

PROCESSAMENTO DE ALARMES E DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS DE POTÊNCIA UTILIZANDO A REDE GRNN E OS ALGORITMOS GENÉTICOS

PAULO C. FRITZEN^{1,2}, JOÃO M. ZAUKE², GHENDY CARDOSO JR², ADRIANO P. DE MORAIS², e UBIRATAN H. BEZERRA³ e JOAQUIM A. P. M. BECK⁴

¹Laboratório da Área Indústria, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, IFTO, Campus Palmas, AE 310 Sul, LO 05, Plano Diretor Sul, CEP 77021-090, Palmas-TO

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Avenida Roraima 1000, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria-RS

³Núcleo de Energia, Sistemas e Comunicação, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém-PA

⁴Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, Eletronorte, SCN, Quadra 06, Conjunto A, Blocos B e C, Entrada Norte 2, Asa Norte, CEP.: 70.716-901, Brasília - DF

E-mails: paulocicero@ifto.edu.br; joaozauk@gmail.com; ghendy@smail.ufsm.br, adriano@mail.ufsm.br, bira@ufpa.br

Resumo – O presente trabalho aborda aspectos relativos ao problema de processamento de alarmes e diagnóstico de faltas, tendo como finalidade filtrar os alarmes gerados durante um desligamento e identificar o equipamento sob falta. Foi desenvolvida uma metodologia onde as Redes Neurais Artificiais (RNAs) e os Algoritmos Genéticos (AGs) se complementam de modo a resolver o problema. Esse procedimento teve como iniciativa explorar a capacidade dos AGs em lidar com problemas de natureza combinatória, assim como a velocidade de processamento e a capacidade de generalização das RNAs. Tal estratégia favorece um modo de solução rápido e robusto.

Palavras-chave – Processamento de Alarmes, Algoritmo Genético, Redes Neurais, Diagnóstico de Faltas, Supervisão e Controle de Sistemas Elétricos.

1 Introdução

A utilização de ferramentas computacionais de apoio à tomada de decisão tem se tornado imprescindível nos centros de operação e controle dos sistemas elétricos, principalmente no que diz respeito ao restabelecimento do mesmo ao seu estado normal de operação.

Os esquemas de proteção são elaborados de modo a isolar a falta o mais rápido possível, por meio do desligamento da menor quantidade de equipamentos. Os alarmes são disparados de modo a sinalizar a operação dos relés de proteção, enviando os códigos com informações para os centros de controle.

O operador com base nestas informações deve usar a sua experiência e decidir o que exatamente aconteceu com o sistema. Essa tarefa muitas vezes não é trivial, pois existe a possibilidade de ocorrência de eventos múltiplos, falha ou operação indevida de relés, falha de disjuntores e falha em unidades remotas de aquisição de dados.

Os operadores de Sistema de Potência podem ser surpreendidos por um devastador número de alarmes reportados em virtude da ocorrência de contingências em um grande sistema elétrico. Se esses alarmes não forem filtrados ou processados de acordo com a sua importância e agrupados dentro de uma janela de tempo capaz de definir um determinado evento, eles por si só podem confundir o operador, que geralmente necessita julgar a ocorrência e tomar ações rápidas de modo a restaurar o suprimento de energia.

Na tentativa de diminuir a possibilidade de erro durante a tarefa de analisar os alarmes disparados em virtude da operação de relés de proteção são desenvolvidas as ferramentas computacionais de processamento de alarmes e diagnóstico de faltas [1].

A função de um processador de alarmes é agrupar, selecionar e apresentar ao operador apenas os alarmes mais importantes [2]. Conforme [3] o processador inteligente de alarmes deve também sugerir ações de controle corretivas quando necessário. Assim o processador de alarmes ajuda o operador a concluir sensatamente e rapidamente sobre os alarmes recebidos, descartando informações redundantes e irrelevantes [4].

Este trabalho propõe um método para o processamento de alarmes fundamentado nos algoritmos genéticos e nas redes neurais artificiais.

2 Redes Neurais e Algoritmos Genéticos

A minimização dos esforços humanos tem sido um dos objetivos da engenharia, que vem desenvolvendo técnicas e implementações que possam realizar as mesmas tarefas que o homem. Dentre essas técnicas e implementações, encontram-se as Redes Neurais, que devido à capacidade de aprendizado, generalização e classificação, são utilizadas em reconhecimento de padrões, controle, modelagem, aproximação de funções, entre outras.

A topologia GRNN (Generalized Regression Neural Network) pode possuir múltiplas camadas interconectadas, onde cada neurônio da unidade padrão é um centro de agrupamento, sendo que o número de neurônios dessa camada é igual ao número de exemplares utilizados para representar o conhecimento.

A performance da rede é influenciada pelo ajuste do bias (spread) e pelos padrões armazenados. Portanto, para um valor de spread muito grande a rede generaliza demasiadamente, enquanto que um valor muito pequeno torna a rede incapaz de generalizar [5].

A rede GRNN pode ser utilizada para fins de previsão, modelagem, mapeamento, interpolação ou controle. Uma das principais vantagens da aplicação da GRNN está no fato de que seu processo de aprendizado ocorre em um único passo [5].

Os algoritmos genéticos (AGs) são modelos computacionais inspirados na evolução das espécies, que incorporam uma solução potencial para um problema específico.

Os AGs pertencem à classe dos métodos probabilísticos de busca e otimização, embora não seja uma mera busca aleatória. Como características que diferenciam o AG de outros métodos, destacam-se [6]:

- Utiliza um conjunto de pontos (soluções-candidatas);
- Opera em um espaço de soluções codificadas;
- Requer apenas informação sobre a função-objetivo a ser otimizada, e avaliada para cada membro da população.

3 Metodologia

Este artigo aborda aspectos relativos ao problema de processamento de alarmes e diagnóstico de faltas, tendo como finalidade filtrar os alarmes gerados durante um desligamento e identificar o equipamento sob falta. Assim, foi desenvolvida uma metodologia onde as Redes Neurais Artificiais (RNAs) e os Algoritmos Genéticos (AGs) se complementam de modo a resolver o problema.

O método proposto é composto por duas etapas. A primeira utiliza a técnica de inteligência artificial baseadas nas RNAs mais especificamente na rede neural de regressão generalizada (GRNN). A segunda utiliza os AGs, que atua na lógica que relaciona os relés aos disjuntores. Para facilitar o entendimento do método de solução proposto, foi elaborado o fluxograma mostrado na figura 1. Assim, os alarmes recebidos pelo sistema de aquisição de dados (SCADA) alimentam o sistema proposto com informações relativas ao disparo de relés e estado de disjuntores. As informações de disparo dos relés são processadas pela GRNN, e as informações dos disjuntores juntamente com a saída da GRNN são tratadas pelo AG, que por sua vez fornecem o diagnóstico para a falta.

O processamento realizado pelo treinamento da GRNN facilita a uma resposta final mais rápida e precisa porque diminui a quantidade de informações processadas pelo AG reduzindo muito seu esforço computacional. Desta maneira, a GRNN é treinada considerando apenas os equipamentos do sistema elétrico de forma isolada, ou seja, independentemente da topologia do sistema elétrico, o que traz benefícios, pois o treinamento independe da configuração do sistema elétrico. O AG faz a análise do da proteção do sistema elétrico como um todo, recebendo o processamento realizado pela GRNN acrescido dos estado (status) dos disjuntores.

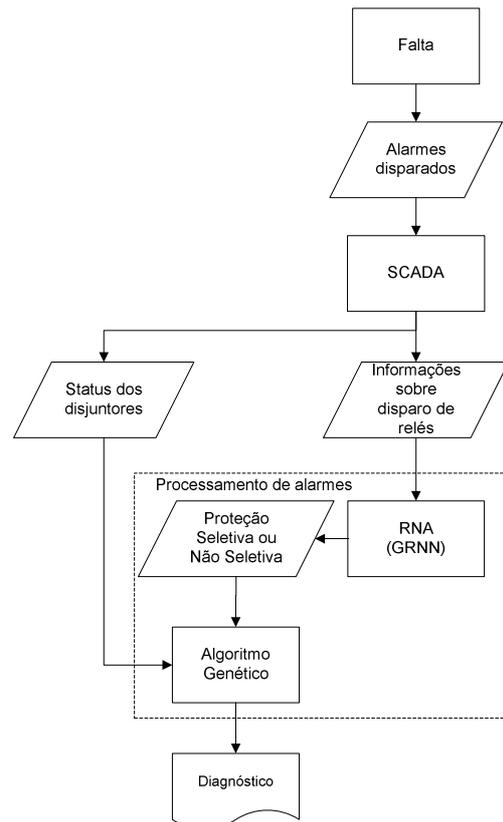


Figura 1. Fluxograma do processamento de alarmes e diagnóstico de faltas pela associação da RNA e do AG

3.1 Sistema teste

Foi utilizando o sistema elétrico mostrado na figura 2. Esse é o mesmo utilizado em [7]. O sistema teste possui 12 barras, 8 linhas de transmissão, 8 transformadores e 40 disjuntores. Os algoritmos que compõem a ferramenta proposta foram implementados no MatLab®.

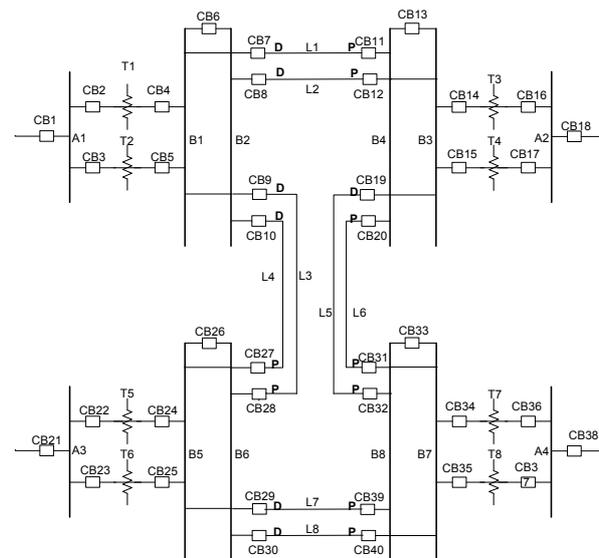


Figura 2. Sistema Teste

3.2 Filosofia de proteção

A proteção de sistemas elétricos é realizada por meio de relés, que por sua vez enviam um sinal de abertura aos disjuntores de modo a isolar o defeito, mantendo a integridade do restante do sistema.

A proteção primária, a proteção de retaguarda, e os relés auxiliares, compreendem os princípios fundamentais do sistema de proteção.

Para representar a lógica de proteção de barras, linhas de transmissão e transformadores, com o auxílio da GRNN são modeladas e treinadas redes especializadas. A figura 3 mostra os dispositivos de proteção associados ao Transformador, e possuem as seguintes definições:

- 87 – relé diferencial;
- 63 T – relé Buchholz ;
- 63 VS – válvula de segurança;
- 63 C – relé de pressão do comutador sob carga;
- 51 D – relé de sobrecorrente de fase temporizado, do lado D;
- 51 Np – relé de sobrecorrente de neutro temporizado;
- 51 P - relé de sobrecorrente de fase temporizado, do lado P.

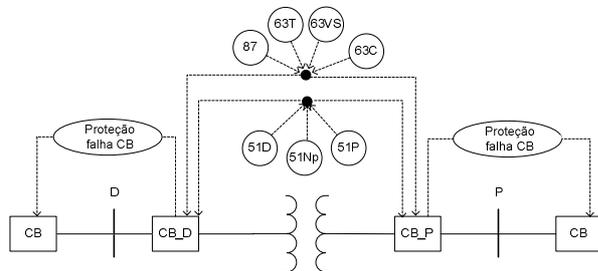


Figura 3. Dispositivos de proteção associados ao Transformador

A proteção pode ser do tipo principal ou retaguarda. A primeira diz respeito à rápida retirada de serviço de um elemento do sistema, quando nesse ocorrer algum defeito. Esse tipo de proteção é seletiva e de alta velocidade. A segunda tem a função de operar quando a proteção primária falhar ou quando a mesma encontrar-se em manutenção (assumindo o papel da proteção primária). É desejável que os relés de retaguarda sejam arranjados independentemente das possíveis razões de falha da proteção primária.

Quando ocorrer uma falha na abertura do disjuntor, de modo a diminuir o tempo de eliminação da falta, é utilizada a função falha de disjuntor, neste trabalho chamada “proteção falha CB”, como mostra a figuras 3.

Para exemplificar a lógica de proteção considere uma falta qualquer no transformador T1 mostrado na figura 2. Os relés associados à proteção principal do

transformador T1 (PPT1) devem atuar enviando sinal de abertura aos disjuntores CB2 e CB4. Contudo, caso o disjuntor CB2 venha falhar, haverá o disparo da proteção de falha de disjuntor, a qual implicará na abertura dos disjuntores CB1, CB2 e CB3.

3.3 Redes GRNN

A função das redes neurais é realizar um pré-processamento da lógica de operação dos relés associados a cada equipamento. Foram treinadas 03 redes neurais, cada dedicada a um equipamento, ou seja: transformador, linha de transmissão e barramento.

Cada neurônio de entrada representa um relé de proteção e cada neurônio de saída representa uma classificação sobre o tipo de proteção. A representação binária foi utilizada para representar os vetores de entrada. Assim, o valor binário “1” indica recepção de alarme associado ao relé, enquanto que o valor “0” indica a não recepção de alarme.

A rede GRNN foi a escolhida, por ter um processo de treinamento rápido, que matematicamente ocorre em um único passo. Essa característica é ideal em aplicações envolvendo sistemas reais, pois facilita a inclusão de novos padrões de treinamento e customização para outros equipamentos com lógicas de relés diferenciadas.

As saídas das redes foram codificadas da seguinte forma:

- nas Barras: Proteção Seletiva de Barras (PSB) e Proteção de Sob e/ou Sub Tensão na Barra (PSSTB);
- nas Linhas: Proteção Principal de Linha (PPL), Falta externa em direção ao lado D (FextLD) e Falta externa em direção ao lado P (FextLP);
- nos Transformadores: Proteção Seletiva do Transformador (PST) e Proteção Não Seletiva (PNS).

O treinamento da rede foi concebido por meio de ajuste no “spread”. Este ajuste foi feito através de verificação, e depois de vários testes chegou-se aos seguintes valores: 0,3 para a rede utilizada para modelar a filosofia de proteção de barra, 0,37 para a rede de transformadores e 0,35 para a rede de linhas de transmissão. A tabela 1 mostra alguns dos casos utilizados no treinamento da rede neural que representa os transformadores.

Tabela 1. Lógica de operação dos relés associados ao transformador

Relés	Casos																					
	1	2	3	...	16	17	18	19	20	...	32	33	34	...	96	97	...	112	113	...	126	127
87	0	0	0	...	0	0	0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	...	0	0	...	1	1
63 T	0	0	0	...	0	0	0	0	1	...	0	0	0	...	0	0	...	0	0	...	1	1
63 VS	0	1	1	...	0	0	1	1	0	...	0	0	1	...	0	0	...	0	0	...	1	1
63 C	1	0	1	...	0	1	0	1	0	...	0	1	0	...	0	1	...	0	1	...	0	1
51 D	0	0	0	...	0	0	0	0	0	...	0	0	0	...	1	1	...	1	1	...	1	1
51 P	0	0	0	...	0	0	0	0	0	...	1	1	1	...	1	1	...	1	1	...	1	1
51 Np	0	0	0	...	1	1	1	1	1	...	0	0	0	...	0	0	...	1	1	...	1	1
Tipo	A	A	A	...	B	A	A	A	A	...	B	A	A	...	B	A	...	B	A	...	A	A

A – Proteção Seletiva (PS) B – Proteção Não Seletiva (PNS)

3.4 Parametrização do AG

O AG é utilizado como um meio de modelar a filosofia de proteção de modo integrado, ou seja, considerando a inter-relação entre os relés associados a cada equipamento. Para tal, são consideradas as saídas das redes neurais e os estados de disjuntores (CB).

O critério que reflete as exigências para resolver o problema de estimação da seção em falta é fundamentado na teoria da parsimonia, ou seja, a hipótese mais simples capaz de explicar os alarmes recebidos deve ser a solução. Desta forma utiliza-se um critério minimizador, cuja função objetivo pode ser formulada matematicamente pela seguinte expressão:

$$\text{Min } f(e) = -W + w_1 [\Delta A] + w_2 E \quad (1)$$

Onde:

A variável E é a hipótese expressa em forma de vetor de n_e elementos, sendo que n_e é número de possíveis eventos. Cada elemento do vetor E representa o estado de um evento incluído em Es, recebendo 0 (se o evento não ocorreu) e 1 (se o evento ocorreu). Sendo Es definido como o conjunto de eventos do sistema.

W = constante que garante o valor negativo da função de aptidão, independentemente dos valores das variáveis;

w1, w2 = coeficientes positivos de pesos, que irão definir a importância relativa de cada termo;

ΔA é um vetor de n_a elementos, sendo n_a o número de possíveis alarmes, que depende de outros dois vetores Ar e Am(E). Ar é o vetor de alarmes recebido (0 representa o alarme não recebido e 1 o recebido) e Am(E) é o vetor de alarmes esperados para os eventos que compõem E. ΔA é determinado pela subtração dos

elementos dos vetores Ar e Am(E), criando assim um vetor diferença. $[\Delta A]$ é a quantidade de não zeros do vetor ΔA . Este termo representa a inconsistência dos eventos dados como respostas e o ocorrido, representando a quantidade de alarmes não justificados pela resposta ou alarmes que estariam faltando no evento por alguma falha de comunicação.

[E] = quantidade de não zeros contida em E, representando o número de eventos que o compõem. Tomando a resposta mais simples como a mais correta. Seguindo o princípio da parcimônia.

Para o sistema teste da figura 2 foram mapeados 116 alarmes e 132 eventos. Esses eventos são constituídos por padrões de alarmes que representam casos em que a proteção operou corretamente sem falhas, e casos com uma falha de relé ou disjuntor. Este critério foi utilizado de modo a restringir o número de eventos a no máximo um modo de falha. Na tabela 2 são apresentados 14 eventos, cada qual associado ao seu respectivo conjunto de alarmes esperados.

Vários parâmetros do AG podem ser escolhidos no sentido de melhorar o seu desempenho, adaptando-o às características particulares de cada problema. Assim, o AG foi ajustado, experimentalmente, em:

- tamanho da população = 1000;
- número de gerações = 60;
- probabilidade de cruzamento = 0,8;
- probabilidade de mutação = 0,001.

O critério de parada adotado é o número máximo de gerações.

Tabela 2. Relação entre Eventos e Alarmes

Evento	Diagnóstico	Alarmes Esperados	Detalhamento
1	Trafo T1	PST1, CB2, CB4	Atuação O.K.
5	Trafo T2	PST2, CB3, CB5	Atuação O.K.
23	Trafo T6	PST6, CB21, CB22, CB25, PSSTBB5	Falha no CB23
33	Linha L1	PPL1, CB7, CB11	Atuação O.K.
36	Linha L1	PPL1, CB7, CB13, CB20, PSSTBB4	Falha no CB11
49	Linha L5	PPL5, CB19, CB32	Atuação O.K.
52	Linha L2	PPL5, CB19, CB33, CB39, PSSTBB8	Falha CB32
70	Linha L4	PSBA2, CB17, CB17, CB18, PSSTBA2	Atuação O.K.
86	Barra B1	PSSTBB1, CB4, CB5, CB11, CB12, CB27, CB28, PNST1, PNST2, FextL1D, FextL2D, FextL3D, FextL4D, PSSTBB2	Falha PSB
93	Barra B2	PSSTBB2, CB4, CB5, CB11, CB12, CB27, CB28, PNST1, PNST2, FextL1D, FextL2D, FextL3D, FextL4D, PSSTBB1	Falha PSB
104	Barra B4	PSBB4, CB11, CB13, CB20, PSSTBB4	Atuação O.K.
115	Barra B5	PSBB5, CB24, CB25, CB26, CB27, CB39, FextL7D, PSSTBB5	Falha CB29
128	Barra B3	PSBB8, CB32, CB33, CB39, PSSTBB8	Atuação O.K.
131	Barra B8	PSBB8, CB31, CB32, CB34, CB35, CB39, CB40, PSSTBB8, PSSTBB7	Falha no CB20

Tabela 3 – Resposta da GRNN pela relação entre Eventos e Alarmes do Transformador

Evento	Alarmes Esperados	Diagnóstico	Resposta GRNN (PS / PNS)
16	51Np	PNS	0.0018 / 0.9977
19	63Vs, 63C, 51Np	PS	1.000 / 0.000
34	63Vs, 51P	PS	0.9995 / 0.0005
48	51P, 51Np	PNS	0.0018 / 0.9982
67	63Vs, 63C, 51D	PS	1.000 / 0.000
80	51D, 51Np	PNS	0.0018 / 0.9982
88	87, 51D, 51Np	PS	0.9995 / 0.0005
92	87, 63T, 51D, 51Np	PS	1.000 / 0.000
97	63C, 51D, 51P	PS	0.9995 / 0.0005
123	87, 63Vs, 63C, 51D, 51P, 51Np	PS	1.000 / 0.000

4 Resultados

Alguns dos testes aplicados a rede GRNN do transformador estão demonstrados na tabela 3, que mostra a atuação da proteção seletiva ou não seletiva para cada conjunto de alarmes.

O método proposto foi analisado com base em diversos casos, mas aqui apenas 10 casos são apresentados, juntamente com o resultado obtido, na tabela 4.

A seguir é apresentada uma análise dos casos apresentados na tabela 4.

1 a 3: são casos simples, onde o conjunto de alarmes recebidos é idêntico ao conjunto de alarmes de um evento contido na base de dados do AG.

4 e 5: nestes casos houve a falha de um alarme, ou seja, não foi recebido. Apesar da falta do alarme o algoritmo diagnosticou corretamente cada evento.

6: contempla a não recepção (falha) de um alarme que deveria ter sido reportado.

7: dois eventos distintos justificam corretamente os alarmes recebidos.

8: duas respostas com dois eventos cada, cobrem todos os alarmes recebidos.

9 e 10: nestes casos dois eventos ocorreram simultaneamente.

5 Conclusões

Neste artigo foi proposto um método de processamento de alarmes e diagnóstico de faltas, que explora os recursos das Redes Neurais Artificiais e dos Algoritmos Genéticos.

As redes neurais foram utilizadas com o objetivo de inferir, com base nas sinalizações sobre disparo de relés, se a proteção do equipamento operou no modo seletivo ou não seletivo. Por meio desta estratégia consegue-se reduzir significativamente o número de mensagens que sinalizam a atuação de relés de proteção. A rede GRNN foi escolhida por ter um processo de treinamento rápido, que matematicamente ocorre em um único passo. Essa característica é ideal em aplicações envolvendo sistemas reais, pois facilita a inclusão de novos padrões de treinamento e a customização para outros equipamentos com lógicas de relés diferenciadas.

Os AGs foram utilizados de modo a representar a filosofia de proteção relacionando a saída das redes GRNN com os estados dos disjuntores. Por meio desse foi possível modelar o modo como as proteções dos diversos equipamentos de rede enxergam o defeito durante uma falta.

Os resultados mostram que o método proposto é promissor, pois é capaz de lidar com as incertezas inerentes ao problema, além de tratar de modo natural a possibilidade de ocorrência de faltas simultâneas.

6 Referências Bibliográficas

- [1] Cardoso Jr., G. Estimação da Seção em Falta em Sistemas Elétricos de Potência via Redes Neurais e Sistemas Especialistas Realizada em Nível de Centro de Controle. Florianópolis, 2003. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- [2] Fu, S. et al. "An Expert System for On-Line Diagnosis of System Faults and Emergency Control to Prevent a Blackout", IFAC Control of Power Plants and Power Systems – SIPOWER'95, Cancun, Mexico, 1995, pp. 303-308.
- [3] Vale, M. H. M. et al.. Sta – Alarm Processing System. VIII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica – VIII SEPOPE, Brasília, DF, Maio, 2002.
- [4] Gers, Juan M.; Holmes, Edward J.; Protection of electricity distribution networks – 2nd ed. The Institution of Electrical Engineers – IEE, London, United Kingdom, 2004.
- [5] Specht, D. F., "A General Regression Neural Network". IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 2, Nº 6 (Nov.), 1991, pp. 558–576.
- [6] Tanomaru, J. "Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos". In: II Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Anais. Curitiba, PR, Brasil: [s.n.], 1995.
- [7] Wen, F. S.; Chang, C.S.; Srinivasan, D.; 1995. "Probabilistic approach for fault-section estimation in power systems based on a refined genetic algorithm". IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. Vol. 144, nº 2, March, 1997, p. 160-168.

Tabela 4 – Resultados Obtidos

Caso	Eventos recebidos	Eventos que explicam os Alarmes Recebidos
1	PST2, CB3, CB5	E5
2	PSBA2, CB17, CB17, CB18, PSSTBA2	E70
3	PSBB8, CB31, CB32, CB34, CB35, CB39, CB40, PSSTBB8, PSSTBB7	E131
4	PPL1, CB7, CB11, <i>FextL1D</i>	E33 (um alarme falso)
5	PSBB8, CB31, CB32, CB34, CB35, CB39, CB40, PSSTBB8, PSSTBB7, <i>CB30</i>	E131 (um alarme falso)
6	CB2, CB4	E1 (faltando PST1)
7	PSSTBB1, CB4, CB5, CB11, CB12, CB27, CB28, PNST1, PNST2, <i>FextL1D</i> , <i>FextL2D</i> , <i>Fext3D</i> , <i>FextL4D</i> , PSSTBB2	E86 ou E93
8	PPL1, CB7, CB11, CB13, CB20, PSBB4, PSSTBB4	E33 e E104 ou E36 e E104
9	PSBB8, CB24, CB25, CB26, CB27, CB31, CB32, CB34, CB35, CB39, CB40, PSSTBB8, PSSTBB7, PSBB5, PSSTBB5, <i>FextL7D</i>	E131 e E115
10	PSBB8, CB19, CB31, CB32, CB33, CB34, CB35, CB39, CB40, PSSTBB8, PSSTBB7, PPL5	E131 e E52