

Detecção de Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos por Identificação de Padrões via Técnicas de Mineração de Dados

Eduardo A. P. Gomes *, José C. M. Vieira*, Denis V. Coury*, Alexandre C. B. Delbem†

*Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Escola de Engenharia de São Carlos

†Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação,

Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP, Brazil

✉ E-mail: eduardoapgomes@usp.br, jose.vieira@ieee.org, coury@sc.usp.br, acbd@icmc.usp.br

Resumo—Esse artigo investiga um novo método de mineração de dados aplicado na detecção de ilhamento de geradores síncronos distribuídos. O método é baseado no Data Mining of Code Repositories (DAMICORE), que tem grande potencialidade para descobrir correlações em dados complexos. Para realizar essa tarefa, três algoritmos são computados em sequência. São eles: o *Normalized Compression Distance* (NCD) para calcular a matriz de distância do conjunto de dados; o *Neighbor-Joining* (NJ) para construir as *árvores filogenéticas*; e por fim o *Fast Newman* (FN) para buscar grupos na *árvore filogenética* em que os dados mostram ter alto grau de independência. O método completo de detecção de ilhamento desse artigo contém uma etapa para calcular características importantes dos sinais de tensão e correntes trifásicas medidas no ponto de acoplamento comum. Essas características são utilizadas como entrada ao DAMICORE para formular um algoritmo capaz de separar eventos de ilhamento de eventos não-ilhamento. Os resultados mostraram que o método foi capaz de identificar o ilhamento corretamente e detectá-lo rapidamente.

Palavras-chave— Detecção de Ilhamento, Geração Distribuída, Mineração de Dados, DAMICORE

I. INTRODUÇÃO

NOS últimos anos, devido ao processo de reestruturação do setor elétrico ocorrido em muitos países, o número de conexões de geração distribuída (GD), tem aumentado substancialmente. Esse processo foi fomentado pela rápida evolução do marco regulatório e pelas forças de mercado. A quantidade de novas tecnologias emergentes de geração também influenciaram profundamente as perspectivas do setor. Além desses destaques, a instalação de geradores distribuídos possibilita reduzir as perdas elétricas em sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, e permite que investimentos em novas grandes centrais geradoras e em linhas de transmissão sejam postergados [1]. Embora haja benefícios, uma série de desafios tem de ser superados para explorar os benefícios da GD. Nesse contexto, a instalação de geradores distribuídos deve ser precedida de estudos detalhados para identificar os impactos na operação da rede de distribuição.

Entre os estudos contemplados nas recomendações do IEEE 1547 [2], é exigido que geradores distribuídos necessitam ser equipados com esquemas de proteção anti-ilhamento. O ilhamento é uma condição na qual o gerador distribuído alimenta uma porção do sistema que se encontra eletricamente

isolada do restante do sistema elétrico, tornando-se fonte de energia independente da concessionária. Caso um ilhamento não seja detectado, implicará numa série de riscos, por exemplo, a segurança das equipes de manutenção e da população, a descoordenação do sistema de proteção de sobrecorrente, o aterramento inadequado, e o religamento automático fora de sincronismo [3].

Geralmente, a detecção de ilhamento é feita por esquemas de proteção passiva. Entre eles estão os esquemas de proteção de frequência, taxa de variação da frequência, salto de vetor e tensão [1]. Os esquemas passivos tendem a falhar se o desbalanço de potência entre a carga do subsistema ilhado e o gerador distribuído for pequeno, caracterizando uma condição de operação dentro de suas zonas de não detecção. Essas zonas podem ser minimizadas se os ajustes das proteções forem feitos sensíveis, no entanto, ajustes sensíveis tornam a proteção susceptível a casos de atuação indevida. Por isso, é preciso encontrar um ajuste para a proteção anti-ilhamento que seja ao mesmo tempo sensível e seletivo. Esse ajuste, sensível e seletivo, não é trivial de ser feito utilizando os esquemas de proteção anti-ilhamento tradicionais, sejam eles baseados em medidas de frequência ou de tensão.

Por outro lado, os esquemas passivos de proteção anti-ilhamento são mais economicamente viáveis do que os esquemas remotos e não inserem perturbações na tensão ou corrente do sistema elétrico de distribuição, assim como fazem os esquemas ativos [3]. Recentemente, novas técnicas passivas de proteção anti-ilhamento baseadas em mineração de dados e inteligência artificial são apresentadas como potencial solução para detectar o ilhamento, sendo imune a outros distúrbios que por ventura venham a ocorrer [4]–[6]. Nesse contexto, é proposto nesse artigo, utilizar a técnica de mineração de dados do *Data Mining of Code Repositories* (DAMICORE) [7] para projetar um novo esquema passivo de proteção anti-ilhamento para geradores síncronos distribuídos.

O DAMICORE é uma técnica poderosa na tarefa de classificar dados que possuem correlações complexas. A técnica identifica padrões similares e os agrupa em clusters. Em [7], a técnica do DAMICORE apresentou sucesso ao ser aplicada em conjunto de dados de problemas relacionados à ciência da computação. Nesse artigo, explora-se a capacidade do DAMICORE em resolver o problema da detecção do

casos de ilhamento selecionados, variou-se a potência ativa do gerador e/ou o carregamento do sistema. A mesma lógica foi utilizada para gerar diferentes condições de operação para em cada um dos eventos simulados. Para cada simulação os dados de interesse, que servirão para alimentar o DAMICORE, foram selecionados em janelas de dois segundos: um segundo antes de aplicar o distúrbio (condição de regime permanente), e um segundo após o distúrbio.

Tabela I
CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Evento	Número de Simulações	Período de Aquisição
Ilhamento	12	1s
Abertura de Carga	6	1s
Fechamento de Carga	6	1s
Falta Fase-Terra	15	1s
Total	39	—

IV. O ESQUEMA DE PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO

O esquema de proteção anti-ilhamento via DAMICORE, intitulado *função data-mining*, proposto neste artigo depende da realização de três etapas principais. A primeira etapa consiste em extrair características dos sinais de tensão e de corrente de 39 simulações (veja Tabela I) e utilizar essas características para gerar os arquivos de entrada do DAMICORE. Em seguida, deve-se aplicar o DAMICORE sob os arquivos gerados e realizar estudos de identificação do significado dos clusters (grupos) encontrados pelo DAMICORE. Para cada arquivo, a informação de significado do cluster e a qual cluster o mesmo pertence é armazenada. O último passo é utilizar o significado dos dados (ilhamento; suspeita de ilhamento; e não-ilhamento), identificados via DAMICORE, para projetar a *função data-mining* de proteção anti-ilhamento. Mais detalhes sobre a extração das características e sobre o algoritmo de proteção anti-ilhamento são apresentados nas subseções A e B. O estudo de identificação dos grupos e a realização de testes do algoritmo de proteção são apresentados na seção resultados.

A. Extração das características

Os sinais de tensão e corrente medidos no ponto de acoplamento comum precisam ser processados de modo a extrair vetores de características, os quais são organizados em arquivos para que o DAMICORE realize as análises. A Figura 2 mostra como os vetores de características são construídos. As formas de onda da tensão e da corrente são amostradas em período de $2,6 \times 10^{-4}$ s. O bloco de detecção por borda de subida/descida de cruzamentos por zero é utilizado para acionar os buffers, possibilitando armazenar um ciclo das formas de onda da tensão e da corrente. O próximo passo, é computar as características da Tabela II utilizando as informações de um ciclo e atualizando essas informações a cada meio ciclo. As 10 características foram selecionadas por serem grandezas representativas para definir uma situação de ilhamento. Para remover respostas ruidosas, foram projetados dois filtros passa-baixas *Butterworth*: o filtro de entrada é de 2ª ordem com frequência de corte ajustada

em 120 Hz, o filtro de saída é de 1ª ordem com frequência de corte de 10 Hz.

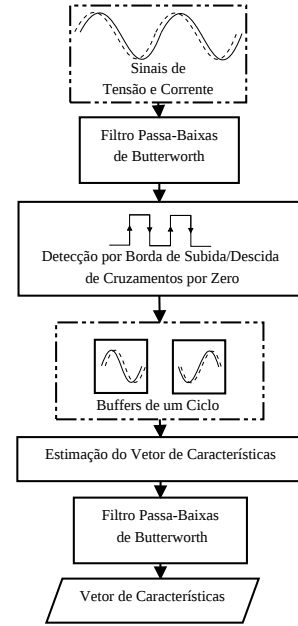


Figura 2. Algoritmo Vetor de Características

Tabela II
SAÍDAS GERADAS PELO ALGORITMO VETOR DE CARACTERÍSTICAS

Saídas	Características	Variável	Unidade
X0x	Frequência	f	Hz
X1x	Taxa de Variação de X0x	$\frac{df}{dt}$	$\frac{1}{s^2}$
X2x	Tensão RMS	V	p.u
X3x	Taxa de Variação de X2x	$\frac{dV}{dt}$	$\frac{p.u}{s}$
X4x	Potência Ativa	P	p.u
X5x	Potência Reativa	Q	p.u
X6x	Fator de Potência	$\cos(\theta)$	—
X7x	Taxa de Variação de X6x	$\frac{dPF}{dt}$	$\frac{1}{s}$
X8x	Salto de Vetor	$\Delta\theta$	grau
X9x	Taxa de Variação de X8	$\frac{d\Delta\theta}{dt}$	$\frac{1}{s}$

Cada arquivo de entrada para o DAMICORE contém uma matriz de características de dimensão $n \times 10$, em que n é o número de ciclos e 10 é a quantidade de características referente a Tabela II. Portanto, no momento de projetar a proteção deve-se adotar uma quantidade n fixa de ciclos para que todos os arquivos armazenados numa pasta (entradas do DAMICORE) contenham dados de matrizes de mesma dimensão. Os algoritmos trabalham com as matrizes de características normalizadas. Isso é feito dividindo o valor de módulo máximo, para cada característica em específico, encontrado durante a realização das 39 simulações da Tabela I.

B. Função data-mining de proteção anti-ilhamento

A estrutura lógica de decisão do algoritmo de proteção da Figura 3 consiste em realizar a classificação utilizando o valor mínimo da distância euclidiana entre a matriz de características ($n \times 10$) atual e o banco de dados de matrizes de características ($n \times 10$) que foram previamente classificadas via DAMICORE.

A matriz de características atual pode possuir uma das três classes: ilhamento (IL), suspeita de ilhamento (ILS), ou, não-ilhamento. O algoritmo utiliza dois ajustes para evitar sinais de abertura (trip) ruidosos. Um deles é o limiar de distância euclidiana mínima (MinDist). O segundo é valor limite (TripAlert) de um contador de suspeita de ilhamento (TripCounter). Portanto, a proteção anti-ilhamento da Figura 3 pode atuar somente em duas situações. A primeira se a matriz de características atual pertencer à classe ilhamento e a respectiva distância euclidiana mínima for menor que o limiar (MinDist). A segunda condição é para casos que o contador de suspeita de ilhamento exceder o limite (TripAlert). Os ajustes foram obtidos de modo que a proteção opere corretamente sob as 39 simulações da Tabela I.

A classificação precisa do ilhamento é feita quando a matriz de características atual pertence a classe ilhamento e a respectiva distância euclidiana mínima for próximo de zero. Por meio de inspeção do comportamento da distância euclidiana mínima durante as 39 simulações verificou-se que seus valores estavam concentrados em um limiar menor que 3. Esse comportamento manteve-se em ambos os projetos da função *data-mining* com n igual a 5 e 10 ciclos, por isso, ajustou-se MinDist igual a 3.

O ajuste de TripAlert é feito para garantir que a função *data-mining* seja veloz em detectar o ilhamento mesmo em situações em que os dados se mostram similares a distúrbios de não-ilhamento. Caso a suspeita de ilhamento seja mantida por certo tempo a decisão de abertura deve ser tomada. Como a quantidade n de ciclos utilizada em cada projeto da função *data-mining* é diferente, então adota-se valor de TripAlert específico para cada caso. Adotou-se valor de TripAlert igual a 3 para a função *data-mining* com n igual a 5 ciclos e TripAlert igual a 2 para a função *data-mining* com n igual a 10 ciclos.

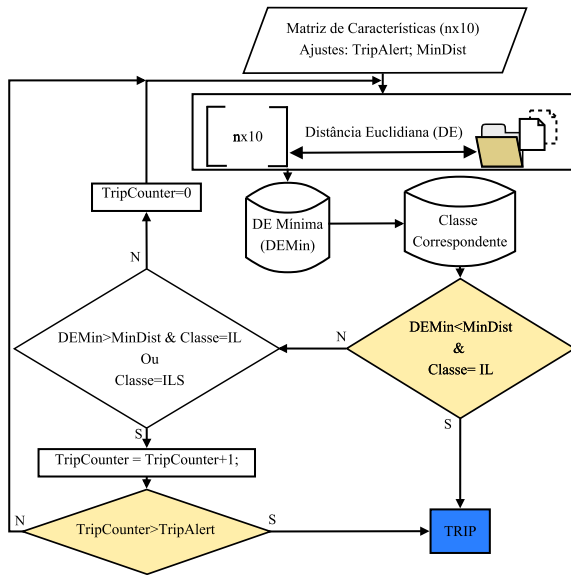


Figura 3. Função Data-Mining para Proteção Anti-Ilhamento

V. RESULTADOS

Os resultados são divididos em duas seções. A primeira apresenta a aplicação do DAMICORE na tarefa de identifica-

ção de padrões de ilhamento. Desse estudo derivam as informações necessárias para os projetos das funções *data-mining*. A segunda apresenta o desempenho do algoritmo de proteção frente a simulações de ilhamento, chaveamento de carga e faltas fase-terra.

A. Estudo de identificação de padrões de ilhamento

Os arquivos de entrada são organizados conforme descrito na subseção *Extração das características*. Para investigar a influência da quantidade de ciclos na performance do método, assumiu-se n igual a 5 e 10 ciclos, resultando em 2 casos a serem analisados. Portanto, há duas pastas contendo as mesmas 39 simulações da Tabela I. Os arquivos em cada pasta são representados nos nós folha das árvores filogenéticas da Figura 4.

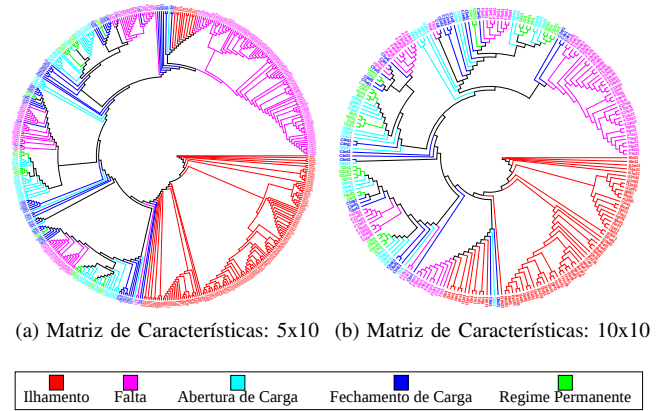


Figura 4. Árvores Filogenéticas do DAMICORE

Desse modo, em primeira instância é possível avaliar o desempenho do método por inspeção visual. Os nós folha de uma árvore filogenética do DAMICORE representam os dados (arquivos), separados por cores, de acordo com a classificação da Tabela I. Note que matrizes de parâmetros considerando operação em regime permanente também foram inseridas nos testes. Os nós internos da árvore, que conectam os nós folha, representam as relações entre os dados. Da Figura 4, é possível verificar tendências de clusterização dos casos de ilhamento, isto é, tendências de formar conjunto de clados de ilhamento, que os separa de outros eventos. Na Figura 4a há um grande grupo de folhas classificadas como ilhamento, porém há um menor, também classificado como ilhamento, que não se manteve unido ao grande grupo. Isso indica que o método pode não classificar corretamente todas as situações de ilhamento. Contudo, note que com o aumento do número de ciclos (Figura 4b), esse erro tende a ser eliminado. Isso ocorre porque a informação pós distúrbio de um ciclo não é suficiente para caracterizar um evento com confiabilidade, por exemplo, o primeiro ciclo de ilhamento pode ser facilmente confundido com um ciclo de chaveamento de carga. Essa confusão tende a diminuir a medida que o número de ciclos aumenta. Todavia, quanto maior o número de ciclos, mais tempo levará para o método detectar uma situação de ilhamento. Portanto, a escolha do número de ciclos é uma solução de compromisso entre a precisão e velocidade dos métodos.

Análises adicionais, derivadas da Tabela III, foram obtidas após executar o FN sob as *árvores filogenéticas* da Figura 4. Na Tabela III, o tipo de cluster representa um conjunto de dados que define o respectivo cluster. O índice de clusters representam nomes de identificação dado pelo DAMICORE para cada cluster encontrado. Então, o cluster do tipo 3 contém apenas dados de chaveamento de carga com índices 25 e 27 na árvore (a). Note que os tipos de clusters de 1 a 3 estão relacionados a clusters de eventos exclusivos. Por outro lado, os clusters de 4 a 9 representam clusters onde dois ou mais eventos são agrupados, pois seus dados são vistos similares pelo DAMICORE. Além disso, é comum encontrar um conjunto de clusters do mesmo tipo para representar uma classe. Isso acontece porque o FN encontra grupos com alto grau de independência na *árvore filogenética*.

Tabela III
CARACTERÍSTICAS DOS CLUSTERS DO DAMICORE

Tipo de Cluster	Dados nos Clusters	Índice de Clusters	
		Árvore (a)	Árvore (b)
1	Ilhamento	3 9 14 15 18 20 24 32	15 19 20 21
2	Falta	2 11 16 17 21 22	3 4 10 17
3	Chaveamento de Carga	25 27	9 18
4	Ilhamento Falta	1	1
5	Ilhamento Chaveamento de Carga	12	16
6	Falta Chaveamento de Carga	5 6 23 28 29	6 7 14
7	Regime Permanente Chaveamento de Carga	4 10 13 30 31	12 13
8	Ilhamento Falta Chaveamento de Carga	8	-
9	Falta Regime Permanente Chaveamento de Carga	7 19 26	2 5 8 11
Número Total de Clusters		32	21

Na Tabela III, observa-se em (a), a confirmação de características da inspeção visual das *árvores filogenéticas*. Um conjunto de clusters que contem exclusivamente dados de ilhamento foi encontrado. Com o aumento do número de ciclos no caso (b), a quantidade de clusters com classes múltiplas diminui. Isso melhora o desempenho do método. Em ambos os casos a operação em regime permanente não se separa dos demais eventos. Os estudos dos padrões dos casos (a) e (b) foram utilizados para projetar as *funções data-mining*. O cluster do tipo 1 representa a classe ilhamento, os clusters do tipo (4, 5, 8) representam a classe suspeita de ilhamento e os demais representam a classe não-ilhamento.

B. Testes dos algoritmos de proteção

As funções de proteção a serem avaliadas são três no total. Entre elas estão as *funções data-mining* com n igual a 5 e 10 ciclos. Adicionalmente, há um relé de frequência com tensão

mínima de operação de $0,5 p.u.$, ajuste de sub/sobre frequência de $\pm 0,5 Hz$ da frequência de $60 Hz$ temporizado em $150 ms$ e ajuste de sub/sobre frequência instantâneo de $\pm 1,5 Hz$ da frequência de $60 Hz$.

Para testar o desempenho dos algoritmos de proteção coletou-se o instante de tempo dos sinais de abertura (trip) de 180 simulações. São elas, 60 casos de ilhamento, 60 casos de chaveamento de carga e 60 casos de faltas fase-terra junto as cargas do sistema da Figura 1. Nessas simulações variou-se os seguintes parâmetros. A referência potência ativa do gerador síncrono de $(0,05 \ 0,27 \ 0,40 \ 0,94)p.u$ e o instante de ocorrência dos eventos $(4,85 \ 7,24 \ 8,09)s$ de simulações de $12 s$ de duração. Diferentes cenários de carregamento do sistema também foram considerados.

Na Figura 5 estão representados apenas os casos ilhamento, uma vez que, não houve falsa detecção no restante das simulações para nenhuma das funções de proteção anti-ilhamento. A princípio houve a detecção do ilhamento em todos os casos e para todas as funções de proteção. No caso das *funções data-mining*, os tempos de detecção apresentaram tendências de comportamento constantes se comparados com o relé de frequência. A resposta do relé de frequência é sensibilizada com o desbalanço de potência ativa. Por isso, existem cenários em que o tempo de detecção de ilhamento é menor que as *funções data-mining* e outras situações em que o tempo de detecção é longo em demasia, ultrapassando o valor de $1.500 ms$. De um modo geral, a *função data-mining* com n igual a 5 ciclos apresenta tempos de detecção menores que o de 10 ciclos devido a própria característica do mesmo. No entanto, o uso da rotina do contador de ilhamento suspeito se faz mais necessária para a *função data-mining* de $n = 5$ ciclos, visto que a qualidade da classificação obtida pelo DAMICORE foi um pouco menor. Por isso em alguns casos o tempo de detecção é maior que a *função data-mining* de $n = 10$ ciclos. Em ambas as *funções data-mining* os tempos de detecção não ultrapassam a marca de $500 ms$.

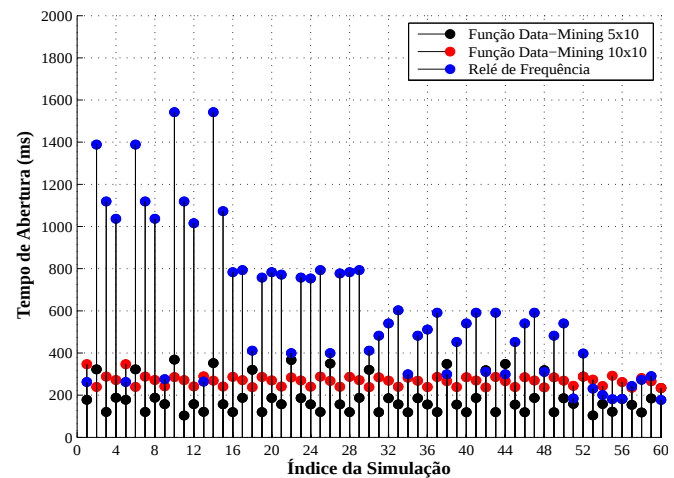


Figura 5. Teste dos algoritmos de proteção anti-ilhamento

VI. CONCLUSÃO

Nesse artigo investigou-se o potencial da técnica DAMICORE aplicada ao problema da detecção de ilhamento

de geradores síncronos distribuídos. Trata-se de uma nova aplicação dessa técnica. Os resultados mostram que o DAMICORE possui boa capacidade para diferenciar condições de ilhamento de outros distúrbios. O desempenho do método é influenciado pelo número de ciclos, isto é, quanto maior a quantidade de ciclos, melhor o desempenho da classificação. Todavia, deve haver um balanço entre a velocidade e a seletividade do método. A *função data-mining* com n igual a 5 ciclos apresentou os menores tempos de detecção para a maioria dos casos. No entanto, em casos particulares a *função data-mining* com n igual a 10 ciclos supera em velocidade de detecção e apresenta o perfil constante mais evidente entre as funções. Essa característica mostra que o desempenho da classificação pode melhorar aumentando a quantidade de ciclos utilizada pelo método. De um modo geral, em ambas as *funções data-mining* os tempos de detecção foram menores que 500 *ms* superando, na maioria dos casos, em velocidade de detecção o relé de frequência. Há casos em que o relé de frequência pode apresentar tempos de detecção menores que as *funções data-mining*. Como o relé de frequência é mais influenciado pelo desbalanço de potência do que as *funções do data-mining*, ambas podem ser utilizadas em paralelo na proteção anti-ilhamento e podem ser investigadas em trabalhos futuros.

APÊNDICE

PARÂMETROS DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Esse apêndice apresenta nas Tabelas IV a VII os parâmetros para a modelagem dos seguintes equipamentos do sistema elétrico: gerador síncrono; regulador de tensão e sistema de excitação; turbina a vapor e regulador; e transformadores. Adicionalmente, os dados das cargas, linhas de distribuição, ligações dos enrolamentos dos transformadores, e as tensões de fase nominais são apresentadas na Figura 1.

Tabela IV
PARÂMETROS DO GERADOR SÍNCRONO

Parâmetros	Valores	Unidade
Pares de polos	2	—
Potência Nominal	12	MVA
Tensão Nominal	11,9	kV
Constante de Inércia	2	s
Reatâncias [Xd, X'd, X''d]	[2, 393 0, 305 0, 216]	p.u
Reatâncias [Xq, X'q, X''q]	[1, 209 0, 221 0, 05]	p.u
Constantes de tempo [Tdo', Tdo'', T'qo, T'qo'']	[7, 19 0, 052 — 0, 202]	s
Resistência do Estator	0,0039	p.u
Reatância de dispersão	0,05	p.u

REFERÊNCIAS

- [1] N. Jenkins, J. B. Ekanayake, and G. Strbac, *Distributed Generation*. Institution of Engineering and Technology, 2010.
- [2] T. S. Basso and R. DeBlasio, "IEEE 1547 series of standards: inter-connection issues," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 5, pp. 1159–1162, 2004.
- [3] P. Mahat, Z. Chen, and B. Bak-Jensen, "Review of islanding detection methods for distributed generation," in *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on*, April 2008, pp. 2743–2748.
- [4] S. Kar and S. Samantaray, "Data-mining-based intelligent anti-islanding protection relay for distributed generations," *Generation, Transmission Distribution, IET*, vol. 8, no. 4, pp. 629–639, April 2014.

Tabela V
PARÂMETROS DO REGULADOR DE TENSÃO E SISTEMA DE EXCITAÇÃO

Parâmetros	Valores	Unidade
Constante de tempo do filtro passa-baixas [Tr]	0,005	s
Ganho do regulador e constante de tempo [Ka, Ta]	[200 0, 1]	[— s]
Excitatriz [Ke, Te]	[1 0]	[— s]
Ganho de redução transitória [Tb, Tc]	[0 0]	s
Ganho do filtro de amortecimento e constante de tempo [Kf, Tf]	[0,048 0,95]	[— s]
Limites de saída do regulador and ganho [Efmin, Efmax, Kp]	[—6 6 0]	[p.u p.u —]
Condição inicial da tensão terminal e tensão de campo [Vt0, Vf0]	[1 2, 47164]	p.u

Tabela VI
PARÂMETROS DA TURBINA A VAPOR E REGULADOR DE VELOCIDADE

Parâmetros	Valores	Unidade
Ganho do Regulador, droop permanente, zona morta [Kp Rp Dz]	[1 0,05 0]	[— p.u p.u]
Constantes de tempo do relé de velocidade e servo-motor [Tsr, Tsm]	[0,001 0,005]	s
Limites do controle de abertura [vgmin, vgmax, gmin, gmax]	[—10 10 0 1]	[$\frac{p.u}{s}$ $\frac{p.u}{s}$ p.u p.u]
Velocidade nominal	3.600	rpm
Constantes de tempo da turbina [T2, T3, T4, T5]	[0 0 0,3 0]	s
Frações do torque da turbina [F2 F3 F4 F5]	[0 0 1 0]	—

Tabela VII
PARÂMETROS DOS TRANSFORMADORES

Parâmetros	TR B0	TR B4	TR B2	TR B7	Unidade
Resistência	0	0	0	0	p.u
Reatância	0,07375	0,03	0,01625	0,01625	p.u

- [5] M. ElNozahy, E. El-Saadany, and M. Salama, "A robust wavelet-ann based technique for islanding detection," in *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, July 2011, pp. 1–8.
- [6] P. Dash, S. Barik, and R. Patnaik, "Detection and classification of islanding and nonislanding events in distributed generation based on fuzzy decision tree," *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 25, no. 6, pp. 699–719, 2014.
- [7] B. de Abreu Silva, L. A. Cuminato, A. C. Delbem, P. C. Diniz, and V. Bonato, "Application-oriented cache memory configuration for energy efficiency in multi-cores," *IET Computers & Digital Techniques*, vol. 9, no. 1, pp. 73–81, 2014.
- [8] R. Cilibrasi and P. Vitanyi, "Clustering by compression," *Information Theory, IEEE Transactions on*, vol. 51, no. 4, pp. 1523–1545, April 2005.
- [9] N. Saitou and M. Nei, "The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees," *Molecular biology and evolution*, vol. 4, no. 4, pp. 406–425, 1987.
- [10] M. E. Newman, "Fast algorithm for detecting community structure in networks," *Physical review E*, vol. 69, no. 6, p. 066133, 2004.
- [11] A. Sanches, J. M. Cardoso, and A. C. Delbem, "Identifying merge-beneficial software kernels for hardware implementation," in *Reconfigurable Computing and FPGAs (ReConFig), 2011 International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 74–79.
- [12] P. Kundur, N. J. Balu, and M. G. Lauby, *Power system stability and control*. McGraw-hill New York, 1994, vol. 7.
- [13] I. Report, "Dynamic models for steam and hydro turbines in power system studies," *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, vol. PAS-92, no. 6, pp. 1904–1915, Nov 1973.
- [14] "IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies," *IEEE Std 421.5-1992*, 1992.