

Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial na Análise de Ocorrência no Sistema: Neuranálise[©]

B. A. de Souza, N. S. D. Brito, K. M. Silva, K. M. C. Dantas, F. B. Costa

Universidade Federal de Campina Grande - DEE/GSE

Av. Aprígio Velo 882, Bodocongó. CEP. 58109-970, Campina Grande, PA-Brasil

benemar@dee.ufcg.edu.br, nubia@dee.ufcg.edu.br, kms@dee.ufcg.edu.br, karcus@dee.ufcg.edu.br, flabc@dee.ufcg.edu.br

J. J. A. L. Leitão

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF/DPA

Rua. Quinze de Março 50, Bongi. CEP. 58761-90, Recife, PE- Brasil

julio@chesf.gov.br

M. M. S. Lira

Departamento de Engenharia Elétrica e Sistemas de Potência - DEESP/UFPE

Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária. CEP. 50740-530 Recife, PE-Brasil

milde@ufpe.br

Resumo - Este artigo descreve o produto final de um projeto de pesquisa e desenvolvimento - P&D da Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF desenvolvido pela equipe do Departamento de Engenharia Elétrica – DEE/GSE da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, o qual resultou em um software de análise de ocorrência no sistema, denominado de Neuranálise[©]. O Neuranálise[©], por meio do uso de técnicas de inteligência artificial e transformada wavelet, identifica e classifica tipos de faltas elétricas no sistema de transmissão da CHESF. O Neuranálise[©] foi avaliado para situações de faltas simuladas e reais em linhas de transmissão da CHESF, apresentando bons resultados em ambos os casos. Atualmente, ele encontra-se implementado em escala piloto no sistema de monitoramento da LT 04V4 de 230 kV e 188 km, localizada entre as subestações de Campina Grande II e Natal II, pertencentes ao subsistema Leste da CHESF.

Palavras-chave: Transformada wavelet, redes neurais artificiais, diagnóstico de falta, linha de transmissão.

I. INTRODUÇÃO

No contexto de sistemas potência, o diagnóstico de faltas envolve as etapas de detecção, classificação e localização. Um diagnóstico rápido e preciso permite a eliminação imediata da falta, desativando apenas a parte defeituosa do sistema. Após a eliminação da falta, uma análise mais detalhada da ocorrência é de extrema importância para prevenir novos defeitos. Nesse momento, destaca-se a importância do sistema de oscilografia, cuja função é o constante monitoramento das tensões e correntes do sistema de potência e do estado dos equipamentos de proteção. Atualmente, o monitoramento é feito pelos Registradores

Digitais de Perturbações - RDPs, que quando interligados remotamente a computadores dedicados a aquisição de dados, configuram as chamadas redes oscilográficas.

As redes oscilográficas possuem, de um modo geral, um sistema de verificação e coleta das informações registradas pelos RDPs. Essas informações são coletadas automaticamente e organizadas em registros padronizados. Em seguida, são transferidas para o servidor central da oscilografia, onde são armazenadas e posteriormente, compartilhadas na rede corporativa da empresa (Figura 1).



Figura 1. Representação do processo de coleta automática de registros adquiridos pelos RDPs.

A oscilografia originalmente foi proposta para avaliar o desempenho dos sistemas de proteção. Entretanto, a tecnologia atual permite a concepção de RDPs capazes de registrar sinais utilizando altas frequências de amostragem, podendo também capturar eventos relacionados à qualidade da energia elétrica - QEE. Em contrapartida, isso pode provocar problemas relacionados ao armazenamento de uma grande quantidade de informações que não estão relacionadas a uma falta. Na verdade, na maioria das vezes, os RDPs são ativados de forma indevida por distúrbios relacionados à QEE como manobras de chaveamento, variações de cargas e afundamentos de tensão, bem como por manobras de energização e desligamento de componentes do sistema para manutenção.

Uma depuração prévia dos registros adquiridos pelos

Os autores agradecem ao apoio obtido pela CHESF, que é a financiadora do projeto.

RDPs é de fundamental importância. De fato, algoritmos de diagnóstico de faltas devem ser empregados para identificar os registros de faltas e permitir que esses sejam transferidos automaticamente para o servidor central da oscilografia.

Em relação à etapa de detecção da falta, alguns algoritmos utilizando redes neurais artificiais – RNAs vêm sendo propostos [1, 2, 3]. Por outro lado, a transformada wavelet - TW também vem sendo largamente empregada, devido a sua aplicabilidade na análise de sinais não estacionários, a exemplo dos sinais transitórios oriundos de faltas e distúrbios de QEE [4, 5]. No entanto, os métodos até agora propostos para detecção da falta distinguem-na apenas da situação normal de operação em regime permanente do sistema, não contemplando as demais situações de operação que podem ser registradas pelos RDPs.

A maioria das publicações relacionadas à classificação de faltas utilizam as RNAs [3, 6, 7]. Por outro lado, [8] aplicou a TW aos sinais de corrente para estabelecer regras de classificação da falta. Alternativamente, têm sido propostos alguns algoritmos que combinam diferentes técnicas de inteligência artificial e de processamento digital de sinais, sempre na tentativa de melhorar o desempenho dos métodos já propostos.

Como exemplos desses algoritmos híbridos se têm o algoritmo proposto por [9], que combina TW com RNA; o de [10], que emprega lógica fuzzy e RNA; e os algoritmos de [11] e [12], que combinam TW com lógica fuzzy. Entretanto, na maioria dos casos, apenas sinais de faltas oriundos de simulações em softwares do tipo EMTP são avaliados, não contemplando sinais de faltas reais.

Este artigo apresenta o produto de um projeto de P&D envolvendo a CHESF e o Grupo de Sistemas Elétricos da UFCG, que resultou num software de análise de registros oscilográficos tendo sido desenvolvido com base em RNAs e TW. Atualmente, ele encontra-se implementado em escala piloto no sistema de monitoramento da LT 04V4 de 230 kV e 188 km, localizada entre as subestações de Campina Grande II e Natal II, pertencentes ao subsistema Leste da CHESF. O Neuranálise© não permite que arquivos de eventos sem faltas sejam transferidos para o servidor central da oscilografia na CHESF, transferindo apenas aqueles com falta, juntamente com um arquivo na extensão .ana que indica, além do tipo e duração da falta presente neste registro, o horário de início e final da mesma. Este procedimento de filtragem, evita que arquivos de sinais de tensão e corrente sem nenhuma falta transite automaticamente na rede durante uma ocorrência no sistema, priorizando dessa forma o envio imediato dos arquivos relacionados com o evento de distúrbio para o servidor central da oscilografia.

II. CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os sinais de entrada da RNA são os valores amostrados de tensão e corrente provenientes dos canais analógicos dos RDPs que constituem a rede de oscilografia da empresa. A saída da RNA é a indicação do tipo de falta (Tabela I) a que se referem às amostras apresentadas como sinais de entrada.

A RNA implementada no Neuranálise© é uma Rede Perceptron de uma única camada oculta e aprendizado

supervisionado. Para RNA dessa classe é necessário se elaborar um conjunto de padrões que serão utilizados nas etapas de treinamento, validação e teste. A esse conjunto deu-se o nome de Base de Dados.

A partir da apresentação do subconjunto de padrões de treinamento, a RNA extrai as características de cada classe a ser identificada, adquirindo conhecimento sobre o problema. Periodicamente, essa fase é interrompida para apresentação do subconjunto de validação, cujos padrões são diferentes daqueles apresentados anteriormente, com o intuito de avaliar a qualidade do treinamento. Finalmente, para avaliar o desempenho da RNA, aplica-se o subconjunto de teste, que é constituído de padrões distintos dos apresentados à RNA até então, determinando-se a porcentagem de acerto alcançado na separação das classes desse conjunto.

Como os sinais provenientes dos RDPs possuem ruído e a RNA foi treinada com sinais simulados, o software executa uma filtragem nos sinais via transformada wavelet. Esse procedimento tem como objetivo tornar os sinais reais mais próximos dos simulados. Além da função de filtro, a transformada wavelet também estima a duração da falta.

TABELA I
ESQUEMA DE CODIFICAÇÃO DA SAÍDA DESEJADA DA RNA

Tipo de Falta	Saída Desejada			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
Fase A - terra	1	0	0	1
Fase B - terra	0	1	0	1
Fase C - terra	0	0	1	1
Fases AB	1	1	0	0
Fases AC	1	0	1	0
Fases BC	0	1	1	0
Fases AB - terra	1	1	0	1
Fases AC - terra	1	0	1	1
Fases BC - terra	0	1	1	1
Fases ABC	1	1	1	0

III. SOFTWARES DESENVOLVIDOS

O Neuranálise© é composto por três softwares que trabalham em conjunto. O primeiro, denominado NeuraBase©, é responsável pela criação e manutenção de Bases de Dados; o segundo, NeuraRede©, utiliza as Bases de Dados criadas pelo NeuraBase© e cuida da construção e treinamento da RNA; e o terceiro software, NeuraReg©, é responsável pela classificação de faltas.

A. NeuraBase©

Bases de Dados são conjuntos de padrões que são utilizados nas etapas de treinamento, validação e teste da RNA. Para geração de Bases de Dados, o Neuranálise© conta com o NeuraBase©, um programa desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação C++ e o software ATP - Alternative Transient Program.

Para se construir Bases de Dados com o NeuraBase© é necessário que um arquivo modelo .atp tenha sido previamente construído, o qual servirá de molde para a construção dos demais arquivos. Esses arquivos representam

os diversos cenários de falta e são gerados considerando como variáveis:

- Distância em quilômetros da ocorrência da falta.
- Resistência de falta;
- Ângulo de incidência da falta;
- Tipo de falta.

Mediante a criação de um arquivo para processamento em lote, a simulação de todos os casos é realizada automaticamente. Ao final do processo, os arquivos gerados estão no padrão COMTRADE, que correspondem aos sinais de tensão e corrente nas três fases com suas respectivas componentes de seqüência zero.

Como o Neurabase[®] possui uma RNA com treinamento supervisionado é necessária a indicação do tipo de falta correspondente às amostras de tensão e corrente informadas à RNA. Sendo assim, quatro colunas extras nos arquivos .dat do padrão COMTRADE são incluídas para indicar a participação eventual das fases e da terra no cenário de falta em questão. A codificação adotada é a binária positiva conforme apresentada na Tabela I.

Para que a Base de Dados possa ser aplicada à RNA é necessária a sua conversão para um formato compatível: um arquivo com extensão .net. Essa conversão foi denominada de janelamento: um conjunto de linhas no arquivo .dat do formato COMTRADE, denominado de janela, é agrupado em apenas uma linha no formato do arquivo .net. Os tamanhos adotados para as janelas são de 3 (três), 4 (quatro) ou 5 (cinco) linhas. Esse processo é aplicado a todos os arquivos constituintes da Base de Dados, gerando os arquivos de entrada para a RNA no formato .net correspondentes a cada um dos conjuntos (treinamento, validação e teste). Ao final, as linhas dos arquivos .net são misturadas para evitar tendências no treinamento.

O NeuraBase[®] possui um ambiente amigável para construção de Bases de Dados Baseado em interfaces gráficas que foram implementadas fazendo-se uso do paradigma de orientação a objetos da linguagem de programação C++, e de recursos da biblioteca MFC — Microsoft[®] Foundation Class.

Com o auxílio das interfaces, o usuário do NeuraBase[®] pode gerar várias Bases de Dados, em poucos minutos. Apresenta-se a seguir uma descrição detalhada das suas principais interfaces.

No menu **Base**, estão disponíveis as seguintes opções:

- Nova,
- Abrir,
- Simular arquivos no ATP,
- Janelamento,
- Sair.

Ao se optar por construir uma nova Base de Dados, surge a janela **Definição de Variáveis** (Figura 2). Nessa janela estão disponíveis as seguintes opções:

- Tipos de falta,
- Resistências e ângulos,
- Locais de falta.

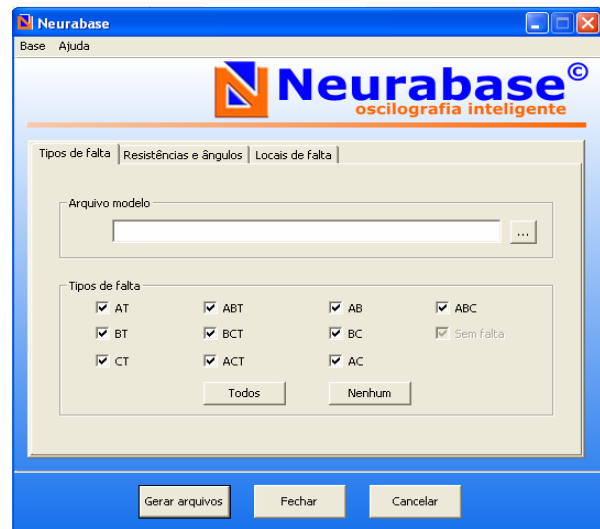


Figura 2. Janela Definição de Variáveis.

A aba **Tipos de falta** fornece duas opções (Figura 2):

- **Arquivo modelo:** neste campo o usuário pode escolher qual o arquivo .atp que servirá como molde para construção dos demais arquivos (figura 3.7).
- **Tipos de falta:** o usuário pode construir uma Base de Dados, considerando todos os tipos de faltas, inclusive a situação sem falta, ou então, apenas alguns tipos de falta.

Selecionando a aba **Resistências e ângulos**, surgem as opções apresentadas na Figura 3. Ao se escolher a opção **Adicionar**, o usuário pode adicionar quantas resistências de falta e quantos ângulos de incidência desejar. Se o usuário desejar excluir alguma resistência ou ângulo de incidência já adicionado, basta selecioná-los e clicar no botão **Excluir**.



Figura 3. Escolha das Resistências e ângulos.

Finalmente, selecionando a aba **Locais de faltas**, duas opções podem ser visualizadas com os campos já preenchidos na Figura 4:

- Variação em quilômetros da ocorrência das faltas;

- Locais de aplicação das faltas para os conjuntos de treinamento, validação e teste.



Figura 4. Exemplo de preenchimento do campo: Locais de faltas.

Clicando-se no botão Gerar Arquivos, o usuário pode escolher o local onde será criada uma pasta com o nome da base. Os arquivos da Base serão gerados, salvando neste local um arquivo com extensão .bdd, o qual contém os dados referentes à Base que está sendo gerada.

Após gerar os arquivos, o NeuraBase© pode chamar o ATP para gerar os arquivos .atp ou simplesmente, parar a execução do programa .

Se o usuário decidiu continuar o processo de construção da Base, o NeuraBase© inicia a execução do ATP . Após o término da simulação é oferecida ao usuário a opção de janelamento dos arquivos, última etapa do processo de geração da Base de Dados. Clicando no botão Sim, surge uma janela com informações sobre a Base de Dados gerada (Figura 5).



Figura 5. Janelamento dos arquivos.

Finalmente, a Base está construída e pode ser aplicada a RNA. A janela **Geração de Bases de Dados** fornece ainda outras opções. O usuário pode procurar por uma Base já existente selecionando a comando **Abrir**.

B. NeuraRede©

O NeuraRede© implementa uma RNA Perceptron de Múltiplas Camadas com treinamento supervisionado e possui dois algoritmos de treinamento: o *backpropagation* e o *RPROP – resilient backpropagation*.

Os sinais de entrada da RNA são as amostras de tensão e de corrente. A dimensão do vetor de entrada da RNA depende do janelamento utilizado. A camada de saída apresenta apenas quatro neurônios, por conta da codificação binária adotada (Tabela I) para indicar a classe à qual os sinais de entrada pertencem.

O diagnóstico de um registro é baseado no tipo de falta que apresentar o maior número de indicações pela RNA, considerando-se todas as janelas provenientes do registro.

Ao iniciar o NeuraRede© é apresentada uma janela de abertura, com duração de aproximadamente 2 segundos . Em seguida, ela é fechada automaticamente e surge a janela **Principal** com a janela **Configuração** (Figura 6).

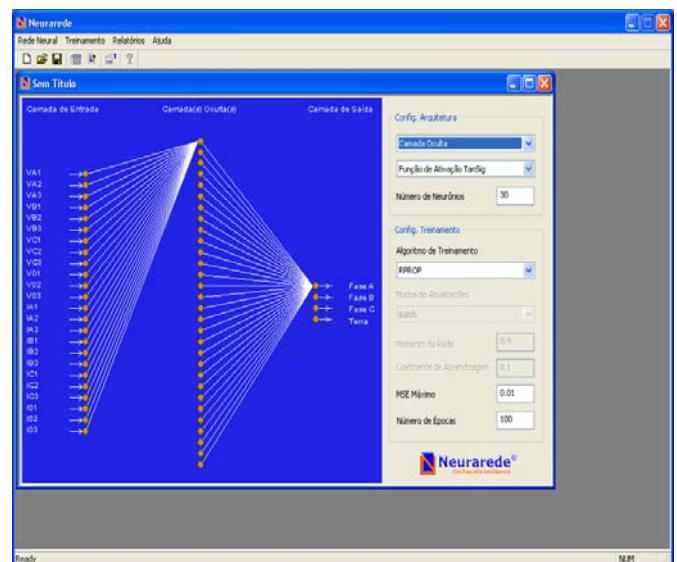


Figura 6. Janela Principal com a janela Configuração.

O menu **Rede Neural** oferece ao usuário os comandos básicos para manipular os arquivos .rna, onde o comando **Novo** será aqui apresentado. Este cria uma RNA default, que é a mesma que está apresentada na Figura 6. Essa RNA possui uma camada de entrada com vinte e quatro neurônios, uma camada oculta com trinta neurônios e uma camada de saída com quatro neurônios.

O menu **Treinamento** oferece ao usuário os comandos básicos relacionados com o treinamento e teste da RNA. Os comandos apresentados neste menu são: **Definir Base**, **Cancelar Treinamento**, **Treinar** e **Testar**. No comando **Definir Base**, o usuário deve escolher a base de dados gerada pelo NeuraBase©.

O menu **Relatórios** oferece ao usuário os comandos relacionados com os dados de entrada e saída do NeuraRede©. Os comandos apresentados neste menu são:

- **Relatório Arquitetura:** apresenta informações sobre a arquitetura da RNA.
- **Relatório Base:** apresenta informações sobre a Base de Dados que será, ou foi utilizada na etapa de treinamento, validação e teste da RNA.

- **Relatório Completo:** apresenta informações detalhadas sobre a RNA. Este relatório engloba os dois relatórios citados anteriormente.

Para que o treinamento possa ser executado é necessário que a Base de Dados seja apresentada à RNA na forma de três arquivos com extensão .net. Esses arquivos contêm os dados para o treinamento, validação e teste, os quais foram gerados pelo NeuraBase©. No entanto, o arquivo que será lido, de extensão .bdd, contém informações importantes que serão transferidas para a interface de definição da Base, que aparece ao escolher o comando Definir Base. Ao localizar o arquivo .bdd e acionar o botão Abrir, informações úteis sobre a Base serão apresentados no diálogo Definir Base, conforme Figura 7.

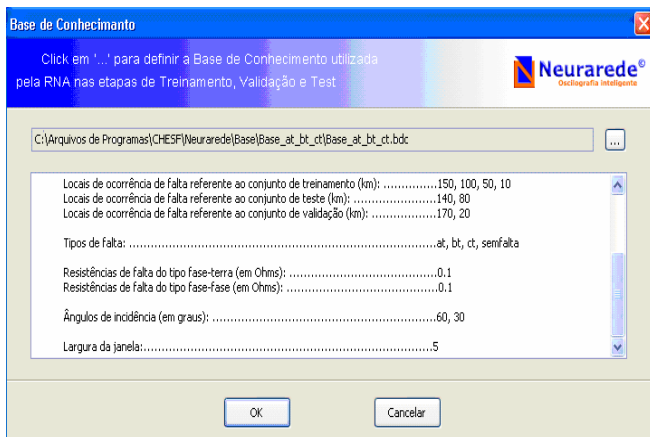


Figura 7. Diálogo Definir Base.

Nesse instante, a Base ainda não foi aplicada à RNA e os dados são apresentados apenas para que o usuário possa avaliar a Base. O usuário pode então: definir a Base (**OK**), desistir (**Cancelar**) ou procurar outra Base (...).

Ao definir a Base, é importante observar que o tamanho da janela pode alterar o número de neurônios da camada de entrada.

Após definido a Base, vem a fase de configuração da RNA que consiste em duas etapas: a primeira, que se refere a adequação da sua arquitetura ao problema; e a segunda, que consiste em ajustar adequadamente os parâmetros de treinamento.

No lado direito e superior da janela **Configuração**, visualizada na Figura 8, há uma região demarcada por **Config. Arquitetura**, na qual os campos internos são reservados para a configuração da arquitetura da RNA. Logo abaixo, há uma região demarcada por **Config. Treinamento**, cujos campos são reservados para a configuração dos parâmetros de treinamento da RNA.

Como o NeuraRede® é um software dedicado, apenas uma camada oculta está disponível, pois para a aplicação em que a RNA será submetida, apenas uma camada oculta é suficiente. O usuário pode variar os neurônios dessa camada, diferentemente dos neurônios das camadas de entrada e saída que são fixos. O comando selecionar camada possibilita ao usuário a escolha de uma destas três camadas: Camada Entrada, Camada Oculta e Camada Saída. Ao selecionar a Camada Oculta é possível escolher o tipo de função de ativação e definir o número de neurônios desta

camada. Já ao selecionar a Camada Saída, é possível escolher apenas o tipo de função de ativação para seus neurônios.

Duas opções são disponíveis ao usuário na escolha da função de ativação: LogSig ou TanSig.

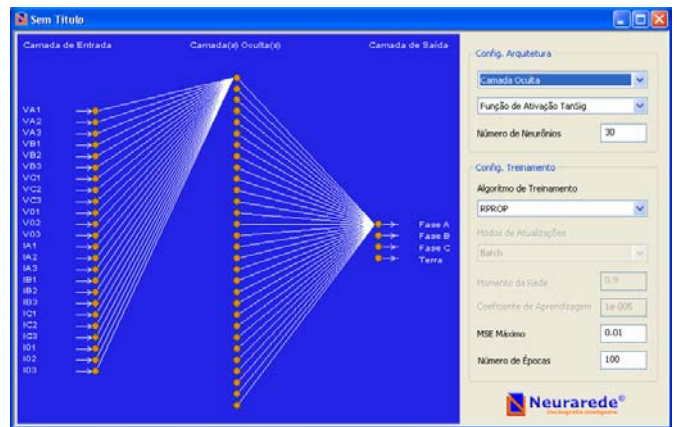


Figura 8. Janela Configuração.

Antes de iniciar a etapa de treinamento da RNA, deve-se verificar os parâmetros de treinamento e adequá-los ao problema. A primeira opção se refere ao comando que possibilita a escolha do tipo de algoritmo de treinamento.

No comando Selecionar Algoritmo de Treinamento é possível escolher entre os algoritmos *backpropagation* ou RPROP. Caso o RPROP seja escolhido, o usuário poderá configurar apenas o erro médio quadrático máximo e o número de épocas. Porém, se o *backpropagation* for escolhido, todos os campos referentes ao treinamento serão habilitados.

A próxima fase se refere ao treinamento da RNA. O comando **Etapa Treinamento** abre a janela **Treinamento** mostrada na Figura 9. Para esta etapa é preciso que a Base de Dados esteja definida. Caso contrário, antes da janela **Treinamento** aparecer, é apresentado o diálogo **Definir Base**.

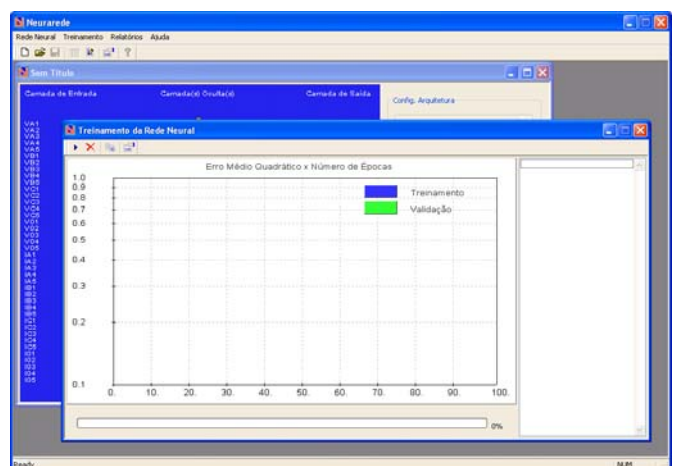


Figura 9. Janela Treinamento.

A janela **Treinamento** ainda possui um gráfico, uma barra de progresso e um campo que mostra os erros no treinamento e validação para cada época. Logo abaixo da barra de títulos desta janela há uma barra de ferramentas com os seguintes comandos: **Treinar Rede**, **Cancelar Treinamento**, **Testar Rede** e **Relatório Completo**.

Ativando o comando **Treinar Rede**, o NeuraRede© inicia o processo de treinamento da RNA, que é uma etapa crítica para o software, visto que o nível de processamento é elevado. Por isso, no treinamento o software não responde aos comandos do usuário, além do mais, vários recursos são desabilitados, como por exemplo, o mouse é desativado.

Durante o treinamento, o gráfico que mostra o erro em função do número de épocas é atualizado a cada 10 épocas, podendo-se acompanhar o desempenho no treinamento e na validação. Há também, uma barra de progresso para que o usuário tenha uma estimativa de quanto tempo ainda será necessário para esta etapa.

A primeira tarefa realizada no treinamento é o carregamento da Base de Dados, que é um processo rápido e pode ser acompanhado na barra de progresso. Logo após a Base ser carregada, é iniciado o treinamento.

Na Figura 10, estão ilustrados os resultados do treinamento de uma RNA com o algoritmo de treinamento *backpropagation* no modo batch, com 200 épocas e MSE=0,03, cujo valor é representado por uma linha horizontal vermelha no gráfico. O eixo vertical do gráfico corresponde ao erro em escala logarítmica e o horizontal ao número de épocas em escala linear.

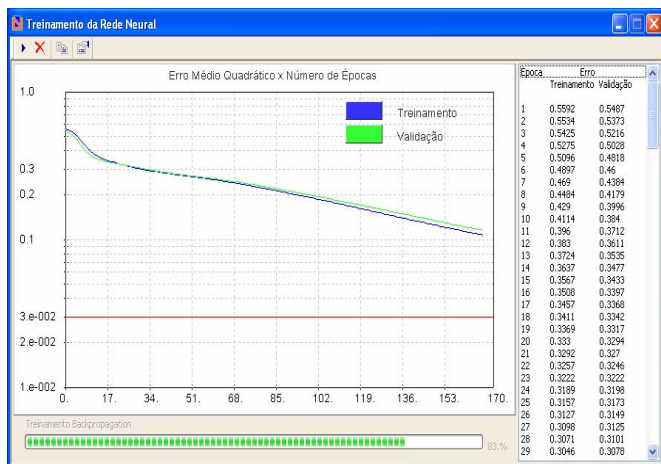


Figura 10. Treinamento em processo.

Na Figura 10, o treinamento foi finalizado, pois a **Barra de Progresso** está desabilitada e a **Tabela de Erros** está habilitada. A **Tabela de Erros** é preenchida com o erro no treinamento e validação para cada época. O gráfico tem como objetivo visualizar o comportamento e tendências no treinamento, enquanto que a **Tabela de Erros** mostra os valores exatos dos erros do treinamento e validação.

É muito comum o treinamento finalizar antes do término das épocas (caso ocorrido no gráfico da Figura 10). Isso ocorre devido aos vários critérios de parada adotado no treinamento, que são: parada pelo MSE, parada por época ou parada por validação. A parada por validação evita que a RNA aprenda somente a memorizar os padrões de treinamento, perdendo sua capacidade de generalização, ou seja, de responder corretamente aos padrões nunca visto antes. Este fenômeno é conhecido como *overtraining*. Quando um dos critérios de parada é alcançado então, o treinamento é encerrado, e um aviso informando qual dos critérios de parada finalizou o treinamento é mostrado na

tela.

Após o treinamento, os campos da janela **Configuração** são desabilitados. Uma forma de habilitar estes campos é cancelar o treinamento, ou então, salvar a RNA e abrir uma nova.

A penúltima fase do NeuraRede©, é realizada por meio do comando Testar Rede que abre a janela **Teste** mostrada na Figura 11. Para a Base de Dados com faltas AT, BT e CT, o percentual de acerto por tipo de falta apresentado no teste é mostrado na Figura 11.

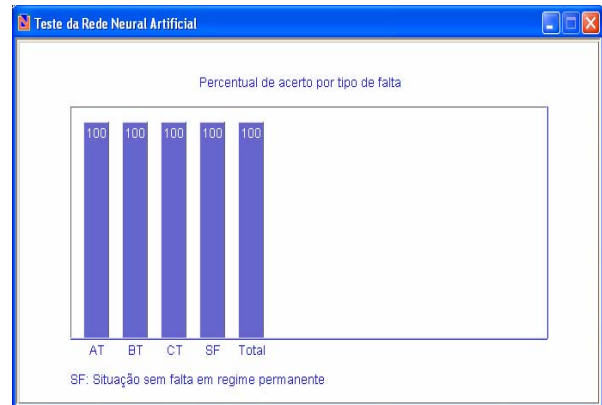


Figura 11. Janela Teste.

A última fase do NeuraRede© é a emissão dos relatórios, que pode ser o relatório referente à arquitetura da RNA ou à Base de Dados utilizada no seu treinamento, ou então, o relatório completo, o qual, além das informações contidas nos dois relatórios citados anteriormente, apresenta também informações sobre o treinamento e teste da RNA.

C. NeuraReg©

É um software identificador e classificador de faltas em sistemas elétricos baseado em RNA. Ele é instalado diretamente nos micros concentrados das subestações, com a função de realizar pré-análise e triagem dos registros adquiridos pelos RDPs. Ele deve ser inserido no sistema automático de aquisição de dados da rede de oscilografia, gerenciado pelo sistema GERCOM de comunicação.

Efetivamente, o seu funcionamento consiste em analisar os dados provenientes dos canais analógicos dos registros adquiridos pelos RDPs, identificando se contêm informações sobre algum tipo de falta que tenha ocorrido no sistema. Em caso positivo, o NeuraReg© classifica o tipo de falta e identifica o início e o fim do distúrbio. Caso contrário, o NeuraReg© atua de forma que estes não sejam transferidos para o servidor central da oscilografia, localizado na sede da empresa em Recife/PE.

Como resultado, há uma redução do tráfego de dados na rede, de forma que só os registros com informações relevantes são transferidos para o servidor central. Além disso, há uma redução do armazenamento de registros desnecessários no banco de dados da rede de oscilografia.

Na Figura 12, apresenta-se, de forma esquemática, a estrutura do NeuraReg©.

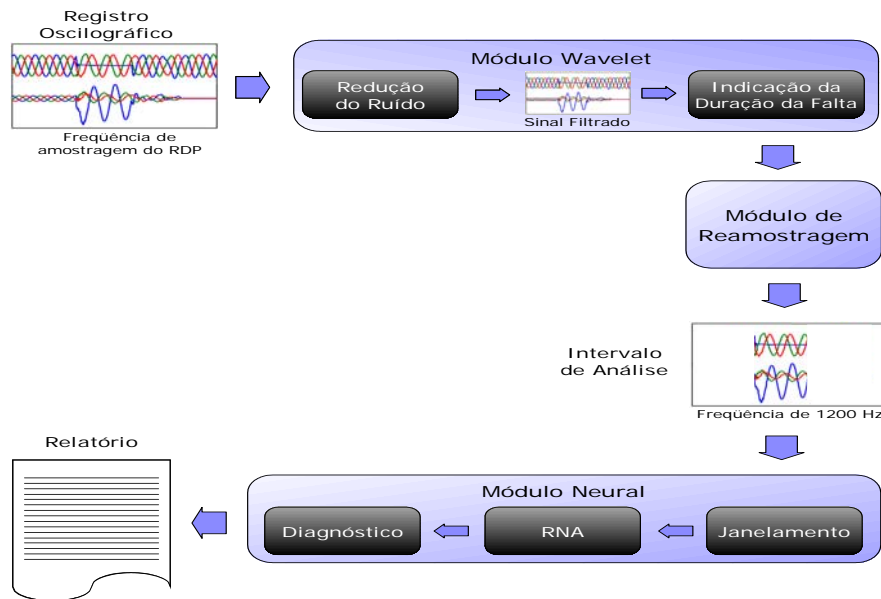


Figura 12. Estrutura do NeuraReg©.

O NeuraReg© emite relatórios após sua execução, que informam se o registro tem ou não alguma falta. Convencionou-se que os arquivos de relatórios teriam extensão .ana, e o nome seria exatamente, o mesmo nome que os arquivos do padrão COMTRADE possuem, após serem renomeados de forma padronizada.

No caso de haver realmente uma falta, o NeuraReg© informa o tipo de falta, a indicação de início e fim do distúrbio, além de informação dos valores máximos de tensões e correntes nas fases, e os instantes que eles ocorreram.

Caso não seja identificada falta, o relatório apresenta apenas a informação que aquele é um registro sem falta. Em ambos os casos, são disponíveis a informação da data e do momento que o registro foi adquirido. As Figuras 13 e 14 apresentam os relatórios emitidos num registro com falta e sem falta, respectivamente.

```

*****
Companhia Hidroelétrica do São Francisco -
      CHESF
Universidade Federal de Campina Grande -
      UFCG
NeuraReg - Sistema de Análise Automática de
Registros Oscilográficos
      Projeto P&D ciclo 2000/2001
*****
Data: 01/01/2004
Hora: 06:50:25
===== REGISTRO SEM FALTA =====
  
```

Figura 14. Relatório de um registro sem falta

```

*****
Companhia Hidroelétrica do São Francisco -
      CHESF
Universidade Federal de Campina Grande -
      UFCG
NeuraReg - Sistema de Análise Automática de
Registros Oscilográficos

      Projeto P&D ciclo 2000/2001
*****
Data: 11/01/2004
Hora: 06:35:52
===== REGISTRO COM FALTA =====
Tipo de Falta: BT
Início da falta: 415 ms
Final da falta: 555 ms
Duração da falta: 140 ms

Valores Máximos:
-----
| Fase | Tensão (kV) | (ms) | Corrente (A) | (ms) |
-----
| A    | 198.35      | 548.09 | 186.34      | 434.67 |
| B    | 197.55      | 545.22 | 193.26      | 531.94 |
| C    | 200.48      | 555.44 | 189.89      | 420.94 |
-----
  
```

Figura 13. Relatório de um registro com falta

IV. RESULTADOS

Em virtude da linha LT 04V4 apresentar poucos registros com faltas, utilizou-se registros de faltas reais em outras LTs, e de outras áreas do sistema CHESF, e até mesmo de outros níveis de tensão. Os resultados para as LTs de 230 kV e 500 kV são apresentados nas Tabelas II e III, respectivamente.

O Neuranálise© foi também avaliado com vários casos de faltas simuladas, apresentando resultados bastante satisfatórios.

TABELA II
RESULTADOS PARA OUTRAS LTs DE 230 kV

Diagnóstico Real	Diagnóstico Obtido	Nº de Registros	Diagnósticos Corretos
Sem defeito perceptível	Sem falta	6	6
Afundamentos de tensão	Sem falta	18	17
Transitórios	Sem falta	2	2
Desligamento	Sem falta	2	2
Energização	Sem falta	2	2
Falta AT	Falta AT	1	1
Falta BT	Falta BT	3	3
Falta CT	Falta CT	3	3
Falta AB	Falta AB	1	1
		38	37

TABELA III
RESULTADOS PARA OUTRAS LTS DE 500 kV

Diagnóstico Real	Diagnóstico Obtido	Nº de Registros	Diagnósticos Corretos
Afundamentos de tensão	Sem falta	10	10
Transitórios	Sem falta	2	2
Desligamento	Sem falta	1	1
Energização	Sem falta	1	1
Falta AT	Falta AT	3	3
Falta BT	Falta BT	2	2
		19	19

V. CONCLUSÕES

A versão 1.2 do NeuraReg© está dedicada apenas à linha de transmissão 04V4_CGD-NTD de 230 kV, escolhida como protótipo para o desenvolvimento do sistema Neuranálise©. Esta linha está localizada entre as subestações de Campina Grande II e Natal II, mas o terminal escolhido para a instalação foi o terminal de Campina Grande. O RDP que monitora esta linha é um Siemens-R da Siemens, que possui uma taxa de amostragem de 15,36 kHz.

O Neuranálise©, desenvolvido em linguagem de programação C++ com programação orientada a objetos, possui todas as funções necessárias para ser considerado um software amigável. Seu método de diagnóstico de faltas foi desenvolvido e implementado para LTS de 230 kV, tomando por base uma LT particular da CHESF. Contudo, seu desempenho também foi avaliado para outras LTS e os resultados satisfatórios obtidos, motiva a generalização da implementação.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao corpo técnico do Departamento de Proteção e Automação da Operação da CHESF, especialmente ao Dr. José Júlio de Almeida Lins Leitão e à eng^a. Sandra Sayonara Bispo da Silva, que não mediram esforços em colaborar para que o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento *Implantação de Técnicas de Inteligência Artificial para Identificação e Análise de Ocorrências no Sistema Elétrico* se desenvolvesse a contento.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KEZUNOVIC, M. & RIKALO, I. *Detect and classify transmission line faults using neural nets*. IEEE Computer Applications in Power, 1996, 9(4): 42–47.
- [2] OLESKOVICZ, M., COURY, D. V. & AGGARWAL, R. K. *O emprego de redes neurais artificiais na detecção, classificação e localização de faltas em linhas de transmissão*. SBA Controle & Automação, 2003, 14(02).
- [3] MAHANTY, R. N. & GUPTA, P. B. D. *Application of rbf neural network to fault classification and location in transmission lines*. IEE Proc Generation, Transmission and Distribution, 2004, 151(2).
- [4] SOLANKI, M., SONG, Y. H., POTTS, S. & PERKS, A. *Transient protection of transmission line using wavelet transform*. Developments in Power System Protection, 2001, (479): 299–302.
- [5] KIM, C. H. & AGGARWAL, R. *Wavelet transform in power system: Part 2 examples of application to actual power system transients*. Power Engineering Journal, 2001, pp. 193–202.
- [6] OLESKOVICZ, M., COURY, D. V. & AGGARWAL, R. K. *O emprego de redes neurais artificiais na detecção, classificação e localização de*

faltas em linhas de transmissão. SBA Controle & Automação, 2003, 14(02).

[7] SOUZA, B. A., BRITO, N. S. D., SILVA, S. S. B., SILVA, K. M., COSTA, F. B. & MELO FILHO, A. C. M. *Um classificador de faltas para análise de ocorrências no sistema Chesf*. Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, Set., 2004.

[8] YOUSSEF, O. A. S. *Fault classification based on wavelet transforms*. Transmission and Distribution Conference and Exposition 1: 531–536. Atlanta, Nov., 2001.

[9] KASHYAP, K. H. & SHENOY, U. J. *Classification of power system faults using wavelet transforms and probabilistic neural networks*. Proc International Symposium on Circuits and Systems. Bangkok, May., 2003.

[10] VASILIC, S. & KEZUNOVIC, M. *An improved neural network algorithm for classifying the transmission line faults*. IEEE PES Winter Meeting, New York, Jan., 2002.

[11] YOUSSEF, O. A. S. *Combined fuzzy-logic wavelet-based fault classification technique for power system relaying*. IEEE Trans Power Delivery, 2004, 19(2).

[12] PRADHAN, A. K., ROURAY, A., PATI, S. & PRADHAN, D. K. *Wavelet fuzzy combined approach for fault classification of a series-compensated transmission line*. IEEE Trans Power Delivery, 2004, 19(4).