

1º Congresso Brasileiro de Redes Neurais

Escola Federal de Engenharia de Itajuba
Itajuba, 24 a 27 de outubro de 1994

MONITORAÇÃO EM TEMPO REAL DE POTÊNCIA ELÉTRICA DE INTECÂMBIO USANDO REDE NEURONAL ARTIFICIAL

Pedro Rodrigues de Brito Filho
Jurandyr Nascimento Garcez
Depto de Engenharia Elétrica - Centro Tecnológico
Universidade Federal do Pará
Caixa Postal - 8619 Fax - (091) - 229-7491

Wady Charone Júnior
Centrais Elétricas do Norte do Brasil - S.A.
ELETRONORTE
Av. Perimetral s/n - Terra Firme
Fax - (091) - 224-6720

RESUMO

Este trabalho apresenta uma aplicação de Rede Neuronal Artificial (RNA) como um suporte na operação do Sistema Elétrico Norte-Nordeste (SE N/Ne) da Eletronorte direcionada a supervisão da potência elétrica de intercâmbio entre as áreas Eletronorte e CHESF. A RNA multicamadas treinada pelo método do Back-Error-Propagation permite tomadas de decisões rápidas e confiáveis quanto ao nível de geração em Tucuruí, já que a resposta da RNA é praticamente instantânea. O software foi desenvolvido e testado na Rede Local de Supervisão (RLS) do CORB da Eletronorte em Belém apresentando resultados promissores.

Palavras Chave: Sistema de Potência - Supervisão em Tempo Real - Inteligência Artificial - Redes Neurais Artificiais - Potência de Intercâmbio

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a Inteligência Artificial, tem sido uma alternativa com grande possibilidade de sucesso na solução de problemas operacionais em sistemas elétricos de potência. Os Centros de Controle de Operação (COS's) estão seguindo este caminho visando a modernização para atender o aumento substancial nas demandas e nas interligações. Através de cooperação técnica entre a Eletronorte e a UFPA, estão sendo desenvolvidos estudos para implementação de sistemas inteligentes baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA) na tentativa de se obter meios de automatização do COS. Neste trabalho mostra-se mais um passo dado neste rumo a monitoração da potência elétrica de intercâmbio. Para sua realização, adotou-se um fluxograma de regulamentação para não ferir o programa adotado pela empresa quanto a automatização, tanto a nível de "hardware" como de "software". Portanto, o processo de obtenção dos dados em tempo real dá-se de forma a obedecer a todo um procedimento que rege o sistema de base, no caso, uma Rede Local de Computadores, conhecida aqui por Rede Local de Supervisão (RLS).

Aquisição, tratamento, memorização na base de dados, visualização de resultados e imagens

constituem funções básicas do Sistema de Supervisão e Controle. Através desta cadeia, está disponível o estado do sistema elétrico em tempo real.

De posse deste estado pode-se implementar diversas funções tais como: análise de redes elétricas em tempo real; sistemas especialistas para tratamento de alarmes; geração e tratamento de alarmes usando RNA; relacionos estatísticos e operacionais diversos; interface homem-máquina amigável; perturbografia; loggear de eventos, etc [1].

Um dos problemas sério que ocorrem em sistemas de potência é a ultrapassagem do limite de estabilidade, que pode provocar grandes danos caso não seja prontamente solucionado. Para se aumentar a confiabilidade do sistema deve-se tomar providências no sentido de que sua operação não seja muito próxima deste limite. Em dada época do ano, o SE N/Ne opera próximo ao seu limite de estabilidade. Para evitar a operação em um nível de severidade mais crítico, os operadores devem processar uma significativa quantidade de informações a fim de que o sistema não entre em colapso. A aplicação de uma RNA gerou uma ferramenta para auxiliar os operadores quando da necessidade de tomada de decisões, tratando com mais rapidez e eficiência as informações primordiais para operação do sistema.

2. O AMBIENTE COMPUTACIONAL

O Sistema de Supervisão e Controle (SSC) da Eletronorte está passando por um processo de modernização onde atualmente todas as funções inerentes ao SSC estão centralizadas em um computador BULL-SEMS SOLAR 16-65 com outro idêntico servindo de "HotBackup". Lançando mão da ideia do processamento paralelo, estão sendo desenvolvidos em uma RLS todas as funções de supervisão do SSC, facilitando com isso o acesso ao "software" e "hardware".

A configuração inicial da RLS é fisicamente uma rede local de topologia em barramento (Token Bus) padrão ARCNET, a 2.5 megabits.

Capacidade multitarefa plena com priorização de tarefas, comunicação eficiente entre tarefas e respostas em tempo real em alta velocidade, são requisitos indispensáveis para se obter bons resultados das aplicações como as encontradas em processos industriais que impõem demandas pesadas de informações. Devido o fato de que o sistema operacional QNX da "QNX Software System LTD" de utilização crescente em controle de processos industriais na América do Norte e na Europa [2], oferecer essas possibilidades, optou-se por utiliza-la na RLS.

A interligação física do SSC com a RLS, a distribuição inicial da RLS no sistema Eletronorte-Belem e o fluxograma do software já desenvolvido para supervisão em tempo real do sistema, estão reportados em [1].

3. MONITORAÇÃO DA POTÊNCIA ELÉTRICA DE INTERCÂMBIO

A potência elétrica de intercâmbio entre duas áreas seguem programações pré-estabelecidas pelos setores de planejamento das empresas envolvidas. Com isso, o compromisso em se manter a programação é muito grande pela empresa que fornece a energia, visto que o SE N/Ne opera em determinadas épocas do ano no seu limite de estabilidade conforme citado anteriormente, onde desligamentos de linhas de transmissão, compensadores síncronos, bancos de capacitores, perda de máquina na CHESF e grandes rejeições de blocos de carga introduzem riscos de deligamentos devido a redução da margem de estabilidade. Portanto, torna-se necessário que se implemente funções no sistema de supervisão que aumente a

confiabilidade. Para tal é necessário a monitoração em tempo real.

Atualmente os operadores dispõem de instruções operativas contidos em extensas lista de dados contendo as informações necessárias para manter os limites dentro dos planejados. Estas listas mostram várias tabelas de limites que variam em função de:

- Configuração do sistema
- Fluxo em determinada linha
- Posicionamento dos tapes dos ATR's
- Quantidade e disposição de reatores instalados
- Estado de disjuntores essenciais
- Equipamentos de controle de reativo
- Eventos simultâneos

Como se pode notar, a gama de dados a ser tratado é muito grande. Dentre alguns tratamentos sugeridos, a opção adotada foi a do processamento paralelo. Para isto procederam-se estudos para separação adequada de dados sem que incorresse em incoerências que comprometessem o novo processo de monitoração.

A configuração do sistema e o fluxo ativo em determinada linha foram as escolhidas para fazer parte do primeiro grupo de dados a ser tratado.

3.1. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

O sistema Eletronorte é composto basicamente de linhas principais radiais em 500Kv, tendo como fonte principal a usina de Tucuruí composta de 12 máquinas de 330 Mw, como mostrado na figura 1. Todas as subestações de 500 Kv são em arranjo disjuntor e meio [3].

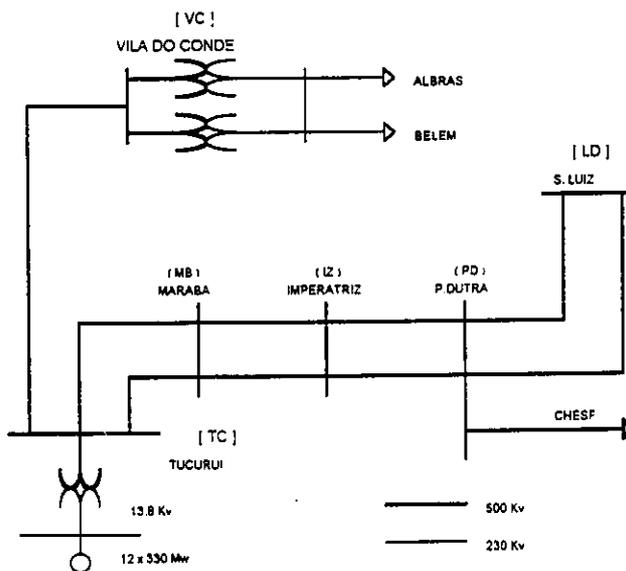


Figura 1. Sistema Eletronorte

Cada trecho de linha é composto de 2 seccionadores de linha (SL), 8 seccionadores de disjuntores (SD) e 4 disjuntores (DJ). Estes equipamentos se dividem igualmente para cada lado, como mostra a figura 2



Figura. 2 - Configuração de cada trecho de linha

3.2 - LIMITE MÁXIMO DE FLUXO

Baseados em estudos de planejamento da operação determinou-se limites para o fluxo de potência ativa na linha de transmissão (500 Kv) de Tucuruí à Marabá em função da indisponibilidade de linhas do sistema como mostrado na tabela 1

Trecho da linha	CIRCUITO		Fluxo máximo Mw na LT - TC / MB
	I	II	
TC - MB	aberto	fechado	1280
TC - MB	fechado	aberto	1170
MB - IZ	aberto	fechado	1260
MB - IZ	fechado	aberto	1180
IZ - PD	aberto	fechado	1060
IZ - PD	fechado	aberto	1000
PD - LD	aberto	fechado	1130
PD - LD	fechado	aberto	1100
qualquer	aberto	aberto	avisar ao operador

TABELA 1 - Limites de fluxo de potência na linha TC / MA em função da configuração

A tabela acima expressa parte da estratégia a ser adotada pelo operador do sistema elétrico da Eletronorte, escolhida para servir de referencial para o primeiro procedimento a ser seguido na monitoração via RNA. Entretanto, ao serem tratados estes dados, leva-se em consideração que as demais partes da estratégia estejam normalizadas.

A fim de reduzir a quantidade de dados a ser tratado de $(2SL + 3SD + 4DJ) * 9Linha = 9F_{max} = 135$ para $(4CN + 2SL) * 9Linha = 9F_{max} = 63$, são utilizadas variáveis calculadas (CN) que fornecem o resumo dos estados lógicos de cada conjunto mostrado na figura 3 indicando, se o conjunto está aberto ou fechado.

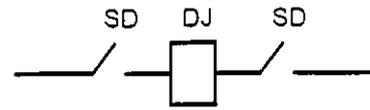


Figura 3 - Conjunto usado para cálculo de CN

4. IMPLEMENTAÇÃO DA RNA

O gerenciador de dados [1] da RLS fornece em tempo real o status de todas os equipamentos (SL, CN) necessários para o tratamento. Além dos eventos citados na tabela 1 incluiu-se a possibilidade de indisponibilidade de um trecho do eixo TC/MB/IZ/PD. Para isto, tomou-se o cuidado de apresentar os dados de forma sequencial para facilitar o tratamento via software.

Devido ao grande número de dados a ser tratados, dividiu-se o trabalho neuronal em duas etapas. Criando duas redes neurais artificiais interligadas serialmente [4 - 7]. A primeira RNA - chamada de Rede Neuronal Artificial Primária (RNAp) - fornece à segunda RNA - chamada de Rede Neuronal Artificial Secundária (RNAs) - dados estratégicos para a análise final. A figura 4 mostra a configuração geral da RNA.

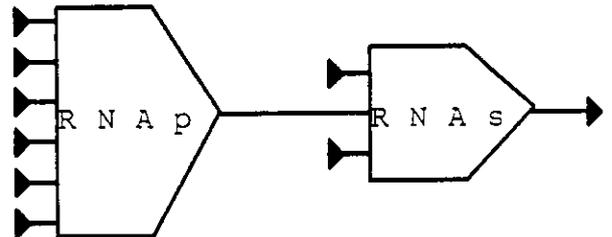


Figura 4 - Configuração geral da RNA

4.1 - A RNAp

A RNAp recebe do gerenciador de dados do sistema os 6 estados lógicos referentes a cada circuito de linha, conforme mostrado na figura 5.



Figura 5 - Estados lógicos referentes a cada linha

Os estados citados acima servem de entradas para a RNAp que é configurado conforme figura 6. A saída da RNAp que pode ser 0 ou 1 serve de entrada para a RNAs. Dependendo da combinação das entradas pode-se determinar se a linha está fechada ou em aberto.

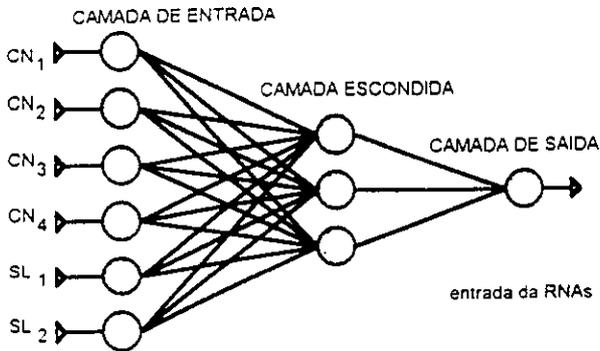


Figura 6 - A RNAp

As $2^6 = 64$ combinações de 0 e 1 das chaves CN e SL serviram de entrada e 0 e 1 de saída para o treinamento da RNAp, no qual foi utilizado o método do Back-Error-Propagation.

Por serem as condições de configuração do sistema muito bem definidas, pois, as entradas são de 0 e 1, tem-se a saída da RNAp como 0 ou 1. Como a RNAp utilizada possui funções ativação do tipo linear na camada de entrada e sigmoideal nas demais, utilizou-se chaves lógicas IF/ELSE para obter a saída desejada.

4.2. A RNAs

Como o objetivo desta implementação é apresentar o fluxo máximo de potência ativa na LT TC/MB aos operadores do sistema, então utilizou-se como saída da RNAs, o fluxo máximo para cada situação. Os elementos de entradas definidos, são mostradas a seguir:

- Entrada 1 → Estado do segundo circuito do trecho estudado
- Entrada 2 → Saída da RNAp
- Entrada 3 → Número de ordem da linha / 10

O objetivo da entrada 1 é fornecer meios para se determinar se o trecho da linha monitorada está interrompido ou não. Caso positivo a RNAs deve detectar.

A RNAs possui 3 camadas sendo 3 neurônios na camada de entrada, 5 na camada de escondida e 1 na de saída, como mostra a figura 7. Com exceção da camada de entrada que possui função ativação linear, todos neurônios possuem função ativação sigmoideal sem a utilização de deslocadores de função.

No treinamento das RNAs foi utilizado um software desenvolvido na Eletronorte, que permite diversas manobras quanto a mudança de constantes como: taxa de aprendizagem, fator de esquecimento, desvio padrão e valor médio de pesos iniciais, erro máximo permitido, etc. Também permite a inclusão ou exclusão de entradas para treinamento.

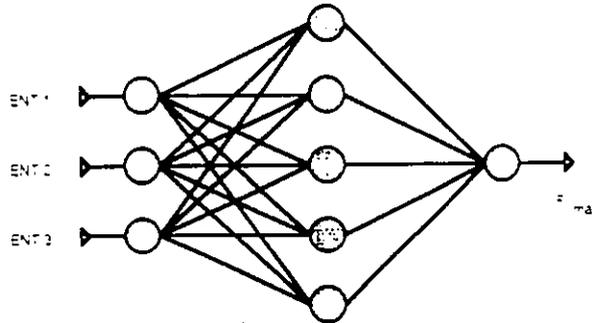


Figura 7 - A RNAs

4.3 - O SOFTWARE

No ambiente em que foi desenvolvido o trabalho, ainda é impossível a implementação de RNA via hardware, logo implementou-se via software. O programa foi desenvolvido em linguagem C - Watcom [QNX] que gerencia todo o processo. A figura 8 mostra o fluxograma seguido para se conseguir a análise completa de

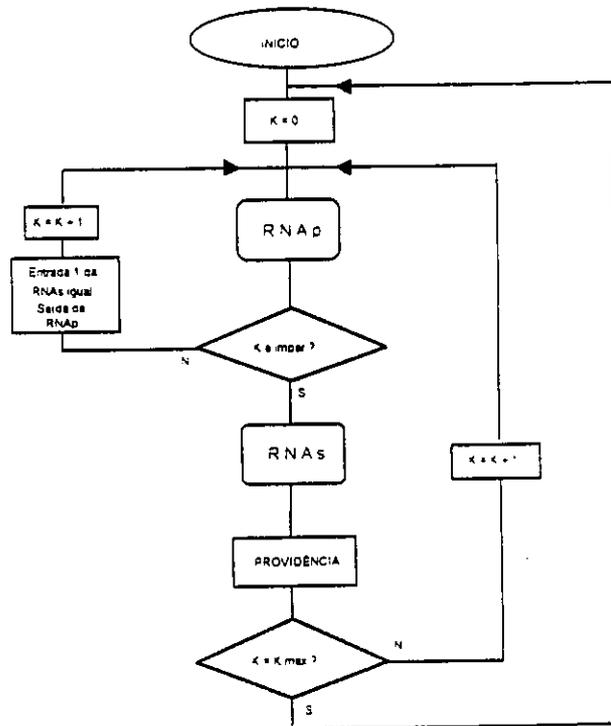


Figura 8 - Fluxograma do Software desenvolvido

A constante K que aparece no fluxograma é definida como a ordem de apresentação dos circuitos. Como estão em ordem par a par, pode-se dizer que o circuito anterior ao monitorado quando K for ímpar, é o circuito par do mesmo.

Como linha TC/VC tem apenas um circuito, definiu-se que ela é par dela mesma, o que não invalida o resultado.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma implementação em tempo real de uma Rede Neuronal Artificial via "software". Implementação esta permitida devido a utilização de um sistema operacional multi-tarefa, multi-usuário e com priorização de tarefas.

A possibilidade de se poder implementar novas estratégias ou novos tópicos no trabalho é o ponto de maior relevância quanto a continuidade do trabalho no tratamento de novos dados. Sem que haja mudanças significativas nos software's desenvolvidos, é possível incrementar dados, pois, para tal pode-se tomar várias medidas que trariam resultados satisfatórios.

A mudança de maior flexibilidade seria nos pares de entrada/saída para treinamento da RNAs. Com a inclusão de novas entradas pode-se aumentar o nível de monitoração e com novas saídas aumentar o diagnóstico. No futuro pretende-se incluir na RNAs circuitos fictícios que exprimem o estado de conjuntos de equipamentos de controle de reativos e na saída da RNAs tensões máximas e mínimas nas barras de 500 Kv.

Outra implementação significativa seria a utilização do mesmo programa, com algumas modificações de código, para serem processados paralelamente no mesmo ambiente onde foi desenvolvido este trabalho.

6- REFERÊNCIAS

- [1] - BRITO, P. R; GARCEZ, J. N; CHARONE, W. : "Um Programa para Assistência ao Controle de Geração da Eletronorte Usando Rede Neuronal Artificial". Anais do IV SEPOPE - Brasil: pp SP-44, maio 1994.
- [2] - QNX Software Systems Ltd.
Kanata, Ontario K2M 1W8 Canada.
Email: postmaster@quantum.qnx.com
- [3] - Relatórios Técnicos da Eletronorte.
- [4] - SIMPSON, P. K. - "Artificial Neural Systems"- Pergamon Press - 1990.
- [5] - HUNT, K.J; SBARBARO D; ZBIKOWSKI, R; GAWTH-ROP, P.J; Neural Networks for Control Systems - A Survey - Automática, Vol 28, no. 06 pp: 1083 - 1112; 1992.
- [6] - PASSINO, K. M: (1993) - Bridging the Gap Between Convencional and Intelligent Control - IEEE - Control Syst. Mag. pp 12-18.
- [7] - ANTSAKLIS, P.J; PASSINO, K.M: (1993). An Introdução to Intelligent and Autonomous Control - Nor-well, MA: kluwer.