

RELÉ PARA CONSISTENTE MULTIFUNCIONAL TESTADO EM AMBIENTE HARDWARE-IN-THE- LOOP (HIL)

Data de aceite: 02/01/2024

Viviane Barrozo da Silva

Professora do Departamento de
Engenharia Elétrica - Fundação
Universidade Federal de Rondônia.
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/9428968456380501>

Antonio Carlos Duarte Ricciotti

Professor do Departamento de
Engenharia Elétrica - Fundação
Universidade Federal de Rondônia.
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/9613876404612535>

Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira

Professor do Departamento de
Engenharia Elétrica - Fundação
Universidade Federal de Rondônia.
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/2255311473963948>

Fabrcio Moraes de Almeida

Professor do Departamento de
Engenharia Elétrica - Fundação
Universidade Federal de Rondônia.
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/5959143194142131>

em inversores que utiliza uma rede neural para consistente. Essa rede trabalha com graus de evidência favorável, desfavorável, sensibilidade e tempo. O RI inclui as funções de detecção de ilhamento, detecção de falta, reconhecimento do tipo de falta e bloqueio seletivo de falta. E o RI LPA4v multifunção proposto foi testado em ambiente hardware-in-the-loop (HIL). Portanto, os resultados mostram que o RI proposto é superior aos métodos tradicionais de reconhecimento de ilhamento em relação à confiabilidade, segurança e tempo de detecção.

PALAVRAS-CHAVE: Relé inteligente, Geração distribuída, Ilhamento, Rede neural para consistente, hardware-in-the-loop (HIL).

ABSTRACT: This article presents the protection relay (IR) with several functions for systems based on inverters that use a paraconsistent neural network. This network works with favorable, unfavorable degrees of evidence, sensitivity and time. The IR includes the functions of islanding detection, fault detection, fault type recognition and selective fault blocking. The proposed multifunctional APL4v IR was tested in a hardware-in-the-loop (HIL) environment. The results show that the proposed IR is

RESUMO: Este capítulo de livro apresenta o relé inteligente (RI) de proteção com múltiplas funções para sistemas baseados

superior to traditional island recognition methods in terms of reliability, security and detection time.

KEYWORDS: Intelligent relay, Distributed generation, Islanding, Paraconsistent neural network, Protection. hardware-in-the-loop (HIL).

1 | INTRODUÇÃO

O Setor Energético Brasileiro está sob intensa transformação, a oferta descentralizada e ambientalmente sustentável tem impulsionado a utilização de gerações de pequeno e médio porte (microgeração e minigeração) conectadas aos sistemas de distribuição chamadas de Gerações Distribuídas baseados em inversores (GDs). O uso das GDs é benéfico para as concessionárias de energia, proprietários de GDs e consumidores finais, pois melhora a confiabilidade, a qualidade da energia e é economicamente vantajoso. Entretanto, várias condições técnicas precisam ser analisadas em relação à inserção de GDs, de forma a identificar os impactos causados na rede elétrica. Uma dessas condições é o ilhamento que pode ser classificado em ilhamento intencional, quando a fonte de geração é desconectada da rede e o ilhamento não intencional, quando problemas de curto-circuito e falhas nos dispositivos são detectados na rede de distribuição.

O ilhamento não intencional deve ser detectado pelo sistema de proteção da GD, pois pode causar a deterioração da qualidade de energia, risco de vida para as equipes de manutenção, bem como problemas na proteção do sistema de distribuição ilhado. Por outro lado, a detecção indevida pode ter como consequência a instabilidade do sistema interligado em casos de forte dependência de GDs, diminuição da qualidade da energia, atenuação da qualidade do fornecimento, bem como a redução da confiabilidade do sistema de distribuição, além do incremento dos custos operacionais.

Para identificar o evento de ilhamento várias técnicas foram propostas na literatura para garantir que os sistemas operem sob os requisitos de segurança e qualidade.

As técnicas de proteção anti-ilhamento podem ser classificadas em função das suas características operativas, e podem ser classificadas em técnicas remotas e locais.

As técnicas remotas são mais confiáveis e eficientes na detecção de ilhamento do que as técnicas locais. Porém, as técnicas remotas são pouco utilizadas devido ao alto custo operacional e a necessidade de uma rede de comunicação sem falhas, e tem por princípio funcional a comunicação entre a concessionária, os dispositivos de proteção, os dispositivos de manobra da rede de distribuição e a GD [5].

As técnicas locais são divididas em três classes: passivas, ativas e híbridas [1],[2]. Dentre as técnicas ativas típicas, as que mais se destacam são: Active Frequency Drift (AFD), Sandia Frequency Shift (SFS), Slupe Mode Frequency Shift (SMS) e método de medição de impedância. Essas técnicas introduzem no sistema de distribuição uma instabilidade que é normalizada pela conexão com o sistema principal, ou provocam uma

perturbação que é absorvida pelo sistema interligado. A ocorrência do ilhamento, surge a partir da perda de conexão com o sistema interligado e os parâmetros das gerações distribuídas como tensão, frequência, impedância sofrem uma variação que é utilizada para a detecção do ilhamento. Essas técnicas apresentam deterioração da qualidade da energia elétrica e estão associadas aos geradores que utilizam inversores para a conexão com a rede elétrica, levando à falha de detecção de ilhamento [6].

As técnicas passivas têm como princípio a detecção de uma anomalia na amplitude, frequência e fase da tensão no ponto de acoplamento comum (PCC) entre o inversor e a rede de distribuição. Sendo assim, essas cessam a conversão de energia da GD quando ocorrem mudanças a partir das condições normais especificadas. As técnicas passivas têm um desempenho notável quando existe uma perceptível incompatibilidade entre a carga e a geração do sistema ilhado. No entanto, se essa incompatibilidade for pequena, a superioridade das técnicas passivas é reduzida [5].

E as técnicas híbridas reúnem baixas zonas de não detecção (ZND) dos métodos ativos e a não interferência na qualidade da energia elétrica dos métodos passivos. Geralmente, os métodos híbridos utilizam uma técnica passiva para realizar uma primeira avaliação do estado do sistema de distribuição. Quando uma anormalidade é detectada, um método ativo é empregado para forçar o sistema a uma condição que caracterize o ilhamento.

Como anteriormente mencionado, a detecção de faltas é outra parte importante da detecção de interconexão da DG. As normas operativas das DGs requerem a desconexão imediata no início de qualquer falta. Dentre os tipos faltas, as que envolvem curto-circuito são as mais notáveis, tendo como destaque a falta de curto-circuito monofásico linha-terra que corresponde a 70 % desse fato.

Portanto, este artigo propõe um relé inteligente (RI) com múltiplas funções para sistemas baseados em inversores, utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores, que permiti efetuar tratamentos de sinais inconsistentes, indeterminado ou indefinidos. A análise de sinais utilizando a LPA4v permite que vários problemas ocasionados por situações contraditórias, imprecisas ou indefinidas possam ser tratados de maneira a detectar a falta ou a falha mais próxima de sua realidade, além de analisar o comportamento dos especialistas no decorrer do tempo. Este método deu origem ao algoritmo denominado “Para- Especialista” implementado no RI.

Este capítulo de livro está dividido nas seguintes seções: A seção 2 apresenta o desenvolvimento e a implementação do relé inteligente multifunção; A seção 3 mostra a simulação em tempo real e análise dos resultados; A seção 4 apresenta as conclusões obtidas do RI.

2 I METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO E A IMPLEMENTAÇÃO DO RELÉ INTELIGENTE MULTIFUNÇÃO

2.1 A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA)

O RI – LPA4v tem como princípio de funcionamento uma lógica não clássica chamada de Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). Que trata contradições, indefinições e imprecisões de dados ou sinais, oriundos de uma mesma fonte ou de fontes diferentes, solucionando essas inconsistências. Pois, para cada proposição, que são as sentenças simbólicas que definem algo como verdadeiro ou falso, são associados dois graus, o grau de evidência favorável (μ) e o grau de evidência desfavorável (λ). A análise dos graus produz uma saída denominada estado lógico resultante.

2.1.1 Algoritmos da LPA4v lógica

Os algoritmos da Lógica Paraconsistente de 4 Valores estão fundamentados nos Nós de Análise Paraconsistente (NAP). Esses quando interligados compõem a rede neural paraconsistente de análise de tomada de decisão.

Os NAP's são algoritmos extraídos da Lógica Paraconsistente e formam as redes de análise paraconsistente, constituindo o tratamento do evento de ilhamento. Com as suas entradas sendo alimentadas pelos Graus de Evidências retirados de base de dados de conhecimento incerto, os NAP utilizam as equações obtidas da metodologia da LPA e obtêm os resultados finais na forma de Graus de Certeza Real (). Esses valores de podem ser normalizados transformando-se em Grau de Evidência resultante.

A normalização de valores de graus de evidência favorável e desfavorável nos algoritmos da LPA produz na saída do NAP um grau de evidência resultante e um valor de Intervalo de Evidência, ambos pertencentes ao conjunto dos números reais. A representação simbólica de um NAP é exibida na Figura 1.

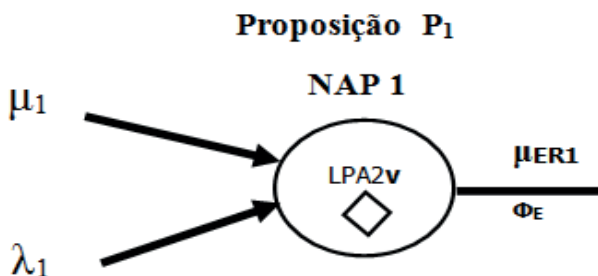


FIGURA 1.0 - Representação de um NAP – Nó de Análises Paraconsistente.

No NAP o valor do Grau de Evidência de Saída representa o valor da evidência resultante a respeito da Proposição Analisada, e o Intervalo de Evidência informa o quanto o valor do sinal de evidência obtido pode variar, com o mesmo Grau de contradição

apresentado pelas informações de evidência aplicadas nas entradas [10][11].

A finalidade do algoritmo do NAP é analisar os valores dos graus de *evidência favorável* e de *evidência desfavorável* conforme a Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores (LPA2v).

O Algoritmo básico de um NAP descrito a seguir:

1. Entre com os valores de Entrada

$$\begin{aligned} \mu_{\text{Graudevidênciafavorável}} & [0,1] \\ \lambda_{\text{Graudevidênciadesfavorável}} & [0,1] \end{aligned}$$

2. Calcule o Grau de Contradição normalizado

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

3. Calcule o Intervalo de Evidência resultante

$$\varphi_E = 1 - |2\mu_{ctr} - 1|$$

4. Determine o sinal da Saída

Se $\varphi_E \leq 0,25$ então faça: $S1 = 0,5$ e $S2 = \varphi_{E(\pm)}$ e vá para o item 12

Senão vá para o próximo item

5. Calcule o Grau de Certeza

$$G_c = \mu - \lambda$$

6. Calcule o Grau de Contradição

$$G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$$

7. Calcule a distância D

$$D = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2}$$

8. Determine o Grau de Certeza real

Se $G_c > 0$ então faça: $G_{CR} = (1 - D)$

Se $G_c < 0$ então faça: $G_{CR} = (D - 1)$

9. Calcule o Grau de Evidência resultante real

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

10. Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante

Se $\mu_{ctr} < 0,5$ então faça: $\varphi = \varphi_E \#$ Sinalize negativo

Se $\mu_{ctr} > 0,5$ então faça: $\varphi = \varphi_E \#$ Sinalize positivo

Se $\mu_{ctr} = 0,5$ então faça: $\varphi = \varphi_{E(0)} \#$ Sinalize zero

11. Apresente os resultados na saída

Faça: $S1 = \mu_{ER}$ e $S2 = \varphi_{E(\pm)}$

12. Fim

Se o sistema perceber um alto grau de informações contraditórias ou inconsistentes poderá solicitar mais informações através de seus especialistas que vão analisar as evidências através dos graus de especialidades (e), o grau de especialidade máximo ($e_{máx}=1$) e o grau de especialidade mínimo ($e_{mín}=0$ conhecido como neófito). Os especialistas tem o papel de tomada de decisão de forma coerente com o mínimo de indecisão ou desconhecimento de causa.

O grau de especialidade mínimo ($e_{mín}$) neófito devido sua inexperiência, adquirir a experiência à medida que a variável tempo (t) transcorre. Desta forma, sua especialidade aumenta para assim, definir dois estados lógicos Verdadeiro ou Falso. Essa análise pode ser feita para qualquer nível de especialidade. A quarta dimensão “tempo” permiti visualizar o comportamento dos especialistas nas tomadas de decisão do sistema tornando o extremamente sensível. Portanto, a Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores é representada pela quádrupla (μ, λ, e, t) .

Através do processo de treinamento, conforme a configuração do alimentador de distribuição, os eventos de ilhamento e de falta são simulados em tempo real. Durante as simulações, as medições de tensão e corrente no ponto de acoplamento comum (PCC) da DG são capturados e armazenados para serem analisados pelo sistema chamado de Nó de Análise Paraconsistente (NAP). Com base nos dados obtidos, os recursos possuem padrões ou características de variação que durante as condições de ilhamento e falta são calculadas, como por exemplo a frequência, taxa de mudança de frequência, potências ativa e reativa. Após os dados serem processados a lógica proposta é utilizada para encontrar as melhores características com altos índices de confiança e segurança que serão incorporadas no relé inteligente (RI).

2.2 A Extração das Características

As principais características selecionadas no PCC da DG são utilizadas para formar os modelos de tomada de decisão conforme a Tabela 1.0, onde pode-se notar vinte e sete parâmetros associados a grandezas medidas e/ou calculadas, as quais são utilizadas pelo algoritmo extrator a fim de serem utilizadas pela rede de neural paraconsistente.

Parâmetro	Variável	Descrição	Dimensão
X_1	F	Frequência	Hz
X_2	ΔF	Desvio de frequência	Hz
X_3	dF/dt	ROCOF	Hz/s
X_4	V	Tensão	pu
X_5	ΔV	Desvio de tensão	pu
X_6	dV/dt	ROCOV	pu/s
X_7	I	Corrente	pu
X_8	ΔI	Desvio de corrente	pu
X_9	dI/dt	Taxa de mudança da corrente	pu/s
X_{10}	P	Potência ativa de saída	pu
X_{11}	ΔP	Desvio da potência ativa de saída	pu
X_{12}	dP/dt	Taxa de mudança da potência ativa de saída	pu/s
X_{13}	Q	Potência reativa de saída	pu
X_{14}	ΔQ	Desvio da potência reativa de saída	pu
X_{15}	dQ/dt	Taxa de mudança da potência reativa de saída	pu/s
X_{16}	$\cos\phi$	Fator de potência	
X_{17}	$\Delta\cos\phi$	Desvio do fator de potência	
X_{18}	$d\cos\phi/dt$	Taxa de mudança de fator de potência	
X_{19}	φ	Ângulo de fase	rad.
X_{20}	$\Delta\varphi$	Desvio do ângulo de fase	rad.
X_{21}	$d\varphi/dt$	Taxa de mudança do ângulo de fase	rad./s
X_{22}	V_{THD}	Distorção total harmônica da tensão	
X_{23}	ΔV_{THD}	Desvio da distorção total harmônica da tensão	
X_{24}	$d V_{THD}/dt$	Taxa de mudança da distorção harmônica total da tensão	
X_{25}	I_{THD}	Distorção total harmônica da corrente	
X_{26}	ΔI_{THD}	Desvio da distorção total harmônica da corrente	
X_{27}	$d I_{THD}/dt$	Taxa de mudança da distorção harmônica total da corrente	

TABELA 1.0 – Parâmetros de entrada do extrator de características.

2.3 A Função de Detecção de Ilhamento

Na função de detecção de ilhamento, a lógica do relé é treinada a partir de inúmeros cenários de carregamento do sistema, a fim de cobrir diferentes condições do sistema e minimizar sua zona de não detecção pela escolha das melhores características. Os eventos de abertura dos disjuntores e faltas também podem ser reconhecidos pela função de ilhamento. Além disso, a função de detecção de ilhamento também pode evitar o desarme indevido, já que todos os eventos possíveis que não sejam de ilhamento, como redução de carga, aumento de carga, o chaveamento de capacitores, fazem parte dos cenários de treinamento. Portanto, a lógica de detecção de ilhamento é construída com informações

suficientes para distinguir as condições de ilhamento e não ilhamento.

2.4 A Função Detecção de Falhas e Funções de Reconhecimento do Tipo de Falta

Esta função detecta todos os tipos de faltas simétricas e assimétricas dentro de suas zonas de proteção empregando diferentes combinações de recursos/parâmetros da DG. Através da Rede de Análise Paraconsistente (NAP) que fornece a informação segura sobre quais as proposições com maior ou menor grau de contradição. Com essas informações o sistema tem condições de tomar decisões mais confiáveis, além de ter os valores para atuar no controle dos sinais de entrada, enfraquecendo ou fortalecendo evidências para diminuir as contradições para produzir um sistema de decisão robusto e capaz de trazer resultado com alto grau de confiabilidade.

Essa função é capaz de identificar quatro tipos de faltas: falta linha-terra (LG), falta linha-linha (LL), falta trifásica de fase (LLL) e falta linha a terra linha a terra (LLG). Além disso, para faltas à terra, as faltas de impedâncias variáveis são consideradas no período de treinamento do relé proposto para melhorar a adaptabilidade da função de detecção de faltas.

2.5 A Função de bloqueio seletivo de FRT

A função de bloqueio seletivo de falta proposta é obtida por meio da análise da NAP, usando as informações obtidas pelas funções de detecção de ilhamento, faltas e reconhecimento do tipo de falta se dará o bloqueio.

A Figura 2.0 mostra o diagrama funcional do RI – LPA4v proposto. Indicando para eventos de ilhamento, faltas, bloqueio e identificador de faltas. A lógica de falha é supervisionada pela lógica de bloqueio seletivo através de uma lógica E.

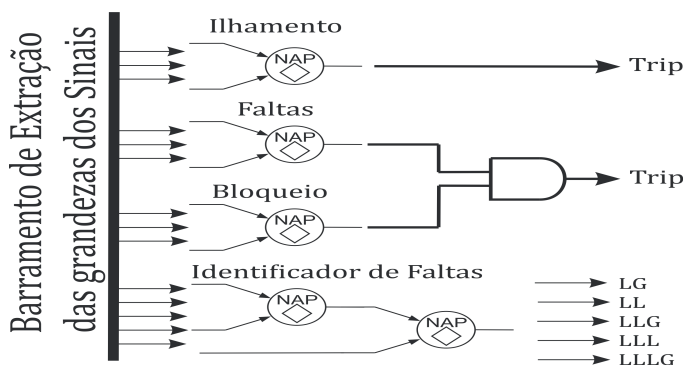


FIGURA 2.0 - Representação de um NAP – Nó de Análises Paraconsistente.

3 I SIMULAÇÃO EM TEMPO REAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de avaliar o desempenho RI-LPA4v foram simuladas em tempo real no equipamento Typhoon-HIL a rede de teste do IEEE 34 barras com duas situações de ilhamento, através da abertura da linha que interliga as barras 800 e 802 (Ilhamento 1) e a linha entre 830 e 854. (Ilhamento 2) conforme mostra a Figura 3, onde cada uma das GD's possuía um RI-LPA4v. Foram consideradas duas condições de carga, 100% e 50%. Na primeira a carga do sistema é igual à carga do sistema teste original IEEE 34 barras, na segunda a carga é reduzida em 50%.

Os testes também compreenderam dois níveis de penetração da geração distribuída: 2,5 MW e 1,0 MW, resultando assim em oito situações diferentes. Dessas oito simulações foram incorporadas as faltas nas barras 802, 830, 852 e 842 e também foram consideradas duas impedâncias de falta, de 0Ω e 60Ω , duas condições de carga, 50% e 100% e no dois níveis de penetração da geração distribuída. Sendo um total de 2160 casos simulados dos quais 50 % foram utilizados para o treinamento da rede neural paraconsistente e os 50% restantes foram utilizados para o reconhecimento dos padrões de ilhamento, faltas, tipos de faltas e bloqueio seletivo.

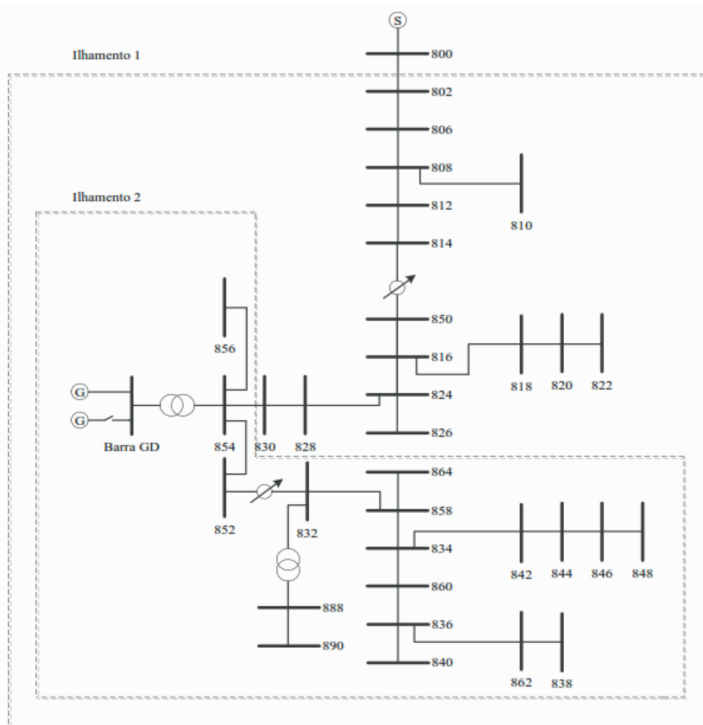


FIGURA 3.0 - Ilhamentos testados no sistema teste IEEE 34 barras [6].

Na Figura 4.0 pode-se notar que o ambiente de simulação em tempo real é realizado

no equipamento Typhoon-HIL, o qual serve de acoplamento para o controle real do Relé Inteligente utilizado no sistema teste IEEE 34 barras.

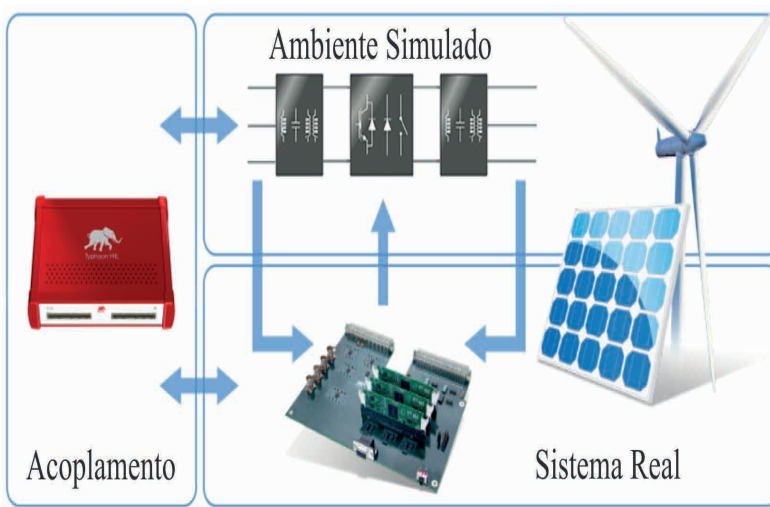


FIGURA 4.0 - Diagrama de funcionamento do sistema em tempo real.

Diante disso, as formas de onda apresentadas na Figura 5.0 caracterizam duas situações. A primeira situação, representada pelas Figuras 5a e 5b, demonstram a frequência e a tensão de linha da fase “a” quando a barra 802 é aberta, respectivamente. Esses sinais foram extraídos da barra DG, que por sua vez, demonstra a capacidade de penetração do RI-LPA4v. A segunda situação, exibida pelas Figuras 5c e 5d, demonstram a frequência e a tensão de linha da fase “a” Quando ocorre um curto-circuito monofásico LG na barra 802, onde é possível ver a capacidade de penetração do RI.

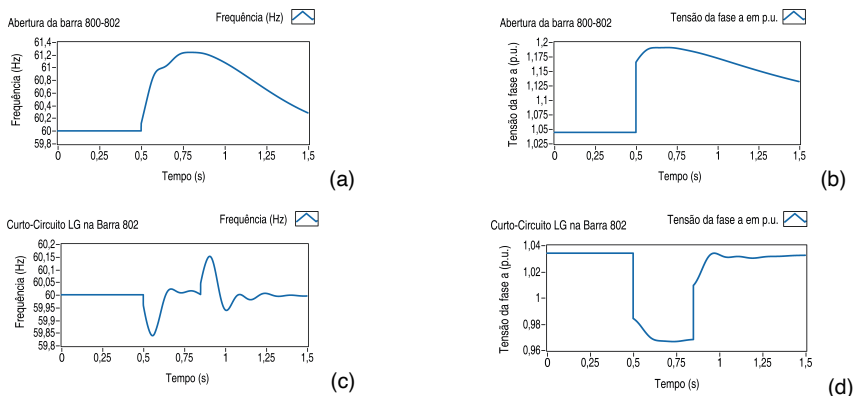


FIGURA 5.0 - Características dos Sinais Extraídos na Barra GD. (a) Característica da frequência durante a abertura da barra 802; (b) Característica da tensão de linha da fase “a” durante a abertura da barra 802; (c) Característica da frequência durante a curto-circuito monofásico LG na barra 802; (d) Característica da tensão de linha da fase “a” durante a curto-circuito monofásico LG na barra 802;

E uma Rede Neural Paraconsistente (RNP) foi desenvolvida com base no algoritmo Para-especialista NAP. O algoritmo formado por 52 NAP's é capaz de analisar a condição de ilhamento baseada na classificação dos desvio e o grau de pertinência de cada um dos desvios. Esses graus de pertinência foram divididos em 3 grandes grupos, o que relaciona tensão, corrente e frequência, o que relaciona as potências com o $\cos(\varphi)$ e o que relaciona o ângulo com as THD's (tensão e corrente). A Figura 6.0 apresenta a rede neural paraconsistente. Cabe resaltar, que mais 3 algoritmos foram construídos a fim de completar as funções do RI. Nesse trabalho apenas é demonstrado o algoritmo principal. Portanto, os eventos de faltas, bloqueio e identificador de faltas não são exibidos, mas para o funcionamento foram incorporados do controlador.

Após o treinamento da rede neural paraconsistente, com base na lógica proposta, são apresentados os seguintes resultados na Figura 7, onde pode-se notar as comparações de desempenho entre o relé inteligente proposto e a atuação dos relés ROCOF e ROCOV. Na Figura 7a compara o RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1 com os ajustes de 0,1 Hz/s e 0,25 Hz/s mediante a variação da potência ativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência ativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7b a comparação o RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG1 com os ajustes de 0,07 V/s e 0,1 V/s mediante a variação da potência reativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência reativa corresponde a 100 % dos acertos.

Na Figura 7c compara o RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG2 com os ajustes de 0,1 Hz/s e 0,25 Hz/s mediante a variação da potência ativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência ativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7d a comparação o RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG2 com os ajustes de 0,07 V/s e 0,1 V/s mediante a variação da potência reativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência reativa corresponde a 100 % dos acertos. A consolidação da comparação do Relé Inteligente Multifuncional com o relé ROCOF é exibida na Figura 7e e finalizando, a Figura 7f revela a comparação consolidada entre o RI-LPA4v com o relé ROCOF onde a taxa de confiabilidade foi de 100 %.

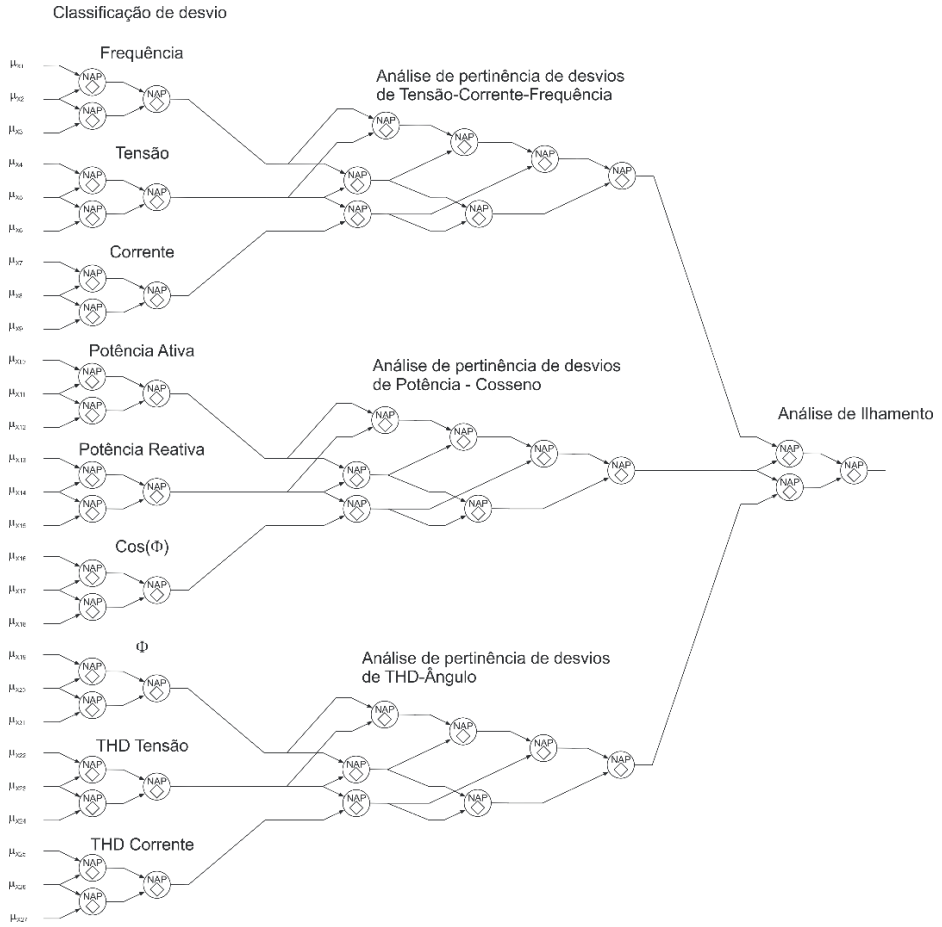


FIGURA 6.0 - Diagrama da Rede Neural Paraconsistente aplicada no reconhecimento de ilhamento.

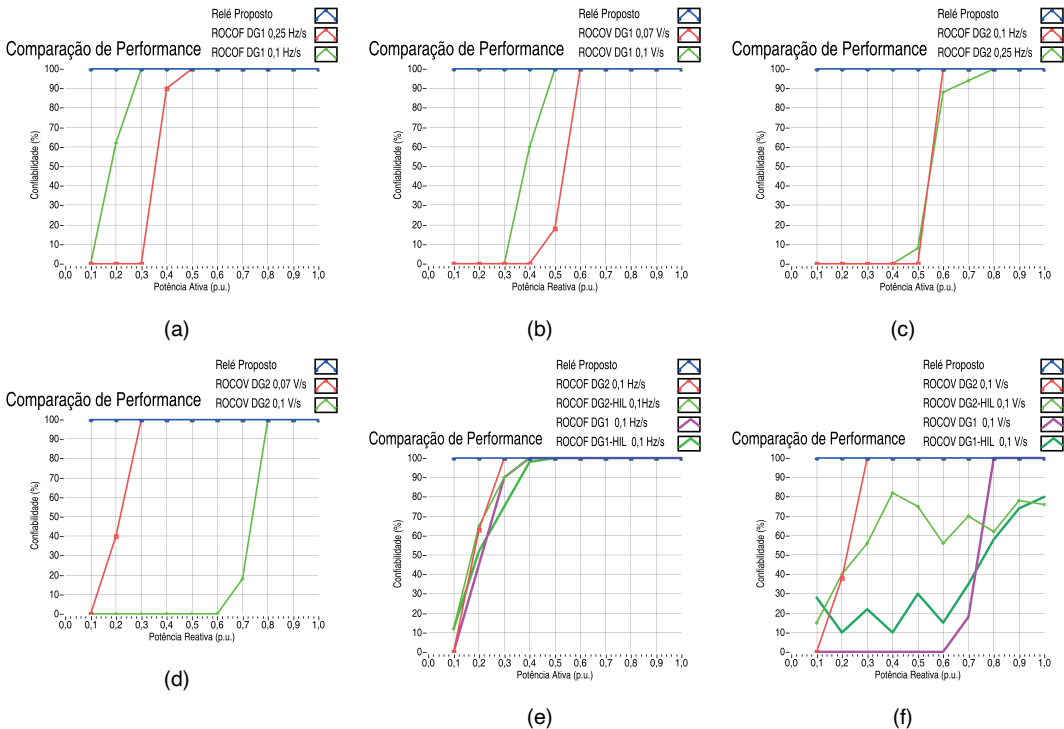


FIGURA 7.0 - Comparação de desempenho do relé proposto. (a) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1; (b) Comparação do RI-LPA4v c.om o relé ROCOV na DG1; (c) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG2; (b) Comparação do RI-LPA4v c.om o relé ROCOV na DG2; (e) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1 e DG2; (f) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG1 e DG2.

4 I CONCLUSÃO

Portanto, o relé RI-LPA4v se mostrou eficiente quando comparado a métodos de reconhecimento de ilhamento tradicional ROCOF e ROCOV. É observado que os relés ROCOF e ROCOV falharam no reconhecimento de ilhamento sempre que a potência ativa ou reativa eram baixas, na ordem de 0,1 a 0,5 p.u..

Além disso, o relé RI-LPA4v em qualquer operação de potência respondeu de forma bastante relevante, pois obteve 100% dos acertos. Dessa forma, devido a natureza do NAP a velocidade de processamento de reconhecimento de ilhamento e faltas é rápida, da ordem de 10,3 a 45,8 %. Outra é que o custo computacional do algoritmo é muito baixo, pois envolvem operações matemáticas simples podendo ser aplicados em processadores digitais de sinal.

REFERÊNCIAS

- (1) KHAMIS, A.; SHAREEF, H.; BIZKEVELCI, E. and KHATIB, T. “A Review of islanding Detection Techniques for Renewable Distributed Generation Systems”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 483–493, 2013.
- (2) REIGOSA, D. *et al.* “Active Islanding Detection Using High-Frequency Signal Injection”, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 48, no. 5, pp. 1588–1597, 2012.
- (3) LAGHARI, J. *et al.* “Computacional Intelligence based techniques for islanding detection of distributed network: A review”, *Energy conversion and Management*, Elsevier, v. 88. P. 139 – 152, 2014.
- (4) de CARVALHO, M. S. C., “A Análise de Técnicas de Detecção de Ilhamento Ativas em Sistemas de Geração Distribuída Baseados em Inversores Fonte de Tensão”, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Dinâmicos – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.
- (5) BITTENCOURT, A. A. “Proteção adaptativa de alimentadores de distribuição de energia elétrica considerando a geração distribuída”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
- (6) MARCHESAN, G. “Detecção de ilhamento em sistemas de distribuição com geração síncrona distribuída”. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.
- (7) MENON, V.; NEHRIR, M. H. “A hybrid islanding detection technique using voltage unbalance and frequency set point”. *IEEE Transactions on Power Systems*, [S.l.], v.22, n.1, p.442–448, 2007.67.
- (8) LAGHARI, J.; MOKHLIS, H.; KARIMI, M.; BAKAR, A.; MOHAMAD, H. “An islanding detection strategy for distribution network connected with hybrid DG resources”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v.45, p.662–676, 2015.
- (9) da SILVA FILHO, J. I. “Algorithms based on paraconsistent annotated logic for applications in expert systems”. In: *Segura JM, Reiter AC (eds) Expert system software: engineering, advantages and applications*. Nova Science Publishers, Hauppauge. ISBN 978-1-61209-114-3. 2011.
- (10) da SILVA FILHO, J. I.; ABE J. M.; TORRES, G. L. “Inteligência Artificial com Redes de Análise Paraconsistentes” editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.
- (11) MARTINS, H. G.; TORRES, G. L.; POTIN, L. F. “A Lógica Paraconsistente Anotada”. Editora Comunicar, Santos, 2007.
- (12) KAR, S. and SAMANTARAY, S. R. “Data-mining-based intelligent anti-islanding protection relay for distributed generations,” in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, no. 4, pp. 629-639, April 2014. doi: 10.1049/iet-gtd.2013.0494.