

# Desenvolvimento de um Relé Digital no LabVIEW para a Detecção de Ilhamento de Geradores Distribuídos

Nolman Barroso Hartmann, Ricardo Caneloi dos Santos e Thales Sousa  
CECS – Universidade Federal do ABC  
Santo André, Brasil

**Resumo-** Este artigo apresenta o desenvolvimento de um relé digital, baseado em redes neurais artificiais (RNA) para a detecção de ilhamento de geradores distribuídos (GD). Para a modelagem do relé digital foi utilizado o ambiente de desenvolvimento *LabVIEW*, enquanto o *software Matlab/Simulink* foi empregado para a simulação de um sistema elétrico (SE) de cinco barras. A partir do SE adotado as tensões provenientes da barra do GD são aplicadas ao relé, que deve detectar condições de ilhamento do GD, principalmente em condições de baixo desbalanço de potência ativa, onde os algoritmos convencionais apresentam limitações. A importância da modelagem do relé no *LabVIEW* é possibilitar o uso de plataformas de aquisição de dados disponíveis no mercado para a implementação em *hardware* de aplicações de tempo real (*real time*), no modo embarcado (*stand alone*). Os resultados dos testes realizados no relé desenvolvido no *LabVIEW* mostram que o algoritmo é capaz de diferenciar um evento de ilhamento de outros eventos transitórios que ocorrem nas redes elétricas, como por exemplo, tomada/alívio de carga.

**Palavras Chave**—Geração distribuída, *LabVIEW*, Redes neurais, Relés digitais.

## I. INTRODUÇÃO

Geração distribuída é a instalação de geradores de pequeno e médio porte ao longo das redes de distribuição e subtransmissão de energia elétrica, permitindo o aproveitamento das fontes de energia que estão dispersas e próximas aos consumidores finais [1]. Uma importante medida a ser tomada com a utilização de geradores distribuídos é a sua rápida desconexão da rede elétrica na ocorrência de um evento de ilhamento, ou seja, a perda da fonte principal (concessionária). Se a desconexão não for feita com a brevidade necessária, podem ocorrer: a) sérios danos ao gerador distribuído; b) problemas operacionais; c) situações de risco para os operadores da rede.

Comumente a detecção do ilhamento é feita por meio de técnicas remotas ou técnicas locais. As técnicas remotas usam meios de comunicação para transmitir o estado dos disjuntores da rede ao GD [2] e as técnicas locais usam uma combinação de relés de tensão e de frequência para detectar o ilhamento [2]. Devido ao custo relacionado às técnicas remotas ou devido às zonas de não detecção observadas nas técnicas locais [3], se faz necessária a busca por novos métodos de detecção de ilhamento.

Nos últimos anos muitos esforços têm sido direcionados às pesquisas relacionadas com técnicas de inteligência artificial, podendo-se destacar os algoritmos genéticos, a lógica *fuzzy* e algoritmos inspirados na natureza, todos estes aplicados em proteção de sistemas elétricos de potência [4], [5], [6].

Entre as diferentes técnicas baseadas em inteligência artificial, podemos ressaltar que as RNAs estão entre as mais promissoras devido a sua capacidade de reconhecer padrões. Esta capacidade faz com que as RNAs sejam úteis para detectar e diferenciar um ilhamento de outros distúrbios transitórios que ocorrem nas redes elétricas. Podemos mencionar o trabalho [7], onde os autores propõem o uso de redes neurais do tipo *Radial Basis Function* (RBF) e redes probabilísticas para analisar as tensões do ponto de interconexão do GD com a rede de distribuição. Em [8] os autores propõem um método para classificar eventos do tipo: *sags*, *swells*, distorção harmônica e *flickers* usando redes probabilísticas (*Probabilistic Neural Networks*, PNN). Em [9] os autores propõem um classificador de faltas em linhas de transmissão com presença de geradores distribuídos, sendo que o método usa redes do tipo *feed forward* em conjunto com a transformada discreta de Fourier (*Discrete Fourier Transform*, DFT).

O objetivo deste artigo é desenvolver em *LabVIEW* o algoritmo proposto por [10], que faz uso de RNAs do tipo *multi layer perceptron* (MLP) para detectar o ilhamento de um gerador distribuído conectado a uma rede de distribuição. Esta avaliação utilizando o ambiente de desenvolvimento *LabVIEW* é de extrema importância, pois permite o uso de plataformas de aquisição de dados disponíveis no mercado

N. B. Hartmann, Universidade Federal do ABC, São Paulo, Santo André, Brasil (e-mail: nolman.barroso@ufabc.edu.br).

R. C. Santos, Universidade Federal do ABC, São Paulo, Santo André, Brasil (e-mail: ricardo.santos@ufabc.edu.br).

T. Sousa, Universidade Federal do ABC, São Paulo, Santo André, Brasil (e-mail: thales.sousa@ufabc.edu.br).

para a implementação em *hardware* de aplicações de tempo real (*real time*), no modo embarcado (*stand alone*).

O presente artigo está organizado da seguinte forma: Na secção II é apresentado o conceito de geração distribuída e é discutido o problema do ilhamento de GDs. Os métodos clássicos de detecção de ilhamento e o algoritmo em estudo são abordados na secção III. A secção IV, trata sobre a arquitetura proposta para um relé digital e o desenvolvimento do código em *LabVIEW*. Na secção V são apresentados os métodos usados para avaliar o algoritmo e os resultados dos testes aplicados ao algoritmo em estudo. As conclusões deste trabalho são apresentadas na secção VI.

## II. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A instalação de GDs traz muitos benefícios técnicos e econômicos às redes elétricas, como por exemplo, a melhora na qualidade da energia que é fornecida aos consumidores, a continuidade da energia fornecida às cargas críticas e a redução nas perdas nas linhas de transmissão [11].

### A. Considerações do uso de GDs

Antes de conectar um GD a uma rede de distribuição, deve-se considerar que historicamente os sistemas de distribuição foram desenhados para que os fluxos de correntes fluíssem de forma radial [12]. Um GD causa mudança no sentido dos fluxos de energia, afetando assim a coordenação das proteções das redes de distribuição, os esquemas de controle de tensão e frequência [11].

### B. Ilhamento de Geradores Distribuídos:

Um dos maiores problemas do uso de GDs é o ilhamento, situação que ocorre quando há perda do fornecimento de energia por parte da concessionária e de forma não desejada o GD continua suprindo energia a uma carga local, situação exemplificada na Figura 1. Diante desta situação os GDs devem ser desconectados no menor tempo possível e não devem ser ligados até que o fornecimento de energia por parte da concessionária seja reestabelecido [1], [10], [13].

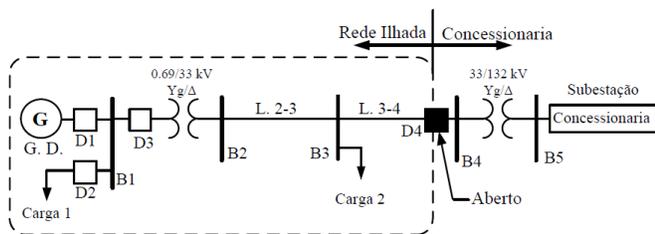


Figura 1. Sistema Gerador-Rede Ilhada.

### C. Implicações de não Detectar o Ilhamento

Existem normas que não recomendam a operação de um GD ilhado [14]. Por exemplo, em [10] e [13] são apresentados alguns dos problemas que podem ocorrer em função da não desconexão do GD da rede elétrica:

- A segurança da equipe de manutenção da concessionária, assim como dos consumidores pode ser colocada em risco devido às áreas que continuam energizadas.
- A qualidade da energia fornecida aos consumidores na rede ilhada não é controlada pela concessionária, sendo esta ao mesmo tempo responsável pela qualidade da mesma.
- A coordenação do sistema de proteção na rede ilhada pode deixar de operar satisfatoriamente, devido à redução dos níveis de curto circuito na rede ilhada.
- No instante da reenergização da rede, o gerador pode estar fora de sincronismo, o que pode ocasionar sérios danos tanto ao gerador quanto aos demais componentes do sistema elétrico.

## III. TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE ILHAMENTO

Existem muitas técnicas para a detecção de ilhamento de GDs, que podem ser classificadas em técnicas locais e técnicas remotas, sendo um diagrama geral desta classificação apresentado na Figura 2. As técnicas remotas são baseadas em meios de comunicação e em sistemas SCADA para transmitir o estado dos disjuntores ao GD, sendo a sua limitante os altos custos dos equipamentos de comunicação [3]. As técnicas de detecção locais por sua vez, são subdivididas em técnicas locais passivas e técnicas locais ativas. As técnicas passivas usam medições de tensão e corrente no local da instalação do gerador distribuído [15], enquanto as técnicas ativas são baseadas na inserção de distúrbios na rede de distribuição e na análise da resposta da rede ao distúrbio gerado [15], [3]. A principal limitação das técnicas passivas é que estas apresentam zonas de não detecção para condições de baixo desbalanço de potência ativa. Já com relação às técnicas ativas, estas afetam a qualidade da energia fornecida. Devido às limitações das técnicas convencionais, surge um novo grupo de propostas, baseado em métodos e técnicas não convencionais como as redes neurais artificiais, a lógica *fuzzy*, os algoritmos genéticos, entre outros.

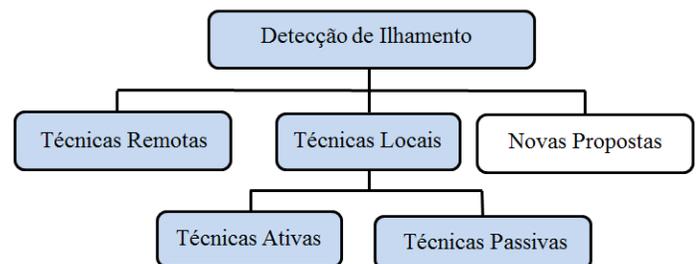


Figura 2. Técnicas de detecção de ilhamento.

#### A. Algoritmo Neural para detectar Ilhamento de GDs

Após uma revisão bibliográfica de propostas de diferentes autores, que fazem uso de técnicas inteligentes para detectar o ilhamento de GDs, o algoritmo proposto por [10] foi selecionado para ser desenvolvido e avaliado usando o ambiente *LabVIEW*. O funcionamento do algoritmo selecionado é apresentado na Figura 3, operando da seguinte forma: a) primeiramente os sinais da barra do GD são amostrados a uma taxa de 960 amostras/segundo (1); b) a partir dos dados amostrados são construídos vetores de 16 valores numéricos que representam um ciclo do sinal elétrico (2); c) estes valores quantizados são inseridos nas entradas de uma RNA (3), que processa os dados e determina se existe ou não uma condição de ilhamento; d) por último, para assegurar a existência de uma condição de ilhamento, as respostas da rede são armazenadas em um contador (4) - se a quantidade de acertos da RNA for maior do que “6” nos “12” últimos ciclos analisados, é executado o comando de *trip*.

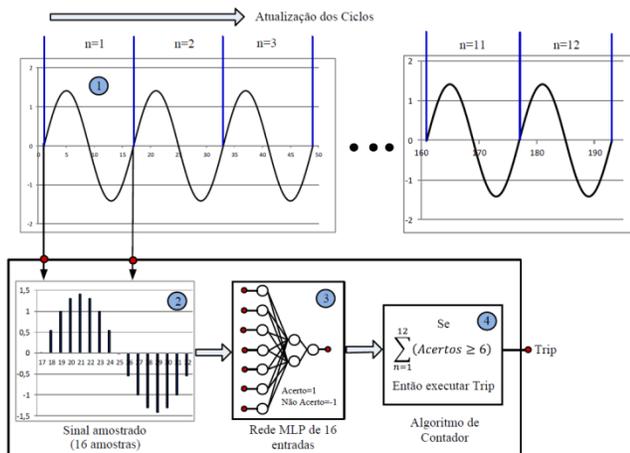


Figura 3. Funcionamento do algoritmo.

A RNA dedicada ao processamento das amostras é do tipo MLP (*Multilayer Perceptron*), com arquitetura 8-4-2-1. Os neurônios que formam a RNA foram desenvolvidos em *LabVIEW*, conforme a figura 4. A título de exemplo é mostrado um neurônio com quatro entradas, porém é importante destacar que tal neurônio possui uma característica adaptativa com relação ao seu número de entradas, podendo ser utilizado em qualquer arquitetura de RNA. Neste caso os neurônios das camadas ocultas (8-4-2) têm função de ativação do tipo tangente hiperbólica e o neurônio da camada de saída (1) tem função de ativação do tipo linear. Os pesos dos neurônios foram definidos no trabalho apresentado em [10], utilizando-se o *toolbox* de RNA do *software* Matlab.

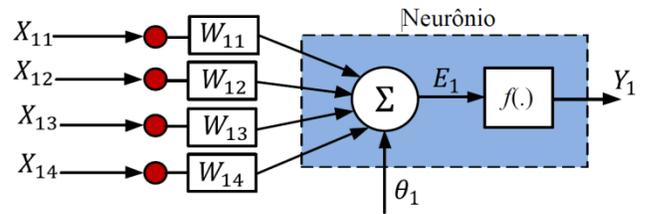


Figura 4. Arquitetura adotada para os neurônios.

#### IV. ARQUITETURA DO RELÉ DIGITAL

Na Figura 5 é apresentada a arquitetura proposta para implementar um relé digital (baseado em RNA) utilizando o ambiente de desenvolvimento *LabVIEW*. O relé consta das etapas de aquisição de dados, pré-processamento dos sinais, processamento neural e lógica de *trip*. Tais etapas são detalhadas na sequência.

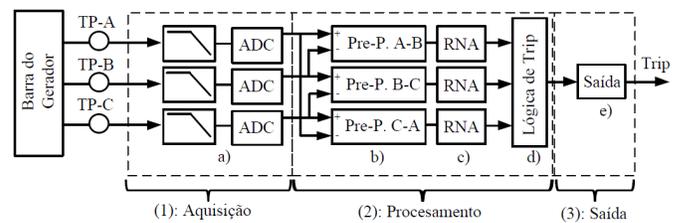


Figura 5. Arquitetura proposta.

##### • Etapa de aquisição:

Constituída internamente por dois blocos, sendo um destinado à filtragem analógica do sinal e outro destinado à conversão dos sinais analógicos em digitais. Nesta etapa se faz a aquisição/leitura das amostras de tensão da barra do GD a uma taxa de 16 amostras/ciclo, visto que este é um valor típico para este tipo de aplicação e não impõe grande carga computacional e de *hardware* para a arquitetura proposta [10], [15].

##### • Etapa de processamento:

Nesta etapa as amostras obtidas da etapa anterior são processadas pela RNA, com o objetivo de detectar as condições de ilhamento. Trata-se de uma etapa formada por três, que são: pré-processamento e processamento neural e lógica de *trip*. Esta é a etapa principal deste trabalho, que uma vez desenvolvida no *LabVIEW* pode ser implementada em uma das suas plataformas comerciais (*real time* ou não *real time*). Esta possibilidade, constitui um ganho com relação à implementação de algoritmos baseados em RNA em *hardware*, sendo a principal contribuição deste trabalho.

##### • Etapa de saída

Nesta etapa as indicações de *trip* geradas pela RNA são registradas por um contador, que verifica a quantidade de indicações de *trip* geradas pela RNA nos últimos doze ciclos analisados. Caso a quantidade registrada de indicações de *trip* seja maior do que seis, um comando de *trip* é gerado e enviado ao disjuntor responsável pelo desligamento do GD.

### A. Desenvolvimento do Código em LabVIEW

A partir da arquitetura proposta foi criado um código em *LabVIEW*, formado por rotinas e sub-rotinas chamadas de VI e sub-VI (*Virtual Instrument*), respectivamente, conforme ilustra a Figura 6. Tal figura apresenta a versão final do código para as três fases do sistema elétrico, ou seja, para as três tensões de linha da barra do GD (barra 1), combinando os três comandos de *trip* em um *trip* global, usando uma função lógica OR.

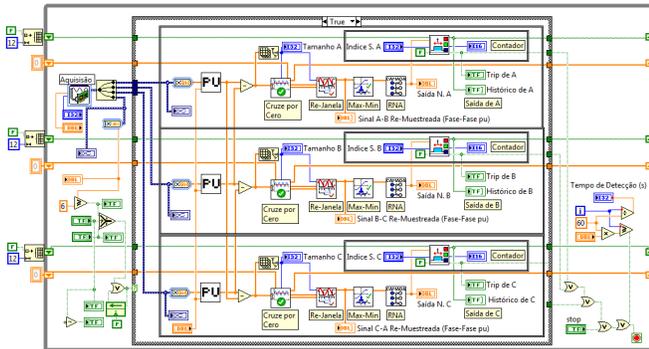


Figura 6. Código em *LabVIEW*.

A interface de usuário do relé digital proposto é apresentada na Figura 7, onde o operador pode ter acesso ao histórico de *trips* do relé, além de monitorar o valor instantâneo da tensão da barra do gerador.

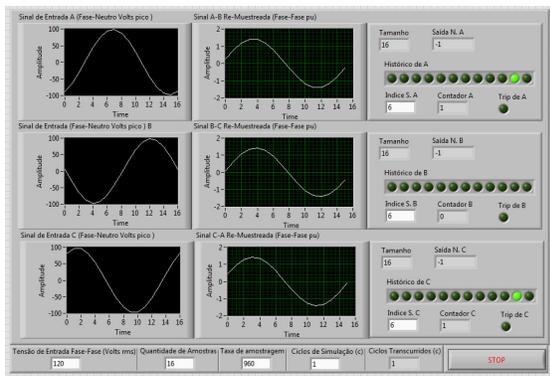


Figura 7. Interface de usuário.

### V. AVALIAÇÃO DO ALGORITMO

Para avaliar o algoritmo de detecção de ilhamento, um sistema de distribuição foi modelado em *Matlab/Simulink*. O sistema da Figura 8 é constituído por uma rede de distribuição de 33 kV, alimentada por uma rede de subtransmissão de 132 kV, com um nível de curto circuito de 1500 MVA. Alguns dados relevantes para a simulação do sistema elétrico adotado são apresentados no Apêndice.

Cada simulação do referido sistema foi realizada com uma duração de 3 segundos, sendo as tensões da barra do GD exportadas para arquivos de texto após cada simulação. Tais arquivos são utilizados para a avaliação do relé digital modelado em *LabVIEW*.

#### A. Simulações com Eventos de Ilhamento

Para avaliar o algoritmo selecionado foram simulados 101 casos de ilhamento do sistema elétrico da Figura 8, usando as combinações apresentadas na Tabela 1. Os parâmetros desta tabela foram selecionados considerando condições reais de fornecimento de potência. Os ilhamentos foram simulados com a abertura do disjuntor D4 aos 0,25 segundos, após o início de cada simulação.

Tabela. 1 Parâmetros para as 101 simulações.

Parâmetro	Valor
Potência ativa da carga 1	0,2 a 0,9 pu
Fator de potência da carga 1	0,8 a 0,96 (ind.)
Potência ativa da carga 3	0,2 a 1,2 pu
Fator de potência da carga 3	0,8 a 0,96 (ind.)
Potência ativa da geração	0,6 a 0,9 pu
Fator de potência da geração	0,92 (ind.) a 0,93 (cap.)

Os resultados dos 101 testes de ilhamento com a RNA de 16 amostras/ciclo (ver Figura 3) são apresentados na Figura 9. Uma condição de falha do algoritmo é assumida, caso uma situação de ilhamento não seja detectada em um tempo inferior a 2,75 segundos. Os testes realizados mostram que o algoritmo respondeu corretamente para 95% dos casos, detectando a condição de ilhamento. É importante ressaltar que o algoritmo falhou somente para os casos com desbalanço de potência ativa menor do que 0,0737 pu. Isso ocorre porque quanto menor é o desbalanço de potência ativa, menor são os distúrbios da tensão na barra do gerador.

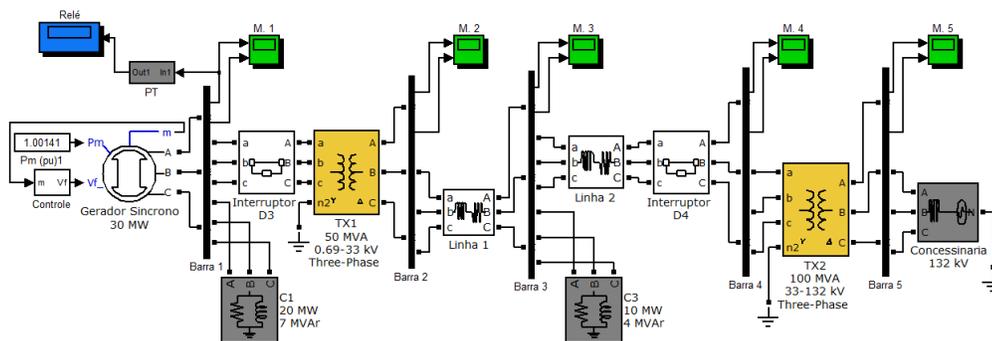


Figura 8. Sistema elétrico adotado.

### B. Simulações com Eventos de Alívio/Tomada de carga

Com o objetivo de testar o algoritmo diante de outros eventos que geram transitórios, foram simulados 101 casos de tomada de carga e 101 casos de alívio de carga, usando as mesmas condições operativas da Tabela 1. As tomadas e alívio de carga consideram variações de 5% a 95% do valor nominal da carga na barra 1. Nos testes realizados, o algoritmo atingiu 100 % de acerto (não gerou *trip*).

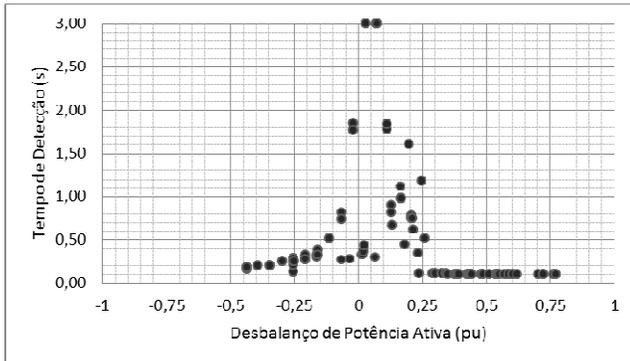


Figura 9. Gráfico de desempenho da RNA de 16 amostras por ciclo.

### C. Simulações de Variações de Frequência

Da mesma forma que os testes de alívio/tomada de carga, foram realizadas 101 simulações com variações na frequência da concessionária. Nos testes realizados a frequência foi variada de 59,5 Hz até 60,5 Hz com incrementos de 0,1 Hz. Observa-se que nesses testes o algoritmo atingiu 100% de acerto, não gerando o sinal de *trip* indevidamente.

### D. Discussões e Análises

Após todos os testes realizados foi possível verificar o bom desempenho do algoritmo diante de condições reais de operação do sistema elétrico. No entanto, é importante salientar que a RNA utilizada foi especificada para uma particular rede elétrica (ver Figura 8), podendo o seu desempenho ser comprometido se diferentes topologias de sistema elétrico forem consideradas. Nesse sentido, uma nova avaliação de desempenho deveria ser executada, visando mensurar quanto o desempenho verificado se afasta do desempenho desejado. Caso a diferença entre os desempenhos seja maior do que um erro aceitável (considerando os tempos de atuação e o número de acertos) um novo treinamento deve ser realizado.

Mesmo que um novo treinamento seja necessário, a RNA desenvolvida em *LabVIEW* já está projetada e pronta para receber novos valores de pesos e *bias*. Além disso, provavelmente a nova RNA terá a mesma topologia (8-4-2-1), restando apenas inserir os novos valores de pesos e *bias* nas tabelas disponíveis no *LabVIEW*. Porém, no caso de uma nova topologia de RNA ser necessária pode-se acrescentar novos neurônios adaptativos a rede MLP, permitindo a obtenção de qualquer nova arquitetura de rede de uma maneira simples e rápida.

É importante destacar que o ambiente de desenvolvimento utilizado (*LabVIEW*) é fundamental para o sucesso da implementação em *hardware* da RNA especificada. Tal *software* permite que algoritmos sejam precisamente avaliados e que códigos para a implementação em *hardware* sejam prontamente gerados, considerando plataformas (*real time* e não *real time*) disponíveis no mercado. Dessa forma, atualmente o algoritmo apresentado neste trabalho está passando por testes práticos em bancada.

## VI. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um algoritmo baseado em RNAs para a detecção de ilhamento de geradores distribuídos. Foi apresentada a proposta de uma arquitetura para um relé digital usando *LabVIEW*, onde o modelo do relé faz amostragem das tensões da barra do GD e constrói vetores de 16 amostras/ciclo, que são processados por uma rede MLP. O algoritmo apresentou um ótimo desempenho ao detectar a maioria das condições de ilhamento com baixo desbalanço de potência ativa. Além disso, o algoritmo apresentou excelentes resultados ao descartar os eventos de alívio/tomada de cargas e variações da frequência da concessionária. Para futuros trabalhos planeja-se avaliar o desempenho do algoritmo diante de diferentes taxas de aquisição e tamanho de janela de dados. Estima-se que para maiores taxas de aquisição, melhor será o desempenho do algoritmo neural, frente a tarefa de detecção de ilhamento de GDs. O presente estudo mostra que o modelo do relé criado em *LabVIEW* apresenta resultados bastante promissores, sendo indicado para ser implementado em *hardware* em futuras pesquisas. Nesse sentido, a principal contribuição desse trabalho é ter validado o algoritmo no ambiente de desenvolvimento *LabVIEW*, gerando um código que pode ser prontamente implementado em plataformas de *hardware* disponíveis no mercado.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] "Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on the Power System," CIGRÉ, Working Group 37.23, 1999.
- [2] M. Bayrak, "Recurrent artificial neural network based islanding protection by using generator speed deviation," Scientific Research and Essay, vol. 4, pp. 212-216, April, 2009.
- [3] P. Mahat, C. Zhe, B. Bak-Jensen, "Review of Islanding Detection Methods for Distributed Generation," Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008.
- [4] B. Das, V. Reddy, "Fuzzy-Logic-Based Fault Classification Scheme for Digital Distance Protection," IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 20, No. 2, April 2005.
- [5] A. H. Osman, T. Abdelaziz, O. P. Malik, "Genetic Algorithm Approach for Adaptive Data Window Distance Relaying.
- [6] G. Yin, "A Distributed Generation Islanding Detection Method Based on Artificial Immune System," in Proc. 2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conf. & Exhibition: Asia and Pacific, Dalian, China.
- [7] A. Khamis, H. Shareef, "Islanding Detection and Classification Method using Neuro Phase Space Technique," World Academy of Science, Engineering and Technology Vol: 7 2013-06-25.
- [8] Z. L. Gaing, "Wavelet-Based Neural Network for Power Disturbance Recognition and Classification," Power Delivery, IEEE Trans, 2004.

- [9] Y. Aslan, "An alternative approach to fault location on power distribution feeders with embedded remote-end power generation using ANN," *Electrical Engineering Sept.*, Vol. 94, No. 3, pp 125-134. 2012.
- [10] V. L. Merlin, "Metodologia para a Definição de um Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para Detecção de Ilhamento de Sistemas de Geração Distribuída," M. dissertation, Dept. Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Univ. Federal do ABC, SP, 2013.
- [11] V. Rajkumar, D.K. Khatod, "Optimal Planning of Distributed Generation Systems in Distribution," Elsevier: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, India, p.1-20, 8 May 2012.
- [12] "Geração Distribuída e Conexão ao Sistema Elétrico-Proposta de Revisão da Resolução ANEEL 281/99, Março, 2002.
- [13] J. C. Jr. Vieira, W. Freitas, A. F. Morelato, "Análise Comparativa Sobre a Eficácia de Relés Baseados em Medidas de Frequência para Detecção de Ilhamento de Geradores Distribuídos," *Revista Controle & Automação*, Vol.16 No. 2 Abril, Maio e Junho 2005.
- [14] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std. 1547, Jul. 21, 2003.
- [15] H. A. Ferrer, E. O. Schweitzer, *Moderns Solution for Protection, Control, and Monitoring Electric Power Systems*, Pullman, WA, Schweitzer Laboratories, Inc., 2010, pp. 43-45.

## APÊNDICE

### A. Parâmetros do Sistema Elétrico Adotado

Neste item são apresentados os parâmetros do sistema elétrico adotado, conforme [13]. Nas Tabelas de 2 a 5, encontram-se as informações da concessionária, do gerador síncrono, dos transformadores e das linhas de transmissão.

Tabela. 2 Dados do equivalente da concessionária.

Tensão Nominal (kV)	132
Potência de Curto-Circuito (MVA)	1500
Resistência ( $\Omega$ )	0
Indutância (mH)	30,80

Tabela. 3 Dados do gerador síncrono.

Tipo do gerador	Pólos lisos
Número de pares de pólos	2
Potência nominal (MVA)	30
Tensão nominal (V)	690
Constante de inércia (s)	1,5
$X_d$ (pu)	1,400
$X'_d$ (pu)	0,231
$X''_d$ (pu)	0,118
$X_q$ (pu)	1,372
$X'_q$ (pu)	0,800
$X''_q$ (pu)	0,118
$T'_{do}$ (pu)	5,500
$T''_{do}$ (pu)	0,0500
$T'_{qo}$ (pu)	1,250
$T''_{qo}$ (pu)	0,190
Resistência do estator (pu)	0,0014
Reatância de dispersão (pu)	0,050

Tabela. 4 Dados dos transformadores.

	Transformador 0,69 kV/33 kV	Transformador 33 kV/132
Potência Nominal (MVA)	50	100
Conexão do primário	Estrela com neutro aterrado	Estrela com neutro aterrado
Tensão do primário (kV)	0,69	33
Resistência do primário (pu)	0	0
Indutância do primário (pu)	0,02	0,02
Conexão do secundário	Triângulo	Triângulo
Tensão do secundário (kV)	33	132
Resistência do secundário (pu)	0	0
Indutância do secundário (pu)	0,02	0,02

Tabela. 5 Dados das linhas de transmissão.

	Linha 1	Linha 2
Resistência ( $\Omega$ /km)	0,972	0,3645
Reatância ( $\Omega$ /km)	41,772	15,664
Comprimento (km)	0,50	1,00

### B. Dados da Rna de 16 Amostras por Ciclo

Neste item são apresentados os pesos, *bias* e funções de ativação usadas na RNA de 16 amostras por ciclo, utilizando como referência os dados apresentados em [10].

#### Pesos das camadas

Tabela. 6 Pesos da primeira camada da RNA.

-0,277	0,2537	-0,459	-0,329	0,2281	-0,543	-0,521	-0,503
-0,341	-0,263	-0,499	0,7629	-0,166	0,066	0,2483	0,2468
-10,57	-1,329	2,7412	5,033	2,6787	-1,786	-6,171	-7,108
2,8773	2,0964	1,4153	0,1619	-0,341	-1,365	-1,306	-0,316
0,1088	0,3294	0,0589	0,69	0,2971	0,2043	-0,059	-0,669
-2,581	-0,257	2,168	2,7307	0,931	-0,832	-2,492	-3,44
0,4489	0,2189	0,5979	1,1858	1,2324	1,6964	1,6506	0,7619
0,0824	-0,189	-0,001	0,4457	-0,89	-1,099	-1,001	-0,264

Tabela. 7 Pesos da segunda camada da RNA.

0,1246	0,1711	-0,062	1,284	0,9658	0,9195	-0,553	-0,521
-0,052	-0,435	-0,104	-0,561	-0,991	-0,466	-0,392	0,4624
-5,026	-3,205	-0,832	2,2181	3,7287	1,123	-4,355	-9,626
0,1569	0,8125	1,2457	0,8402	0,2383	-0,786	-2,251	-3,068
-0,808	-0,302	-0,453	-0,542	-0,046	1,0139	0,0556	0,9969
-2,509	-0,383	0,3144	1,4451	1,5953	0,3627	-2,418	-5,746
-0,874	-0,439	-0,316	-1,915	-1,824	-0,309	0,5017	0,9702
0,1973	0,8234	0,6461	0,8648	0,8322	1,0093	0,3692	-0,941

Tabela. 8 Pesos da terceira camada da RNA.

0,4946	1,6943	0,6206	0,5963	0,2822	-0,98	-0,642	-1,218
0,5731	-1,23	-2,72	0,4338	0,5137	-0,747	-0,041	0,6274
-1,999	0,8759	-19,66	-4,999	1,7201	-9,42	1,2651	-3,621
-0,112	0,0532	1,1187	0,996	0,1551	-0,665	0,0831	-0,997

Tabela. 9 Pesos da quarta camada da RNA.

0,5066	2,2164	23,01	0,0397
-0,468	-0,001	0,7512	-2,31

Tabela. 10 Pesos da primeira camada da RNA.

-1	0,0001
----	--------

#### Bias das camadas

Tabela. 11 Bias da primeira camada da RNA.

-2,385
-2,998
0,301
-0,787
-1,338
1,1884
2,3389
1,7528

Tabela. 12 Bias da segunda camada da RNA.

0,9635
-0,3429
-0,5447
-2,1076

Tabela. 13 Bias da terceira camada da RNA.

1,3614
3,1409

Tabela. 14 Bias da quarta camada da RNA.

-0,0001
---------

#### Funções de ativação das camadas

Função de ativação da camada 1 = Tangente hiperbólica

Função de ativação da camada 2 = Tangente hiperbólica

Função de ativação da camada 3 = Tangente hiperbólica

Função de ativação da camada 4 = Linear