em condições normais e com variação de carga.

TABELA V. DESEMPENHO DA METODOLOGIA FRENTE ÀS VARIAÇÕES DE RESISTÊNCIA DE FALTA.

| Resistência de falta ( $\Omega$ ) | % de acerto |
|-----------------------------------|-------------|
| 0,001                             | 28,9        |
| 5                                 | 48,5        |
| 25                                | 100         |
| 50                                | 100         |
| 75                                | 100         |
| 100                               | 100         |
| 150                               | 100         |
| 200                               | 100         |
| 300                               | 100         |
| 400                               | 100         |

## VI. CONCLUSÕES

A pesquisa teve como objetivo apresentar o desenvolvimento de um algoritmo de proteção de retaguarda de linhas de transmissão utilizando medição fasorial sincronizada, procurando contribuir com a melhoria da confiabilidade de um sistema de proteção de grandes áreas.

A metodologia obteve um desempenho satisfatório nos testes até então realizados. O trabalho como desenvolvido, também permitiu uma análise do comportamento da potência trifásica durante as situações de faltas simuladas. A potência mostrou-se como uma variável interessante a ser mais estudada, dando bons indicativos da possibilidade de sua aplicação em sistemas reais de proteção.

A metodologia apresentada se mostrou de fácil implementação, devido ao fato de não exigir um canal de comunicação robusto entre os extremos das linhas de transmissão. O algoritmo alcançou resultados satisfatórios para os testes com alta impedância até então realizados, porém, ainda merece um melhor ajuste para cobrir faltas de baixa impedância.

## REFERÊNCIAS

- [1] ONS. Dados Relevantes - Operação do SIN. Site do ONS - Operador Nacional do Sistema, 2012. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/biblioteca\\_virtual/publicacoes\\_operacao\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/biblioteca_virtual/publicacoes_operacao_sin.aspx)>. Acesso em: 02 Setembro 2014.
- [2] Y. Hu, K. Vu, H. V. Meeteren, S. Varadan, B. Avramovic, D. Novosel, A. Phadke, V. Centeno, C. Araújo, "Projeto estal: utilização de fasores no sistema interligado nacional do ONS", Relatório 3, Aplicações das PMU e seus requisitos, 2007.
- [3] M. M. Eissa, M. E. Masoud, M. M. M. Elanwar, "A novel back up wide area protection technique for power transmission grids using phasor measurement unit". IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 1, 2010.
- [4] A. V. Menezes, "A proteção de retaguarda para linhas de transmissão utilizando medição fasorial sincronizada"; Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.
- [5] Q. Jiang, X. Li, B. Wang, H. Wang, "PMU-Based Fault Location Using Voltage Measurements in Large Transmission Networks". IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 27, no. 3, 2012.
- [6] F. Namdari, S. Jamali, P. A. Crossley, "Power differential protection as primary protection of transmission lines and busbars" 9<sup>th</sup> International Conference on Developments in Power System Protection, Mar. 2008.

- [7] H. A. Darwish, A.-M.Taalab, E. S. Ahmed, O. P. Malik, "Experimental evaluation for power differential Relay for transmission line protection", Power Systems Conference and Exposition, Seattle, Mar. 2009.
- [8] H. A. Darwish, A. M. Taalab, E. S. Ahmed, T. A. Kawady, "Dynamic Performance Simulink-based for the Power Differential Relay System", Eleventh International Middle East Power Systems Conference, El-Minia, Dec. 2006.
- [9] H. A. Darwish, A. M. Taalab, E. S. Ahmed, "Investigation of Power Differential Concept for Line Protection", IEEE Transactionson Power Delivery, vol. 20, No.2, Apr. 2005.
- [10] A. M. Taalab, H. A. Darwish, E. S. Ahmed, "Performance of Power Differential Relay with Adaptive Setting for Line Protection" IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, No. 1, Jan. 2007.
- [11] D. V. Coury, M. Oleskovicz, R.Giovanini, "Proteção digital de sistemas elétricos de potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessadores inteligentes, EDUSP, 2007, p.15.
- [12] A. L. L. "Wide Area Measurement & Control System in Mexico", 2005. In: A. V. Menezes, "A proteção de retaguarda para linhas de transmissão utilizando medição fasorial sincronizada"; Dissertação de Mestrado, USP, 2012, p.48.
- [13] G. Song; X. Cai; D. Li; S. Gao; & J. Suonan, "A novel pilot protection principle for VSC-HVDC cable lines based on fault component current". Power Engineering and Automation Conference, 1(c), 1–4. 2012.
- [14] R. Lira; C. Micock; D. Wilson; H. Kang, PMU Performance Requirements and Validation for Closed Loop Applications. 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies, Manchester, 05-07 Dezembro 2011. 1-7.
- [15]A. Q. Santos; R. M. Monaro; D. V. Coury; M. Oleskovicz, "Analysis of Load Shedding Parameters Through a New Scoring Metric System", IEEE Power and Energy Society General Meeting, Denver, Julho 2015.