

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1. Conclusões

Neste trabalho foi apresentada a tarefa do controle de tensão realizado pelos operadores de tempo real dos Centros de Operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), o Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro. Esta tarefa tem como principal objetivo manter os níveis de tensão dos diversos barramentos do SIN dentro dos limites pré-estabelecidos, garantindo energia elétrica de qualidade aos consumidores.

O controle de tensão em tempo real é uma tarefa complexa. O que o torna complexo, principalmente, é a quantidade de variáveis não lineares relacionadas ao problema, como por exemplo valores de tensão e de potência reativa. Não bastando a quantidade, tais variáveis têm seus valores alterados continuamente. Em virtude do exposto, um operador iniciante só inicia a sua realização após, em média, dois anos de experiência.

Com o objetivo de diminuir o tempo de treinamento de novos operadores e auxiliar o processo decisório dos operadores de tempo real, neste trabalho se desenvolveu um sistema de apoio à decisão no controle de tensão, o SADECT. Este sistema se baseia na técnica de Redes Neurais, uma vez que esta é muito utilizada na solução de problemas não lineares e complexos.

Para verificar a viabilidade do SADECT foi escolhida uma região do SIN, a Interligação Sul/Sudeste. Esta região é bastante importante, pois interliga dois grandes SEPs do SIN, além de transmitir, em 765 kV, a energia elétrica gerada na usina hidroelétrica (UHE) Itaipu. Esta interligação possui diversos equipamentos de controle de tensão (ECTs) que são utilizados continuamente pelos operadores durante o controle de tensão dos SEPs Sul e Sudeste, tais como:

- ✓ 10 unidades geradoras - **(10 x UG)** da UHE Itaipu;
- ✓ 1 compensador síncrono **(CS)** da subestação Tijuco Preto (STTP);

- ✓ 9 bancos de capacitores (**9 x BC**) da STTP;
- ✓ bancos de reatores de barra (**BR3 e BR4**) das subestações Ivaiporã (STIV) e Itaberá (STIA);
- ✓ 6 bancos de reatores (**3 x BR1 e 3 x BR2**) da STIV;
- ✓ bancos de reatores (**2 x BR5**) da STTP;
- ✓ 23 tapes (**T1**) da STIV;
- ✓ 23 tapes (**T2**) da STTP; e
- ✓ 30 tapes (**T3**) da STTP.

Dos valores de tensão disponíveis nos barramentos desta interligação foram considerados como mais importantes:

- ✓ STIV 765 kV – VT (medida nos capacitores série com saída para STFI);
- ✓ STIV 765 kV – VI (medida nos capacitores série com saída para STIA);
- ✓ STIA 765 kV;
- ✓ ITAIPU 500 kV;
- ✓ STIV 500 kV;
- ✓ STTP 500 kV; e
- ✓ STTP 345 kV;

Através de um processo de mineração de dados foram retiradas, de um histórico de sete meses, as informações utilizadas pelos operadores no momento em que os mesmos realizaram as manobras dos ECTs para o controle de tensão. Nestas informações foram encontrados os valores das tensões dos barramentos da interligação, a condição operativa dos ECTs e o horário em que foi realizada a manobra.

Desta forma, o treinamento do SADECT foi realizado utilizando-se dados reais de um sistema real.

Por falta de dados, não foi possível incluir no SADECT as ações realizadas nos seguintes ECTs: unidades geradores da UHE Itaipu, compensador síncrono da STTP e bancos de reatores de barra da STIA. O valor da tensão ITAIPU 500 kV também não foi utilizado como variável de entrada, pois para todos os eventos não apresentou distinção nos seus valores.

Retirados esses dados, montou-se o banco de dados com o total de 14 variáveis de entrada para o SADECT, que apoiará na decisão da realização de manobras de 5 ECTs do SEP do estudo de caso

Este banco de dados foi criticado e pré-processado para viabilizar o seu uso no treinamento das Redes Neurais. A crítica garantiu que os dados inválidos não fossem utilizados e o pré-processamento os normalizou e classificou.

Em busca da melhor metodologia para a confecção do SADECT, foram criados três modelos: RNA CENTRAL, RNA ÚNICA e RNA DUPLA. A ordem em que os modelos foram apresentados indica a evolução da modelagem do SADECT.

O primeiro modelo, por utilizar todos os dados concentrados em uma RNA principal, apresentou baixo rendimento, acertando em média 40 % dos eventos. Com a separação dessa RNA principal em cinco RNAs, uma para cada ECT, criou-se o modelo RNA ÚNICA e o acerto da modelagem aumentou para 70 %. Com o objetivo de elevar ainda mais o percentual de acerto, foi criado o terceiro modelo, RNA DUPLA, que utilizou duas RNA para cada ECT. Este último modelo apresentou acerto superior a 90 % para algumas RNAs, e 82 % para todo o SADECT.

A condição de que os dados obtidos representem as ações de diversos operadores é um fator importante que deve ser levado em conta quando se analisam os resultados deste último modelo. Em virtude da complexidade do problema, os operadores não realizam o controle de tensão de forma idêntica, uma vez que os mesmos não possuem exatamente a mesma experiência. Essa diferença resulta em regras um pouco diferentes de operador para operador, porém sempre como o mesmo objetivo: o controle das tensões dos barramentos.

Face ao exposto conclui-se que foram encontrados bons resultados com o terceiro modelo. A mostra um resumo desta modelagem para cada ECT e a próxima seção introduz possíveis trabalhos futuros para a melhoria dos resultados.

Tabela 41 – Resumo das RNAs do modelo RNA DUPLA

ECT: T3 da STTP			
RNA	Quantidade de entradas	Classifica entre os eventos	Acerto
RNA-1	11	Não Elevar E Elevar	90 %
RNA-2	11	Reduzir E Não manobrar	77 %

ECT: T2 da STTP			
RNA	Quantidade de entradas	Classifica entre os eventos	Acerto
RNA-1	11	Não Elevar E Elevar	88 %
RNA-2	11	Reduzir E Não manobrar	87 %

ECT: BC da STTP			
RNA	Quantidade de entradas	Classifica entre os eventos	Acerto
RNA-1	11	Não Ligar E Ligar	88 %
RNA-2	11	Desligar E Não manobrar	86 %

ECT: BR(5) da STTP			
RNA	Quantidade de entradas	Classifica entre os eventos	Acerto
RNA-1	11	Não Ligar E Ligar	93 %
RNA-2	11	Desligar E Não manobrar	89 %

ECT: BR(1 e 2) da STIV			
RNA	Quantidade de entradas	Classifica entre os eventos	Acerto
RNA-1	11	Não Ligar E Ligar	87 %
RNA-2	11	Desligar E Não manobrar	77 %

5.2. Trabalhos Futuros

Embora a modelagem obtida tenha apresentado bons resultados, alterações nos dados de entrada e até na própria modelagem do SADECT podem trazer melhorias.

A impossibilidade de usar as ações de controle de tensão, realizadas pelos operadores de tempo real, utilizando a potência reativa do Compensador síncrono da subestação Tijuco Preto e das Unidades geradoras da UHE Itaipu, pode ter trazido prejuízos aos resultados. Desta forma, sugere-se a inclusão destas informações nos próximos modelos.

Neste trabalho foi testada a implementação do SADECT na Interligação Sul/Sudeste. Vislumbra-se a implementação do SADECT em Sistemas Elétricos de Potência ainda mais complexos, com maior número de barramentos e equipamentos de controle de tensão.

Para o SADECT não foram criados critérios que priorizassem a saída de uma ou outra Rede Neural. Tais critérios, importantes no processo de decisão, impediriam que mais de uma Rede Neural indicasse a necessidade de realizar manobra de controle de tensão. Para a inclusão desses critérios pode-se utilizar outras técnicas de Inteligência Computacional (IC) em conjunto com Redes Neurais, criando, por exemplo, um modelo *Neuro-Fuzzy*.

Além das citadas, outras técnicas de IC podem ser utilizadas, como: Algoritmos Genéticos (para a otimização das manobras de controle de tensão) e Máquinas de Vetor Suporte (muito utilizadas na solução de problemas de classificação).

A utilização no SADECT de uma Rede Neural para cada período de carga (leve/mínima, média ou pesada) pode trazer melhoria nos resultados, pois os procedimentos dos operadores são diferentes em cada um destes períodos.

A utilização do SADECT em tempo real constituirá um passo importante para a criação de um Controle Coordenado de Tensão para o SIN.